

## A EXPOSIÇÃO PROLONGADA A [CO<sub>2</sub>] ELEVADA PROMOVE O CRESCIMENTO DE PLANTAS DE *Coffea arabica* L. E *Coffea canephora* Pierre ex Froehner

Lima D. Martins<sup>1,2</sup>; Weverton P. Rodrigues<sup>2,3</sup>; Madlles Q. Martins<sup>2,4</sup>; Marcelo A Tomaz<sup>1</sup>; Eliemar Campostrini<sup>3</sup>; Fábio L. Partelli<sup>5</sup>; José N. Semedo<sup>6</sup>; Ana S. Fortunato<sup>2</sup>; Filipe Colwell<sup>2</sup>; Isabel P. Pais<sup>6</sup>; Paula Scotti-Campos<sup>6</sup>; Ana P. Rodrigues<sup>7</sup>; António E. Leitão<sup>2</sup>; Rodrigo Maia<sup>8</sup>; Cristina Máguas<sup>8</sup>; Ana I. Ribeiro-Barros<sup>2</sup>; Raquel Ghini<sup>9</sup>; Fernando C. Lidon<sup>10</sup>; Fábio M. DaMatta<sup>11</sup>; José C. Ramalho<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Produção Vegetal, Centro Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alto Universitário, Alegre, ES, Brasil.

<sup>2</sup>Grupo Interações Planta-Ambiente & Biodiversidade (PlantStress & Biodiversity), Centro Ambiente, Agricultura e Desenvolvimento (BioTrop), Instituto Investigação Científica Tropical, I.P., Oeiras, Portugal.

<sup>3</sup>Universidade Estadual de Norte Fluminense, Darcy Ribeiro, Setor de Fisiologia Vegetal. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

<sup>4</sup>Departamento de Melhoramento Genético Vegetal, Centro Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alto Universitário, Alegre, ES, Brasil.

<sup>5</sup>Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas. Centro Universitário Norte do Espírito Santo. Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil.

<sup>6</sup>Unidade de Investigação em Biotecnologia e Recursos Genéticos, Instituto Nacional Investigação Agrária e Veterinária, I.P., Oeiras, Portugal.

<sup>7</sup>Centro de Estudos Florestais, DRAT, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Portugal.

<sup>8</sup>Stable Isotopes and Instrumental Analysis Facility, Centre for Ecology, Evolution and Environmental Changes (cE3c), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal.

<sup>9</sup>Embrapa Meio-Ambiente, Jaguariúna, SP, Brasil.

<sup>10</sup>GeoBioTec, Faculdade de Ciências Tecnologia, Universidade Nova Lisboa, Caparica, Portugal.

<sup>11</sup>Departamento de Biologia Vegetal, Universidade Federal Viçosa, MG, Brasil.

\* Autor correspondente: cochichor@mail.telepac.pt

**RESUMO:** Pretendeu-se avaliar o impacto do aumento atmosférico da [CO<sub>2</sub>] (700 µL L<sup>-1</sup>) sobre o crescimento vegetativo de plantas de *C. arabica* L. e *C. canephora* Pierre ex Froehner, durante o período de um ano. Adotou-se um delineamento inteiramente casualizado em parcela subdividida, na qual a parcela consistiu de níveis de [CO<sub>2</sub>] atmosférico (380 e 700 µL CO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>) e na subparcela os genótipos de cafeeiro. (*C. arabica* cv. IPR 108 e *C. canephora* cv. Conilon Clone 153), com cinco repetições; para padronização os valores foram descritos em percentagem. Os resultados mostraram que as plantas de ambos os genótipos apresentaram crescimento vegetativo semelhante para 380 e 700 µL CO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> até aos 90 dias. Após esse período foi observado maior vigor vegetativo em plantas crescidas a 700 µL CO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>, observando-se aumentos significativos na área foliar, número de folhas e número de ramos plagiotrópicos (mas não da altura da planta). Estes resultados podem ser explicados, pelo menos em parte, pelo fato da relação fonte-dreno ter sido mantida nestas condições, embasado pela evidência de que houve maior produção de carboidratos (fonte) e também maior crescimento das partes vegetativas (dreno), indicando que o aumento da [CO<sub>2</sub>] funcionou como uma “fertilização de carbono”.

