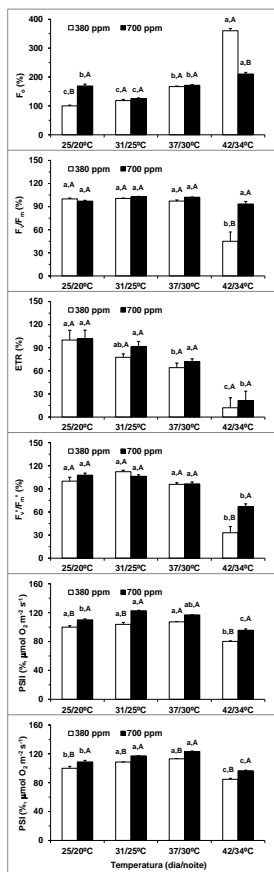


EFEITOS DO AUMENTO DA TEMPERATURA E DA [CO₂] ATMOSFÉRICA AO NÍVEL DO FUNCIONAMENTO DOS FOTOSISTEMAS E TRANSPORTE TILACOIDAL DE ELÉTRONS EM *C. ARABICA* L. CV. ICATU

JC Ramalho^{1,2,*}, WP Rodrigues^{1,3}, LD Martins^{1,4}, MQ Martins^{1,5}, F Colwell¹, JN Semedo⁶, IP Pais⁶, P Scotti-Campos⁶, AP Rodrigues⁷, AS Fortunato¹, AE Leitão^{1,2}, E Lopes¹, P Batista-Santos¹, AI Ribeiro-Barros^{1,2}, FL Partelli⁵, MA Tomaz⁴, E Campostrini³, R Ghini⁸, FM DaMatta⁹, FC Lidon². 1 Grupo Interações Planta-Ambiente & Biodiversidade (PlantStress&Biodiversity), Centro Ambiente, Agricultura e Desenvolvimento (BioTrop), Instituto Investigação Científica Tropical, I.P., Oeiras, Portugal (*cochichor@iict.pt). 2 CICEGe, Fac. Ciências Tecnologia, Univ. Nova Lisboa, Caparica, Portugal. 3 Setor de Fisiologia Vegetal. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Univ. Estadual Norte Fluminense, Darcy Ribeiro, RJ, Brasil. 4 Dept. Produção Vegetal, Centro Ciências Agrárias, Univ. Federal Espírito Santo, Alto Universitário, Alegre, ES, Brasil. 5 Depart. Ciências Agrárias e Biológicas. Centro Universitário Norte do Espírito Santo. Univ. Federal do Espírito Santo, ES, Brasil. 6 Unid. Investigação em Biotecnologia e Recursos Genéticos, Inst. Nac. Inv. Agrária e Veterinária, I.P., Oeiras, Portugal. 7 Centro de Estudos Florestais, DRAT, Inst. Sup. Agronomia, Univ. Lisboa, Portugal. 8 Embrapa Environment, Jaguariúna, SP, Brasil. 9 Dept. Biologia Vegetal, Univ. Federal Viçosa, MG, Brasil.

Tendo em conta as alterações climáticas e aquecimento global esperados, estudos utilizando modelos matemáticos têm previsto forte perda de áreas adequadas ao cultivo do café, decréscimo de produção e redução de biodiversidade. Contudo, é necessário avaliar o impacto real na fisiologia e bioquímica da planta dos efeitos do aumento concomitante da temperatura e [CO₂] atmosférica, tendo ainda em conta possíveis efeitos de mitigação do aumento da [CO₂] relativamente aos efeitos negativos atribuídos ao calor extremo. A tolerância do metabolismo fotossintético às variações ambientais é crucial para uma efectiva aclimação da planta, pelo que o estudo dos impactos relacionados com as alterações climáticas (e.g., temperatura e CO₂) no funcionamento das estruturas fotossintéticas é obrigatório. Em condições de alta [CO₂] as plantas C₃ apresentam aumentos da taxa de fotossíntese líquida (P_n), frequentemente em torno de 50%, mesmo se uma regulação negativa (*down-regulation*) da fotossíntese ocorre, diminuindo o aumento potencial. Tal aumento da P_n deve-se à maior disponibilidade de substrato (CO₂) e à inibição competitiva do CO₂ sobre o O₂ nos sítios de carboxilação da ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase, o que leva à redução da taxa de fotorrespiração. Tendo em conta que esta última aumenta proporcionalmente mais que a P_n a temperaturas mais altas, tem sido sugerido que o efeito positivo do aumento da [CO₂] na P_n (por supressão da fotorrespiração) se possa fazer sentir mais a altas do que a baixas temperaturas, compensando, mesmo que parcialmente, os efeitos negativos das temperaturas supra-óptimas na produção.



