

Aspectos morfofisiológicos e produção do tomateiro com incremento da concentração do CO₂ atmosférico

Keilor da Rosa Dorneles¹, Ihan Rebhahn², André Ricardo Zeist³, Sidnei Deuner², Leandro José Dallagnol¹

¹ Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Departamento de Fitossanidade, Laboratório Interação Planta Patógeno, Capão do Leão, RS, Brasil. E-mail: keilor.rd@hotmail.com (ORCID: 0000-0001-8098-1539); Leandro.dallagnol@ufpel.edu.br (ORCID: 0000-0002-2131-4944)

² Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Departamento de Fisiologia Vegetal, Pelotas, RS, Brasil. E-mail: irebhahn50@gmail.com (ORCID: 0000-0002-6828-1318); sdeuner@yahoo.com.br (ORCID: 0000-0003-3131-1867)

³ Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná, Departamento de Agronomia, Guarapuava, PR, Brasil. E-mail: andre.zeist@bol.com.br (ORCID: 0000-0003-1651-4797)

RESUMO: O tomateiro é uma solanácea de grande importância no contexto do agronegócio, sendo a hortaliça-fruto mais consumida no mundo. Mudanças climáticas, como incremento na concentração atmosférica de CO₂ tem gerado preocupação quanto à segurança alimentar por influenciar diretamente na produção de alimentos. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da elevação da concentração do CO₂ atmosférico sobre características morfofisiológicas e de produção do tomateiro. Para tal, plantas da cultivar Micro-Tom foram cultivadas em 400 ou 700 µmol mol⁻¹ de concentrações de CO₂ atmosférico e avaliadas quanto ao crescimento, respostas fisiológicas, e produção e qualidade dos frutos. Os resultados demonstram que a elevação de 400 para 700 µmol mol⁻¹ CO₂ na atmosfera gera alterações morfofisiológicas no tomateiro. Em plantas cultivadas a 700 µmol mol⁻¹ CO₂ ocorreu redução na concentração de clorofilas, e incremento na concentração de flavonoides, área foliar, matéria seca foliar, índice de qualidade de Dickson, tamanho e peso de frutos, e produção por planta. Em relação à coloração do fruto foi verificado elevação do a* e redução do croma em resposta a elevação da concentração de CO₂. Conclui-se que a elevação do CO₂ atmosférico até 700 µmol mol⁻¹ resulta em alterações em processos fisiológicos e ganho de área foliar em tomateiro, bem como, aumenta a sua produção e a qualidade visual do tomate produzido.

Palavras-chave: aumento de biomassa; elevação do CO₂; mudanças climáticas; open-top chambers; *Solanum lycopersicum* L.

Morpho-physiological aspects and production of tomato under elevated concentration of atmospheric CO₂

ABSTRACT: Tomato is a Solanaceae of great importance for the agribusiness being the vegetable-fruit more consumed in the world. Climate change, such as increased atmospheric concentration of CO₂, has raised concern about food security by direct influence in the food production. The objective of this work was to evaluate the effects of atmospheric CO₂ concentration on morpho-physiological characteristics and tomato production. For this, plants of the cultivar Micro-Tom were cultivated under 400 or 700 µmol mol⁻¹ of atmospheric CO₂ and evaluated for growth, physiological responses, yield and fruit quality. Results showed that the elevation of CO₂ concentration from 400 to 700 µmol mol⁻¹ caused morpho-physiological changes in the tomato plants. In plants grown at 700 µmol mol⁻¹ of CO₂ occurred reduction in chlorophylls concentration, and increase in the concentration of flavonoids, leaf area, leaf dry matter, Dickson quality index, fruit size and weight, and fruit yield per plant. In regarding to fruit color, there was increase of the a* and reduction of the chroma in response to the increase in CO₂ concentration. In conclusion, the increase in the atmospheric CO₂ concentration resulted in changes in physiological processes, gain in leaf area, as well as, increase in fruit production and its visual quality.