**PALAVRAS-CHAVE:** aclimação, alterações climáticas, cafeeiro, dióxido de carbono.

## PROLONGED EXPOSURE TO ELEVATED [CO<sub>2</sub>] PROMOTES THE GROWTH OF *Coffea arabica* L. AND *Coffea canephora* Pierre ex Froehner PLANTS

**ABSTRACT:** The aim of this study was to evaluate the impact of long-term increased atmospheric [CO<sub>2</sub>] on the vegetative growth of plants of *C. arabica* L. and *C. canephora* Pierre ex Froehner for about one year.. It was used a completely randomized split-plot design, in which the plot consisted of levels of [CO<sub>2</sub>] atmospheric (380 and 700 µL CO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>) and the subplot the coffee two genotypes (*C. arabica* cv. IPR 108 and *C. canephora* cv. Conilon Clone 153), with five replicates; to standardize all values have been described in percentage. The results showed that the plants of both genotypes showed similar vegetative growth under 380 or 700 µL CO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> up to 90 days. Thereafter a higher vegetative vigor was observed in plants grown exposed to 700 µL CO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>, as reflected in increases in leaf area and number, as well as in the number of plagiotropic branches (but not in plant height). These results can be explained, at least partly, because of the source-sink relationship has been maintained in this condition, based in the evidence that there was a higher carbohydrate production (source) and also higher growth of vegetative parts (sink), indicating that the [CO<sub>2</sub>] enhancement has functioned as a “C-fertilization”.

**KEYWORDS:** acclimation, carbon dioxide, climatic changes, coffee tree.

## INTRODUÇÃO

Desde há aproximadamente uma década, diversos estudos utilizando modelos matemáticos globais têm indicado uma elevada vulnerabilidade do cafeeiro às alterações climáticas e aquecimento global previstas, implicando perda de áreas adequadas ao cultivo, decréscimo de produção principalmente em regiões da América do Sul e Central, com fortes consequências socio-econômicas (Assad et al., 2004; Davis et al., 2012; Bunn et al., 2015).

No geral, a elevação da vulnerabilidade ao cultivo das plantas está diretamente ligada aos efeitos concomitantes dos aumentos da temperatura e  $[CO_2]$  atmosférica, e por isso inúmeros esforços foram direcionados para verificar o impacto do aumento da temperatura (Berry e Bjorkman, 1980; Long, 1991), do aumento da  $[CO_2]$  atmosférica (Ainsworth, 2007) e da interação entre ambos.

Em relação à elevação da  $[CO_2]$  atmosférica os resultados reportam, de forma resumida, que existem três grandes grupos de plantas, sendo (1°) um grupo que apresentam aclimação positiva (*up-regulation*) ao aumento da  $[CO_2]$ ; (2°) outro que apresentam aclimação negativa (*down-regulation*); e por fim (3°) plantas indiferentes ao aumento da  $[CO_2]$  (Ainsworth, 2007). Entretanto, esta classificação pontual se torna evidentemente superficial em alguns casos, pelo fato da dificuldade em determinar corretamente o ponto que a planta inicia e termina sua aclimação em relação a modificação da  $[CO_2]$  atmosférica e pela interação que a resposta à  $[CO_2]$  tem com outros fatores, inclusive os climáticos (Long et al., 2004; Kirschbaum, 2011).