Neste trabalho pretendeu-se estudar a extensão do impacto da temperatura no funcionamento dos fotossistemas (PS) I e II e do transporte tilacoídial de elétrons em *C. arabica* cv. Icatu e o possível efeito benéfico do aumento de [CO₂]. Para tal, plantas com 1,5 anos, em vasos de 28 L, foram colocadas numa fitoclima (EHHF 10000, ARALAB, Portugal), onde se desenvolveram durante 1 ano em condições ambientais controladas de temperatura (25/20 °C, dia/noite), irradiância (ca. 650-800 μmol m⁻² s⁻¹), HR (75%), fotoperíodo (12 h), e a 380 μL CO₂ L⁻¹ ou 700 μL CO₂ L⁻¹, sem restrições de água, nutrientes ou espaço para desenvolvimento radicular. Após este período, aumentou-se a temperatura de 25/20 °C até 42/34 °C, a uma taxa de 0,5 °C dia⁻¹, com uma estabilização de 7 dias nas temperaturas 31/25, 37/30 e 42/34 °C para realizar as análises (efetuadas em folhas recém maduras). Os parâmetros de fluorescência da clorofila *a* foram avaliados com um sistema PAM-2000 (H. Walz, EffeLtrich, Alemanha) e incluíram a fluorescência mínima da antena (F_o), a eficiência fotoquímica máxima do PSII (F_v/F_m), ambos determinados em folhas adaptadas à escuridão, assim como a estimativa da taxa de transporte linear de elétrons (ETR) e a eficiência fotoquímica real do PSII (F_v'/F_m'), ambos avaliados à luz em condições de equilíbrio dinâmico da fotossíntese, usando a irradiância das condições de crescimento para estímulo da fotossíntese e *flashes* saturantes de 7500 μmol m⁻² s⁻¹. As taxas de transporte tilacoídais de elétrons *in vivo* envolvendo o PSI e o PSII (incluindo o complexo de oxidação da água) foram determinadas polarograficamente em frações de membranas cloroplastidiais com um electrodo do tipo Clark (LW2, Hansatech, Inglaterra), a 25 °C, conforme otimizado para o cafeeiro.

Resultados e Conclusões

Em condições de temperatura consideradas adequadas (25/20 °C) o aumento da [CO₂] atmosférica não alterou a eficiência do PSII (F_v/F_m e F_v'/F_m'), mas o potencial de transporte de elétrons envolvendo ambos os PSs aumentou cerca de 10%. Tal está de acordo com o aumento da capacidade fotossintética (A_{max}) nestas condições (dados não mostrados). Assim, o aumento na P_n (ca. 80%) não decorrerá tanto do reforço das estruturas fotossintéticas, mas mais provavelmente da limitação da fotorrespiração.

Figura 1. Variações (em % relativa ao tratamento de 380 μL CO₂ L⁻¹ a 25/20 °C) da fluorescência mínima (F_o), eficiência fotoquímica máxima (F_v/F_m) e actual (F_v'/F_m') do PSII, do transporte linear de elétrons (ETR), todos medidos via fluorescência da clorofila *a*, assim como das taxas de transporte tilacoídial de elétrons envolvendo o PSI e o PSII, medidas polarograficamente.