Key words: climate change; increase of biomass; increase of CO₂; open-top chambers; *Solanum lycopersicum* L.

Introdução

A concentração de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico tem aumentando gradativamente nos últimos anos (IPCC, 2014). As medições confirmam que a proporção de CO₂, dentre os gases atmosféricos, aumentou globalmente de 280 μmol mol⁻¹ na era pré-industrial para 379 μmol mol⁻¹ em 2005 e, atualmente, já está em média 400 μmol mol⁻¹ (NOAA, 2017).

O CO₂ tem relevante função biológica, com destaque para a formação de compostos orgânicos em plantas clorofiladas (Xu et al., 2015). Geralmente a elevação da concentração de CO₂ atmosférico promove benefícios para as plantas. Entre esses, destaca-se alterações metabólicas, nas taxas de trocas gasosas e acúmulo de carboidratos (Xu et al., 2015). Entretanto, essas alterações podem ser variáveis dentre as diferentes espécies e os tipos de metabolismo (Chakraborty et al., 2008; Ghini et al., 2011). Considerando esse aspecto, faz-se necessário a investigação dos efeitos em culturas agrícolas, de maneira a garantir a segurança alimentar.

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) é a segunda solanácea de maior importância no contexto do agronegócio, sendo a hortaliça-fruto mais consumida no mundo (Bergougnoux, 2014). É uma planta de mecanismo fotossintético C₃, que tem os aspectos fisiológicos do crescimento e desenvolvimento vegetativo, florescimento e frutificação, dependentes de diversos elementos, como potencial genético, umidade, radiação solar, temperatura, nutrição mineral, disponibilidade de água e concentração de CO₂ atmosférico (Caliman et al., 2005; Saladié et al., 2007; Albuquerque Neto & Peil, 2012). Para incremento nos rendimentos agrônômicos e lucratividade com essa cultura são necessários estudos dos aspectos ecofisiológicos em razão das constantes e previsíveis mudanças dos cenários ambientais futuros.

Estudos sobre o efeito da fertilização do CO₂ na fenologia da cultura tomateiro têm demonstrado que o incremento na disponibilidade de CO₂ confere ganho de biomassa e alterações na produção e qualidade dos frutos (Ziska et al., 2001; Wang et al., 2013). No entanto, informações sobre a qualidade desse crescimento, equilíbrio da distribuição da fitomassa, bem como, aspectos físicos dos frutos produzidos, ainda são limitadas. Dessa forma, a exposição do tomateiro a condições de elevação do CO₂ ao longo de todo seu ciclo fenológico, nos permite obter informações, sobre o equilíbrio da distribuição da fitomassa na planta, além da produção e aspectos físicos como a cor do fruto produzido são primordiais para a sua comercialização.

Nesse contexto, o objetivo neste estudo foi avaliar os efeitos da elevação da concentração do CO₂ atmosférico no crescimento, através da análise integrada de variáveis morfofisiológicas da planta, na produção e em aspectos físicos e químicos do fruto do tomateiro.

Material e Métodos

Área experimental e cultivo do tomateiro

A cultivar de tomateiro Micro-Tom[®] foi utilizada no experimento. A semeadura foi realizada em vasos plásticos

com capacidade 0,5 dm³, contendo solo peneirado classificado como Planossolo Háptico eutrófico típico (Streck et al., 2008). Após análise dos atributos químicos do solo foi adicionado fertilizante químico NPK (05 – 20 - 20) conforme recomendações técnicas para a cultura do tomateiro (SBS; CQFS-RS/SC, 2004). Após a semeadura os vasos foram alocados em estufas de topo aberto (“open-top chambers”, OTC). Em cada vaso foi mantido uma plântula de tomateiro.