Para o gênero *Coffea*, só muito recentemente se iniciaram estudos sobre os impactos reais do aumento atmosférico da  $[CO_2]$  no metabolismo do cafeeiro (Ramalho et al., 2013; Martins et al., 2014a), e atualmente estão sendo desenvolvidos trabalhos em condições de campo em um sistema FACE em Jaguariuna, São Paulo, Brasil (Ghini, comunicação pessoal). De maneira geral, os trabalhos descritos na literatura estudaram o funcionamento das estruturas fotossintéticas, envolvendo o comportamento metabólico e enzimático, e o equilíbrio na nutrição mineral de espécies de *C. arabica* L. e *C. canephora* Pierre ex Froehner, sendo reportado uma aclimação positiva ao aumento da  $[CO_2]$  de  $700 \mu L CO_2 L^{-1}$  atmosférico (Ramalho et al., 2013; Martins et al., 2014). Apesar destes estudos pioneiros, muito trabalho falta fazer, especialmente uma completa compreensão dos mecanismos que permitem a aclimação fotossintética positiva, e a avaliação fenotípica nas espécies/genótipos em estudo.

No que se refere a expressão fenotípica, existe elevada preocupação em relação a modificação da arquitetura e do padrão de crescimento das árvores de café, mesmo considerando uma resposta positiva ao aumento atmosférico da  $[CO_2]$ , pois qualquer evidência de modificação destes parâmetros, se confirmadas no futuro, em áreas de cultivo poderá modificar totalmente o manejo da cultura. O presente trabalho enquadra-se na continuidade dos trabalhos referidos, procurando efetuar uma primeira avaliação geral do impacto do aumento da  $[CO_2]$  por um longo período (cerca de 1 ano) sobre o crescimento vegetativo de plantas de genótipos das principais espécies produtoras *C. arabica* cv. Catucaí IPR 108 e *C. canephora* cv. Conilon Clone 153.

## MATERIAL E MÉTODOS

Plantas de *Coffea arabica* L. (IPR 108) e *C. canephora* Pierre ex Froehner (Conilon - Clone 153) com 1 ano e meio foram colocadas em vasos de 28 L e transferidas para fitoclimas tipo *walk-in* (EHHF 10000, ARALAB, Portugal) onde permaneceram por 360 dias em condições ambientais controladas de temperatura ( $25/20$  °C, dia/noite), irradiância (*ca.*  $700-800 \mu mol m^{-2} s^{-1}$ ), umidade relativa (75%), fotoperíodo (12 h) e 380 ou  $700 \mu L CO_2 L^{-1}$  atmosférico, sem restrições de água, nutrientes ou espaço para desenvolvimento radicular (Figura 1).



Figura 1 - Visualização do cultivado dos cafeeiros em câmaras de crescimento (A, B e C) e detalhe da avaliação de variável morfológica (D).

Durante esse período analisaram-se com intervalos de 30 dias as seguintes variáveis morfológicas: altura de planta (AP), número de ramos plagiotrópicos (NR), número de folhas (NF) e área foliar (AF). Foram consideradas apenas as estruturas vegetativas desenvolvidas sob afeitos dos tratamentos. A AP foi obtida através de uma régua graduada em milímetros e os valores de NR e NF foram obtidos por contagem visual. Para a estimativa da área foliar dos genótipos de *C. arabica* e *C. canephora* utilizou-se o método proposto por Antunes et al. (2008), sendo avaliadas cinco folhas por repetição (planta) tendo-se utilizado sempre a folha do terço médio e superior das plantas (Figura 1 D), não sombreada por outras folhas, obtendo o valor desta e multiplicando pelo número de folhas.

Adotou-se um delineamento inteiramente casualizado em parcela subdividida, na qual a parcela consistiu de níveis de [CO<sub>2</sub>] atmosférico (380 e 700 µL L<sup>-1</sup>) e na subparcela os genótipos *C. arabica* cv. IPR 108 e *C. canephora* cv. Conilon Clone 153, com cinco repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) a p≤0,05, utilizando-se o programa estatístico Genes (Cruz, 2013) e quando significativos, foi utilizado para comparação o teste de Tukey, adotando um grau de confiança de 95%. Para padronização os valores foram descritos em porcentagem.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados indicam que as plantas de *C. arabica* e *C. canephora*, respectivamente, IPR 108 e Clone 153, apresentaram crescimento vegetativo semelhante até cerca de 90 dias de exposição às duas [CO<sub>2</sub>] (380 ou 700 µL CO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>). Após este período foi possível observar que plantas de *C. arabica* e *C. canephora* crescidas a 700 µL CO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> apresentaram gradualmente um maior vigor vegetativo nos parâmetros avaliados com uma diferença crescente até ao final do período de avaliação (Figura 2). Este padrão, apenas não foi observado para a altura da planta (AP) já que em ambos os genótipos não há diferença estatística entre os níveis de [CO<sub>2</sub>] (Figura 2).