Cada barra representa a média ± erro padrão (n=4-8). A existência de diferentes letras indicam a existência de diferenças significativas entre temperaturas em cada [CO₂] (a,b,c) ou entre os tratamentos de [CO₂] em cada temperatura (A,B), resultante de um teste de comparação de média (Tukey) efectuado após uma *two-way* ANOVA, ambos a 95% de nível de confiança.

Com a exposição das plantas a um aumento gradual (e prolongado) da temperatura o funcionamento dos dois PSs não foi negativamente afectado até aos 37 °C, independentemente do tratamento de CO₂. De fato, o potencial de transporte de elétrons (medidas polarográficas) mostra inclusivamente um reforço moderado (de até 15%), observando-se valores marginalmente superiores nas plantas de 700 μL CO₂ L⁻¹, apesar de a 37 °C o valor de ETR (refletindo o transporte de elétrons sem condições potenciais) mostrar algum decréscimo. Já a 42°C todos os parâmetros estudados foram afectados negativamente, embora de forma desigual entre os tratamentos de CO₂, tendo-se observado impactos consistentemente mais fortes nas plantas de 380 μL CO₂ L⁻¹. Nestas, o declínio de F_v/F_m associado ao aumento de F_o, indicam ter sido atingido o limiar de tolerância ao dano, relacionado com fotoinibição do PSII, possivelmente ligado à perda de proteína D1, como sugerido em café submetido a altos níveis de irradiância.

Nas plantas $700 \mu\text{L CO}_2 \text{ L}^{-1}$ o F_v/F_m não foi afectado. O efeito foi igualmente claro no F_v'/F_m' , aqui em ambos os tratamentos de CO_2 .

Contudo enquanto nas plantas de $380 \mu\text{L CO}_2 \text{ L}^{-1}$ tal poderá estar relacionado com danos não facilmente reversíveis durante o período nocturno (e por isso mantidos no F_v/F_m), nas de $700 \mu\text{L CO}_2 \text{ L}^{-1}$ tal efeito estará provavelmente relacionado com o reforço de mecanismos de dissipação de energia (dados não apresentados) que protegem o PSII e justificam quer o decréscimo de F_v'/F_m' quer a manutenção de F_v/F_m . Tal está igualmente de acordo com os impactos significativos observados na actividade do PSI (-15%) e PSII (-20%) nas plantas de $380 \mu\text{L CO}_2 \text{ L}^{-1}$, enquanto que nas de $700 \mu\text{L CO}_2 \text{ L}^{-1}$ os decréscimos rondaram os 5% em ambos os PSs.

Desta forma o enorme decréscimo de ETR, para 12% ($380 \mu\text{L CO}_2 \text{ L}^{-1}$) e 21% ($700 \mu\text{L CO}_2 \text{ L}^{-1}$) dos valores iniciais não terá a ver principalmente com impactos ao nível dos PSs, mas antes estará relacionado com efeitos noutros pontos da maquinaria fotossintética, nomeadamente nas enzimas, que são particularmente sensíveis a temperaturas altas (dados não apresentados).

Em conclusão, o funcionamento dos PSs e o transporte potencial de elétrons das plantas de Icatu mostraram tolerância até 37°C , tendo sido claramente afectadas apenas a 42°C . Tal está de acordo com observações de que as estruturas fotossintéticas do cafeeiro são relativamente tolerantes a estresses ambientais, nomeadamente, temperaturas altas. Deve-se salientar que as plantas de $700 \mu\text{L CO}_2 \text{ L}^{-1}$ CO_2 mantiveram níveis funcionais significativamente mais altos do que as de $380 \mu\text{L CO}_2 \text{ L}^{-1}$, mesmo a 42°C , o que é altamente relevante num contexto de alterações climáticas e aquecimento global estimadas para o presente século.