As OTCs tinham formato quadrangular e estrutura de madeira (4 m² e 2 m de altura) com as laterais protegidas por um filme plástico transparente de polietileno, equipadas com um redutor de abertura do topo para deflexionar o ar e, assim, prevenir a diluição da concentração desejada de CO₂ dentro da estufa. A transferência do CO₂ puro contido no cilindro para os OTCs, ocorreu por meio de uma tubulação até atingir o controlador de fluxo, que faz a regulação a quantidade de CO₂ distribuído em cada OTC. As concentrações de CO₂ utilizadas foram 400 μmol mol⁻¹ (atual do cenário ambiental) e 700 μmol mol⁻¹ (previsão para o cenário ambiental do ano de 2050) (IPCC, 2014). As OTCs estão situadas na área experimental do campus Capão do Leão da Universidade Federal de Pelotas, localizada na cidade de Capão do Leão/RS (latitude 31° 81' sul, longitude 52° 41' W. Gr.).

Delineamento experimental

Os tratamentos foram organizados em delineamento inteiramente casualizado. Para a quantificação das variáveis morfofisiológicas, e produção e características físico-químicas dos frutos foi considerado o esquema unifatorial, consistindo de uma cultivar de tomateiro em duas concentrações de CO₂ (400 e 700 μmol mol⁻¹ de CO₂), com dez repetições, cada uma constituída por uma planta. O experimento foi repetido duas vezes.

Crescimento e índice fisiológico

Aos 85 dias após a semeadura (DAS), utilizando o clorofilômetro (Duallex FORCE-A) e duas amostras por repetição, da primeira folha expandida do terço superior das plantas, estimou-se o índice de clorofila, flavonoides e balanço interno de nitrogênio (NBI).

Posteriormente, cinco plantas por tratamento foram coletadas, fracionadas em raízes, caules, folhas e frutos. As raízes foram lavadas em água corrente para eliminação do solo. As características avaliadas foram: altura de planta (AP) – distância (cm) entre colo e o ápice do meristema apical; número de folhas por planta (NF); diâmetro do caule (DC) – mensurada com paquímetro digital (mm) (modelo, Micrometer, Vernier Digital Vernier Caliper), a 2 cm acima do colo; comprimento da maior raiz (CR)-distância (cm) entre base da planta até a extremidade da raiz; e área foliar das folhas verdes (AF) – obtida por meio de um medidor de área foliar de bancada (Área Meter) LI-COR[®], modelo LI 3100C e expressa em centímetros quadrados por planta (cm² planta⁻¹).

Para obtenção da massa seca das raízes, caules e folhas, o material vegetal foi coletado e colocado em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura média de 70°C, até

atingir peso constante e na sequência foi realizada a pesagem da massa seca. A massa seca total (MST) foi obtida por meio do somatório dos acúmulos das diferentes partes da planta (g): MST = raízes (MSR) + caules (MSC) + folhas (MSF). O índice de qualidade de Dickson (IQD) foi estimado por meio da equação:

$$IQD = \frac{MST}{\left(\frac{AP}{DC}\right) + \left(\frac{MSCF}{MSR}\right)}$$

em que: AP – altura (cm); DC - diâmetro do caule (cm); MSCF – Massa seca dos caules + folhas (g); MSR - massa seca da raiz (g) (Dickson et al., 1960).

Produção e características físico-químicas dos frutos

A colheita foi realizada aos 70, 80 e 85 DAS por meio da coleta dos frutos no estágio de maturação vermelho-claro. Nos frutos foi mensurado o diâmetro total (DF) – por meio de medições na horizontal e vertical com paquímetro digital (mm); número de frutos (NF) – determinado pela soma do número dos frutos colhidos, a fim de estabelecer o número total de frutos por planta; produção de frutos (PF, g planta⁻¹) – determinada por meio da pesagem da produção acumulada dos frutos, a fim de estabelecer a produção total de frutos por planta; e massa média de frutos (MMF, g fruto⁻¹) – determinada com base na relação entre PF e NF (MMF: PF/NF).