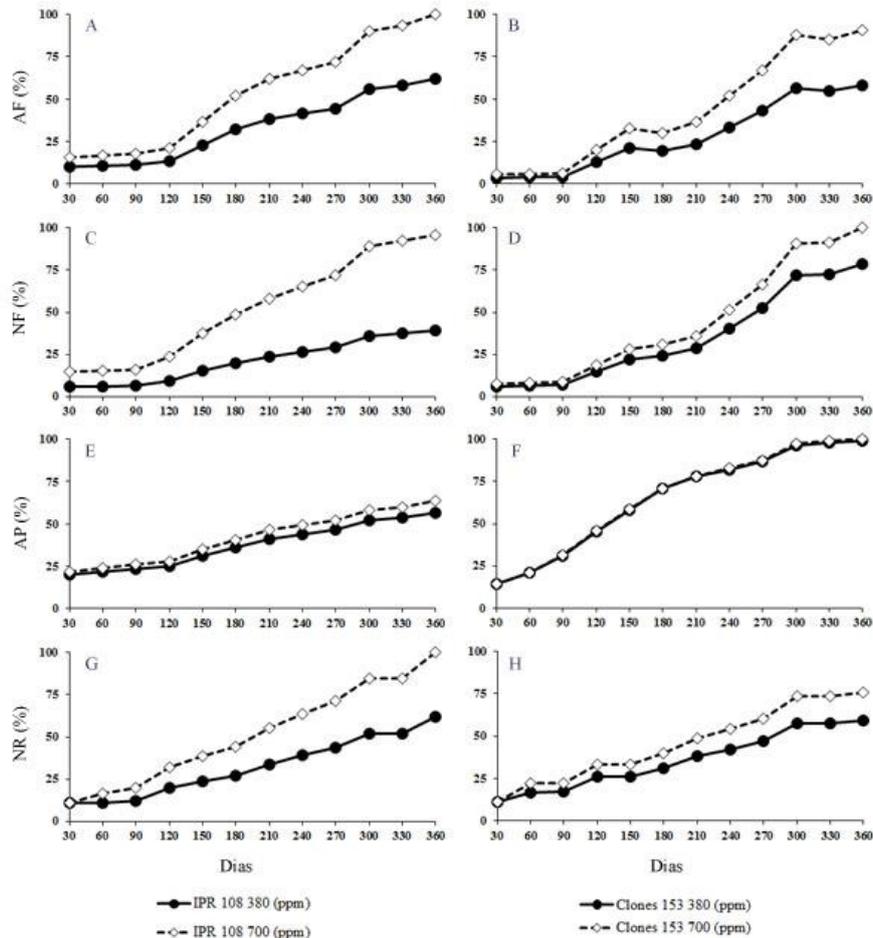


Figura 2 – Comportamento durante 360 dias das variáveis de crescimento das plantas de *C. arabica* cv. IPR 108 (A, C, E e G) e *C. canephora* cv. Conilon Clone 153 (B, D, F e H) cultivadas com duas [CO<sub>2</sub>] (380 ou 700 µL CO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>), considerando-se a altura de plantas (AP), número de ramos plagiotrópicos (NR), número de folhas (NF) e área foliar total (AF).