As análises físico-químicas foram determinadas em 15 frutos por repetição. Os frutos foram separados individualmente, acondicionados em bandejas de poliestireno expandido e mantidos sobre bancada até atingirem o pleno amadurecimento. As análises colorimétricas foram realizadas com aparelho Croma Meter CR-400/410 (Konica Minolta), calibrado no sistema L* a* b* com uma placa branca padrão de cerâmica, expressando os componentes, L* [do branco (+L) ao preto (-L) no eixo z], a* [do vermelho (+a) ao verde (-a) no eixo x], e b* [do amarelo (+b) ao azul (-b) no eixo y]. A partir dos valores de a* e b* foram obtidos: “Hue angle” = ângulo de cromaticidade = definido como arc tg (b/a) e “Croma” = croma

ou saturação= raiz quadrada de (a² + b²); e sólidos solúveis (SS) – por meio de polpa homogeneizada e filtrada, que foi analisada em refratômetro digital portátil (Atago, PAL%1), com valores expressos em °Brix (Zeist et al., 2017).

Análises dos dados

Para evidenciar a homogeneidade dos dados foi aplicado o teste de Shapiro Wilk, para todas as variáveis mensuradas nos experimentos. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Student (teste-t). As análises foram realizadas através do software SAS (SAS Institute, Inc., 1989, Cary, NC).

Resultados

Os resultados demonstram que a elevação da concentração de CO₂ atmosférico gera alterações morfofisiológicas e de produção no tomateiro. As concentrações de CO₂ foram significativas para clorofila, flavonoides, AF, MSF, IQD, DF, PF e MMF, a* e croma (Tabelas 1 até 4).

Para as plantas com concentração de CO₂ a 700 μmol mol⁻¹, significativamente o índice de clorofila reduziu 6% e o de flavonoides aumentou 9% quando comparadas as cultivadas em ambiente com 400 μmol mol⁻¹ (Tabela 1). A elevação na concentração de CO₂ não alterou significativamente a estatura, NF, DC, MSC, MSR (Tabela 2). No entanto, a área foliar e a massa seca da folha foram 11 e 13%, respectivamente, maiores nas plantas a 700 μmol mol⁻¹ comparadas as plantas a 400 μmol mol⁻¹ (Tabela 2; Figura 1 A e B). As figuras 1A e

Tabela 1. Índice de clorofila, flavonoides e balanço interno de nitrogênio (NBI) de plantas de tomateiro da cultivar Micro-Tom cultivada em ambiente com 400 ou 700 μmol mol⁻¹ de CO₂.

Tratamentos	Clorofila	Flavonoides	NBI
400	37,99 a	0,7819 b	43,77 a
700	35,79 b	0,8552 a	42,42 a
CV%	6,44	14,76	7,83

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, para cultivares ou concentrações de CO₂, pelo teste-t (p ≥ 0,05).

Tabela 2. Estatura, número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), massa seca de folha (MSF), caule (MSC) e raiz (MSR) de plantas de tomateiro da cultivar Micro-Tom cultivada em ambiente com 400 ou 700 μmol mol⁻¹ de CO₂.

Tratamentos	Estatura (cm)	NF	DC (mm)	AF (cm ² plant ⁻¹)	MSF (g planta ⁻¹)	MSC (g planta ⁻¹)	MSR
400 μmol mol ⁻¹	10,0 a	6,2 a	5,4 a	21,1 b	1,9 b	3,9 a	1,4 a
700 μmol mol ⁻¹	10,2 a	6,3 a	5,1 a	23,5 a	2,1 a	3,6 a	1,5 a
CV%	10,28	12,26	9,37	4,3	12,14	7,71	26,62

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, para cultivares ou concentrações de CO₂, pelo teste-t (p ≥ 0,05).

Tabela 3. Índice de qualidade de Dickson (IQD), diâmetro (DF), peso (PF), número (N° Frutos) e produção de frutos por plantas de tomateiro da cultivar Micro-Tom cultivada em ambiente com 400 ou 700 μmol mol⁻¹ de CO₂.

Tratamentos	IQD	DF (mm)	PF (g fruto ⁻¹)	N° Frutos	Produção (g planta ⁻¹)
400 μmol mol ⁻¹	0,3145 a	21,54 b	6,27 b	15,10 a	22,71 b
700 μmol mol ⁻¹	0,3012 b	23,07 a	8,11 a	15,50 a	26,23 a
CV%	20,76	4,21	15,20	24,53	8,14

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, para cultivares ou concentrações de CO₂, pelo teste-t (p ≥ 0,05).

Tabela 4. Variáveis de coloração L*, a*, b*, croma e Hue angle em frutos de tomateiro da cultivar Micro-Tom cultivada em ambiente com 400 ou 700 µmol mol⁻¹ de CO₂.

Tratamentos	L*	a*	b*	Croma	Hue angle	SS (°Brix)
400 µmol mol ⁻¹	44,79 a	29,51 b	37,75 a	49,27 a	51,01 a	5,42 a
700 µmol mol ⁻¹	44,82 a	31,66 a	37,13 a	47,44 b	50,53 a	5,58 a
CV%	1,87	2,84	2,46	1,51	2,44	4,68

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, para cultivares ou concentrações de CO₂, pelo teste-t ($p \geq 0,05$).



Figura 1. Estatura (a); área foliar (b) e a comparação do tamanho de 32 frutos (c) de plantas de tomateiro da cv. Micro-Tom cultivada em ambiente com 400 ou 700 µmol mol⁻¹ de CO₂.

1B demonstram que as plantas não apresentaram diferenças na estatura, porém o volume de biomassa e área foliar foi expressivamente maior nas plantas a 700 µmol mol⁻¹ de CO₂.

O IQD e o croma foram, respectivamente, 3 e 4% menor nas plantas a 700 µmol mol⁻¹ de CO₂, enquanto que neste mesmo tratamento o DF, PF, MMF e a* foi maior em 7, 29, 15 e 7%, respectivamente, quando comparado ao tratamento com 400 µmol mol⁻¹ de CO₂ (Tabela 3 e 4; Figura 1 C). A figura 1C ilustra a diferença de aspecto visual e diâmetro dos frutos produzidos por plantas em ambiente com 400 ou 700 µmol mol⁻¹ de CO₂.

Discussão

Os resultados desse estudo relatam que plantas de tomateiro da cultivar Micro-Tom, cultivadas em condições de 700 µmol mol⁻¹ de CO₂ atmosférico, apresentam variação em processos fisiológicos, alocação dos fotoassimilados, aumento de produção e variação na qualidade visual dos frutos.

A concentração de CO₂ na atmosfera interfere diretamente na fotossíntese, processo no qual as plantas transformam a energia luminosa em energia química, sintetizando compostos carbonados, os quais serão utilizados em diversos processos do metabolismo vegetal, além de ser fonte de energia para as demais formas de vida (Barnaby & Ziska, 2012).

Plantas com metabolismo C3, como o tomateiro, são beneficiadas pelo aumento da concentração de CO₂ atmosférico, em comparação as plantas C4, que apresentam ponto de compensação de CO₂ ser muito baixo (0 a 5 µL CO₂ L⁻¹). As plantas de metabolismo C3, quando submetidas a concentrações de CO₂ acima do ponto de compensação (20 a 100 µL CO₂ L⁻¹) aumentam a assimilação líquida sem saturação, além de reduzir as perdas pela ocorrência e fotorrespiração

(Barnaby & Ziska, 2012; Xu et al., 2015). Como consequências das alterações fisiológicas proporcionadas pela elevação do CO₂ atmosférico, ocorre o aumento da taxa de crescimento e ganho de biomassa (Barnaby & Ziska, 2012), como observado neste estudo onde o incremento para 700 µmol mol⁻¹ de CO₂ promoveu aumento da área foliar e massa seca. Tal elevação promove maior superfície para interceptação da energia solar incidente e, por conseguinte, estimula a assimilação de carbono, a qual pode contribuir para incrementar o acúmulo de carboidratos pelas plantas (Caliman et al., 2009; Xu et al., 2015).