Assim, independente do genótipo estudado, as plantas desenvolvidas com ambiente de 700  $\mu\text{L CO}_2 \text{ L}^{-1}$  apresentaram maior número de folhas (NF) e de área foliar (AF) quando comparadas a plantas crescidas em 380  $\mu\text{L CO}_2 \text{ L}^{-1}$ , que estarão ligados igualmente ao aumento da emissão de ramos plagiotrópicos, principalmente no genótipo IPR 108.

Comparando os dois genótipos, notou-se uma tendência das plantas de Conilon (clone 153) apresentarem maior altura, maior número de folhas e menor área foliar que plantas de café arábica (IPR 108) em condições normais de  $[\text{CO}_2]$  (380  $\mu\text{L CO}_2 \text{ L}^{-1}$ ), algo que se mantém apenas para AP em condições de elevada  $[\text{CO}_2]$  (700  $\mu\text{L CO}_2 \text{ L}^{-1}$ ) (Tabela 1) já que o NF em IPR 108 a 700  $\mu\text{L CO}_2 \text{ L}^{-1}$  aumentou muito mais que o do Clone 153. Por outro lado, houve modificação no comportamento das plantas em relação a emissão dos ramos plagiotrópicos, já que este parâmetro era semelhante para os dois genótipos a 380  $\mu\text{L CO}_2 \text{ L}^{-1}$  mas com o aumento da  $[\text{CO}_2]$  as plantas de IPR 108 apresentaram um incremento de 23% no NR quando comparado ao Clone 153 (Tabela 1).

Resultados prévios mostraram a ausência de acúmulo de carboidratos não-estruturais em genótipos de *C. arabica* e *C. canephora* submetidos a elevada  $[\text{CO}_2]$  pelo período de 1 ano (Ramalho et al., 2013). Esse fato pode estar relacionado com ausência de regulação negativa (down-regulation) da fotossíntese líquida nessas plantas a que se soma a manutenção dos níveis e de equilíbrio da maior parte dos minerais ao nível foliar (Martins et al., 2014). Assim, maior crescimento vegetativo de plantas de *C. arabica* e *C. canephora* desenvolvidas em condições de elevada  $[\text{CO}_2]$  (700  $\mu\text{L CO}_2 \text{ L}^{-1}$ ) pode ser explicado, pelo menos em parte, pelo fato da relação fonte-dreno ter sido mantida nestas condições, já que maior produção de carboidratos (fonte) coincidiu com maior consumo pelos drenos, transposto para maior crescimento vegetativo. Desta forma, e recordando que as plantas foram mantidas sem limitação nutricional, o aumento da  $[\text{CO}_2]$  funcionou como uma “fertilização de carbono”, podendo-se esperar que o aumento de vigor da planta possa auxiliar na mitigação dos efeitos deletérios provocados pelo aumento global da temperatura que se prevê venha a acompanhar o aumento atmosférico de  $[\text{CO}_2]$  em condições naturais.

Tabela 1 - Valores médios percentuais após 360 dias de crescimento das plantas de *C. arabica* cv. IPR 108 e *C. canephora* cv. Conilon Clone 153 cultivadas com duas  $[\text{CO}_2]$  (380 ou 700  $\mu\text{L CO}_2 \text{ L}^{-1}$ ), considerando-se a altura de planta (AP), número de ramos plagiotrópicos (NR), número de folhas (NF) e área foliar total (AF)

Genótipos	380 $\mu\text{L CO}_2 \text{ L}^{-1}$	700 $\mu\text{L CO}_2 \text{ L}^{-1}$	380 $\mu\text{L CO}_2 \text{ L}^{-1}$	700 $\mu\text{L CO}_2 \text{ L}^{-1}$
	AP		NR	
Clone 153	98 aA	100 aA	61 aA	77 bA
IPR 108	56 bA	63 bA	61 aB	100 aA
	NF		AF	
Clone 153	78 aB	100 aA	57 bB	90 bA
IPR 108	39 bB	91 bA	62 aB	100 aA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula para os genótipos e maiúscula para níveis de  $\text{CO}_2$  não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## CONCLUSÕES

Plantas de *C. arabica* cv. IPR 108 e *C. canephora* cv. Conilon Clone 153 apresentam aumento de crescimento vegetativo semelhante até 90 dias de exposição a diferentes  $[\text{CO}_2]$  (380 e 700  $\mu\text{L CO}_2 \text{ L}^{-1}$ ). Após esse período maior vigor vegetativo é observado em plantas crescidas a 700  $\mu\text{L CO}_2 \text{ L}^{-1}$ .