Além disso, compostos oriundos dos metabolismos primário e secundário, podem apresentar maiores concentrações em condições de elevação do CO₂ (Xu et al., 2015), como observado para o índice de flavonoides nas folhas do tomateiro. Essa classe de polifenóis desempenha um papel fundamental no vegetal, atuando na proteção contra agentes oxidantes e outros tipos de estresses (Xu et al., 2015). Além do aspecto fisiológico para proteção das plantas, há o aspecto nutricional cujo o consumo de alimentos com alto teor de flavonoides proporciona efeitos benéficos ao organismo devido sua ação antioxidante (Zhang et al., 2014).

Contudo, o índice de clorofila reduziu em plantas cultivadas sobre CO₂ elevado. Tal efeito foi pressuposto que esteja relacionado com aclimatação da fotossíntese. Esta hipótese está fundamentada no fato que, inicialmente, há aumento na taxa fotossintética, em resposta ao aumento da concentração de CO₂ atmosférico, a qual é posteriormente limitada em função do maior consumo de Rubisco e energia na forma de ATP, que não são supridas na mesma velocidade (Chen et al., 2005; Barnaby & Ziska, 2012).

Associando a elevação na superfície de interceptação da energia solar incidente, pelo aumento da área foliar, pressupõe a ocorrência de um acúmulo de energia, sendo que esse excesso desencadeia distúrbios como a foto-oxidação das clorofilas, pela ação de espécies reativas de oxigênio, que são altamente danosas à integridade e funcionalidade celular (Araujo & Deminics, 2009). Dessa forma, pode-se inferir que como estratégia de defesa, a planta induziu o acúmulo de compostos com ação protetora, como flavonoides e caratenóides. Em nosso estudo, a quantificação dos caratenóides não foi realizada, porém o índice de flavonoides foi superior em condições de elevação do CO₂ atmosférico.

Em relação à alocação dos fotoassimilados no acúmulo de biomassa, as plantas cultivadas em ambiente enriquecido com CO₂ apresentaram menor índice de Dickson. Esse índice é um indicador da qualidade da planta, por levar em consideração

as variáveis de massa seca total, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, diâmetro de caule e altura de planta, em que assim, representa o equilíbrio da distribuição da fitomassa (Eloy et al., 2013). Os resultados desse estudo demonstram que a compartimentalização dos compostos oriundo da fotossíntese ocorreu de maneira desequilibrada, ocasionando aumento na área foliar, porém não proporcionando ganhos de estatura ou sistema radicular. Na fase reprodutiva, à alocação dos fotoassimilados foi direcionada para os órgãos reprodutivos, como observado pelo aumento do tamanho e peso dos frutos no ambiente enriquecido com CO₂. Porém, não ocorreu aumento no número de frutos, como mencionado em outro estudo (Caliman et al., 2009).

Em relação às características físico-químicas dos frutos, os índices de cores variaram nos frutos produzidos entre o ambiente enriquecido com CO₂ e o ambiente controle. Ocorreu aumento do a*, enquanto o croma diminuiu, como consequência da elevação do CO₂. O valor de a* e do croma são indicadores positivos de cor e são aumentados com a maturidade do tomate. O a* e croma aumentou pelo enriquecimento de CO₂ como resultante do aumento do teor do licopeno, que desempenha papel fundamental na coloração vermelha do tomate (Preczenhak et al., 2014; Zhang et al., 2014).