O aumento da  $[\text{CO}_2]$  funcionou como uma “fertilização de carbono” que poderá ter efeitos benéficos para o crescimento da planta.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Dr. Tumoru Sera (IAPAR, Brasil) pela disponibilização de semente do genótipo estudado. Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, Portugal, enquadrado no projecto PTDC/AGR-PRO/3386/2012 (*ClimaCoffee*) e pela bolsa SFRH/BPD/ 47563/2008 (Ana S. Fortunato), co-financiada pelo programa POPH, subsidiado pelo Fundo Social Europeu. Agradecimentos são ainda devidos à CAPES, Brasil, pelas bolsas de PDSE 12226/12-2 (Lima D. Martins), 0427-14-4 (Weverton P. Rodrigues) e 0343-14-5 (Madlles Q. Martins) e ao CNPq por Bolsas de Produtividade Científica (Eliemar Campostrini e Fábio M. DaMatta).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AINSWORTH EA, ROGERS A. The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising  $[\text{CO}_2]$ : mechanisms and environmental interactions. *Plant Cell & Environment*, v. 30, p. 258-270, 2007.
- ANTUNES WC, POMPELLI MF, CARRETERO DM, DAMATTA FM. Allometric models for non-destructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*). *Annals of Applied Biology*, v. 153, p. 33-40, 2008.
- ASSAD ED, PINTO HS, ZULLO JR, ÁVILA AMH. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n. 11, p. 1057-1064, 2004.

- BERRY J, BJORKMAN, O. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, v. 31, p. 491-543, 1980.
- BUNN C, LÄDERACH P, RIVERA OO, KIRSCHKE D. A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. *Climatic Change*, v. 129, n. 1-2, p. 89-101, 2015.
- CRUZ CD. GENES - software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Sci Agron*, v. 35, p. 271-276, 2013.
- DAVIS AP, GOLE TW, BAENA S, MOAT J. The impact of climate change on indigenous arabica coffee (*Coffea arabica*): predicting future trends and identifying priorities. *PLoS ONE*, v. 7, n. 11, p. e47981, 2012.
- LONG SP. Modification of the response of photosynthetic productivity to rising temperature by atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations: Has its importance been underestimated? *Plant, Cell and Environment*, v. 14, p. 729-739, 1991.
- LONG SP, AINSWORTH EA, ROGERS A, ORT DR. Rising atmospheric carbon dioxide: plants FACE the future. *Annu Rev Plant Biol*. v. 55, p. 591-628, 2004.
- KIRSCHBAUM MUF. Does enhanced photosynthesis enhance growth? Lessons learned from CO<sub>2</sub> enrichment studies. *Plant Physiol*, v. 155, p. 117-124, 2011.
- MARTINS LD, TOMAZ MA, LIDON FC, DaMATTa FM, RAMALHO JC. Combined effects of elevated [CO<sub>2</sub>] and high temperature on leaf mineral balance in *Coffea* spp. plants. *Climatic Change*. v. 126, n. 3-4, p. 365-379, 2014a.
- RAMALHO JC, RODRIGUES AP, SEMEDO JN, PAIS IP, MARTINS LD, SIMÕES-COSTA SC, LEITÃO AE, FORTUNATO AS, BATISTA-SANTOS P, PALOS IM, TOMAZ MA, SCOTTI-CAMPOS P, LIDON FC, DaMATTa FM. Sustained photosynthetic performance of *Coffea* spp. under long-term enhanced [CO<sub>2</sub>]. *PLoS ONE*, v. 8, n. 12, p. e82712, 2013.