Ademais, Zhang et al. (2014) e Islam et al. (1996) relataram que o enriquecimento de CO₂ aumenta o conteúdo de ácido ascórbico e de açúcares solúveis em tomate. Os sólidos solúveis presentes na polpa dos frutos incluem importantes compostos responsáveis pelo sabor e pela consequente aceitação do fruto por parte dos consumidores. Contudo, esse aumento significativo na concentração dos sólidos solúveis nos tomates produzidos em ambiente enriquecido com CO₂, não foi observado no estudo.

A literatura tem demonstrado que, quase todas as culturas respondem positivamente ao incremento na disponibilidade de CO₂ na atmosfera, exibindo aumento na taxa de fotoassimilados e produção de biomassa (Barnaby & Ziska, 2012), e neste trabalho, podemos concluir que o tomateiro não é uma exceção à regra.

Conclusão

A elevação do CO₂ atmosférico de 400 μmol mol⁻¹ para 700 μmol mol⁻¹ resulta em alterações tanto nos processos fisiológicos quanto ganhos de área foliar, bem como, a produção através do aumento do diâmetro, peso e a qualidade visual do fruto produzido.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – código de financiamento 001 para K. R. Dorneles. Esta pesquisa foi parcialmente apoiada pelo CNPq (400897 / 2014-8). Ao prof. L. A. Avila pela disponibilização das OTCs para realização do estudo.

Literatura Citada

- Albuquerque Neto, A. A. R.; Peil, R. M. N. Produtividade biológica de genótipos de tomateiro em sistema hidropônico no outono/inverno. *Horticultura Brasileira*, v. 30, p. 613-619, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000400009>.
- Araujo, S. A. C.; Deminicis, B. B. Fotoinibição da fotossíntese. *Revista Brasileira de Biociências*, v. 7, n. 4, p. 463-472, 2009. <http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/1009>. 20 Jan. 2018.
- Barnaby, J. Y.; Ziska, L. H. Plant responses to elevated CO₂. In: *Encyclopedia of Life Sciences*. Chichester: John Wiley & Sons, 2012. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0023718>.
- Bergougnoux, V. The history of tomato: From domestication to biopharming. *Biotechnology Advances*, v. 32, n.1, p. 170-189, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.11.003>.
- Caliman, F. R. B.; Silva, D. J. H.; Alves, D. P.; Cardoso, T. S.; Mattedi, A. P. Enriquecimento intermitente de CO₂ e análise do acúmulo de massa seca e da partição de fotoassimilados em tomateiro. *Acta Agronômica*, v. 58, n.3, p. 133-139, 2009. <https://doi.org/10.15446/acag>.
- Caliman, F. R. B.; Silva, D. J. H.; Fontes, P. C. R.; Stringheta, P. C.; Moreira, G. R.; Cardoso, A. A. Avaliação de genótipos de tomateiro cultivados em ambiente protegido e em campo nas condições edafoclimáticas de Viçosa. *Horticultura Brasileira*, v. 23, n.2, p. 255-259, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362005000200018>.
- Chakraborty, S.; Luck, J.; Hollaway, G.; Freeman, A.; Norton, R.; Garrett, K. A.; Percy, K.; Hopkins, A.; Davis, C.; Karnosky, D. F. Impacts of global change on diseases of agricultural crops and forest trees. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, v. 3, n. 54, p. 1-15, 2008. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20083054>.
- Chen, G. Y.; Yong, Z. H.; Liao, Y.; Zhang, D. Y.; Chen, Y.; Zhang, H. B.; Chen, J.; Zhu, J. G.; Xu, D. Q. Photosynthetic acclimation in rice leaves to free-air CO₂ enrichment related to both ribulose-1,5-bisphosphate carboxylation limitation and ribulose-1,5-bisphosphate regeneration limitation. *Plant Cell Physiology*, v. 46, n. 7, p. 1036-1045, 2005. <https://doi.org/10.1093/pcc/pci113>.
- Dickson, A.; Leaf, A. L.; Hosner, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forest Chronicle*, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960. <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>.
- Eloy, E.; Caron, B. O.; Schmid, D.; Behling, A.; Schweser, L.; Elli, E. F. Avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando parâmetros morfológicos. *Floresta*, v. 43, n. 3, p. 373-384, 2013. <https://doi.org/10.5380/rf.v43i3.26809>.
- Ghini, R.; Bettiol, W.; Hamada, E. Diseases in tropical and plantation crops as affected by climate changes: current knowledge and perspectives. *Plant Pathology*, v. 60, n.1, p. 122-132, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02403.x>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC, 2014. 151p. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr>. 18 Jan. 2018.

- Islam, S.; Matsui, T.; Yoshida, Y. Effect of carbon dioxide enrichment on physico-chemical and enzymatic changes in tomato fruits at various stages of maturity. *Scientia Horticulturae*, v. 65, n. 3, p. 137–149, 1996. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(95\)00867-5](https://doi.org/10.1016/0304-4238(95)00867-5).
- National Oceanic & Atmospheric Administration - NOAA. National climatic data center. State of the Climate 2017. <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends>. 10 Dez. 2017.
- Preczenhak, A. P.; Resende, J. T.; Chagas, R. R.; Silva, P. R.; Schwarz, K.; Morales, R. G. Caracterização agronômica de genótipos de minitomate. *Horticultura Brasileira*, v. 32, n.3, p. 348-356, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620140003000018>.
- Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – SBS; Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre: SBS, 2004. http://www.sbcs-nrs.org.br/docs/manual_de_adubacao_2004_versao_internet.pdf. 10 Nov. 2017.
- Saladié, M.; Matas, A. J.; Isaacson, T.; Jenks, M. A.; Goodwin, S. M.; Niklas, K. J.; Xiaolin, R.; Labavitch, J. M.; Shackel, K. A.; Fernie, A. R.; Lytovchenko, A.; O’neill, M. A.; Watkins, C. B.; Rose, J. K. C. A reevaluation of the key factors that influence tomato fruit softening and integrity. *Plant Physiology*, v. 144, n.2, p. 1012-1028, 2007. <https://doi.org/10.1104/pp.107.097477>.
- Streck, E. V.; Kämpf, N.; Dalmolin, R.S.D.; Klamt, E.; Nascimento, P.C.; Giasson, E.; Pinto, L.F.S. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS, 2008. 222 p.
- Wang, H.; Xiao, W.; Niu, Y.; Jin, C.; Chai, R.; Tang, C.; Zhang, Y. Nitric oxide enhances development of lateral roots in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under elevated carbon dioxide. *Planta*, v. 237, n.1, p. 137-144, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00425-012-1763-2>.
- Xu, Z.; Jiang, Y.; Zhou, G. Response and adaptation of photosynthesis, respiration, and antioxidante systems to elevated CO₂ with environmental stress in plants. *Frontiers in Plant Science*, v. 6, p. 701, 2015. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00701>.
- Zeist, A. R.; Resende, J. T. V.; Giacobbo, C. L.; Faria, C. M. D. R.; Dias, D. M. Graft takes of tomato on other solanaceous plants. *Revista Caatinga*, v. 30, n.2, p. 513-520, 2017. <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n227rc>.
- Zhang, Z.; Liu, L.; Zhang, M. Effect of carbon dioxide enrichment on health promoting compounds and organoleptic properties of tomato fruits grown in greenhouse, *Food Chemistry*, v. 153, p. 157-163, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.052>.
- Ziska, L. H.; Ghannoum, O.; Baker, J. T.; Conroy, J.; Bunce, J. A.; Kobayashi, K.; Okada, M. A global perspective of ground level, ‘ambient’ carbon dioxide for assessing the response of plants to atmospheric CO₂. *Global Change Biology*, v. 7, n.7, p. 789-796, 2001. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2001.00436.x>.