

TROCAS GASOSAS EM CULTIVARES E GENÓTIPOS DE CAFÉ ARÁBICA COM GENES DE *COFFEA RACEMOSA*, *C. LIBERICA* E *C. CANEPHORA* SUBMETIDOS A TEMPERATURA ALTA¹

Getúlio Takashi Nagashima²; Carolina Maria Gaspar de Oliveira³; Gustavo Hiroshi Sera⁴; André Kikuchi Bagatin⁵; Nathan Aparecido Nunes Pereira⁶; Fernando Carducci⁷

¹ Trabalho financiado pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café – Consórcio Pesquisa Café

² Pesquisador, DSc, IAPAR, Londrina-PR, gtnagashima@iapar.br

³ Pesquisador, DSc, IAPAR, Londrina-PR, carolina@iapar.br

⁴ Pesquisador, DSc, IAPAR, Londrina-PR, gustavosera@iapar.br

⁵ Bolsista Consórcio Pesquisa Café, BS, ankbagatin@hotmail.com

⁶ Bolsista Consórcio Pesquisa Café, Graduando Agronomia, nathannunespereira@gmail.com

⁷ Doutorando Agronomia UEL, fernando.carducci@hotmail.com

RESUMO: A iminência no aumento da temperatura global faz-se necessária pesquisas que avaliam o comportamento de diversas culturas sob alta temperatura. Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar as trocas gasosas de genótipos de café submetidos a alta temperatura. Realizou-se o experimento em condições de casa de vegetação, utilizando vasos (tubos) com 300 mm de diâmetro e um metro de profundidade, utilizando-se cinco genótipos de café previamente selecionados pela área de melhoramento do IAPAR, sendo: ‘Catuaí Vermelho IAC 81’, *Coffea racemosa*, H0104-11-1, ‘IPR 100’ e ‘IPR 103’. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com cinco repetições. Os efeitos de altas temperaturas no aparato fotossintético foram mensurados através da fotossíntese, transpiração, eficiência do uso de água e condutância estomática em plantas submetidas a temperatura de 40 °C, e comparadas com aquelas em condição ambiental. Também foram determinadas o efeito em plantas, de temperatura alta por um período de dez minutos também comparados com os do ambiente, empregando três repetições. A análise de variância foi em esquema fatorial (genótipos x temperatura e genótipos x tempo de exposição), e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5%. As trocas gasosas entre os genótipos não apresentam diferenças significativas na fotossíntese líquida e na condutância estomática, com redução dos valores quando as folhas estão condicionadas a temperatura de 40 °C. No quesito transpiração, houve efeito dos genótipos e não na comparação de diferentes temperaturas. Os resultados obtidos com diferentes tempos de exposição apresentaram o não efeito dos genótipos na fotossíntese líquida, no entanto houve diferenças estatísticas em relação ao tempo de exposição. Houve influência dos genótipos na condutância estomática e na transpiração, mas sem efeito nos tempos expostos a temperatura alta. A menor redução na taxa de trocas gasosas foi verificada para o genótipo Aramosa F4, seguida da cultivar IPR 103.

PALAVRAS-CHAVE: fotossíntese, transpiração, estômatos, calor, tempo de exposição.

GAS EXCHANGES IN CULTIVARS AND GENOTYPES OF ARABIC COFFEE WITH GENES OF *COFFEA RACEMOSA*, *C. LIBERICA* AND *C. CANEPHORA* SUBMITTED AT HIGH TEMPERATURE¹

ABSTRACT: The imminence in the increase of the global temperature, research is needed to evaluate the behavior of several crops under high temperature. So It was conducted the experiment in greenhouse conditions with plastic pots (tubes) with 300 mm in diameter and one meter of depth it were evaluated five genotypes previously selected by the breeding area IAPAR: ‘Catuaí Vermelho (IAC 81)’, *Coffea racemosa*, H0104-11-1, ‘IPR 100’ and ‘IPR 103’. The effects of high temperature in coffee plant were measured. The experimental design was a randomized block with five replicates. The effects of high temperatures in the photosynthetic apparatus were measured through photosynthesis, transpiration and stomatal conductance in plants submitted to a temperature of 40 °C, and compared with those in an environmental condition. The effect was also determined on plants of high temperature for a period of ten minutes also compared to the environment, using three replicates. The analysis of variance was in a factorial scheme (genotypes x temperature, and genotypes x exposure time), and the means were compared by the Tukey test at 5%. Gaseous exchanges between genotypes do not present significant differences in liquid photosynthesis and stomatal conductance, with reduction of values when leaves are conditioned at 40 °C. In the question of transpiration, there was an effect of the genotypes and not in the comparison of different temperatures. The results obtained with different exposure times showed no effect of the genotypes on liquid photosynthesis; however, there were statistical differences in relation to the time of exposure. There was influence of the genotypes on stomatal conductance and transpiration, but no effect on the times exposed to high temperature. The lowest reduction in gas exchange rates was verified for Aramosa F4 genotype, followed by cultivar IPR 103.

KEY WORDS: photosynthesis, transpiration, stoma, warmth.

INTRODUÇÃO

O café é uma planta perene encontrado naturalmente vegetando em condição de sub-bosques no continente africano, em regiões altas do sul da Etiópia, crescendo sob constante sombreamento. Temperaturas do ambiente, altas ou baixas afetam o desenvolvimento, os processos fisiológicos e consequentemente a produtividade do cafeeiro.

Para o cafeeiro arábico, as regiões com temperaturas entre 18 e 22 °C são considerados ótimos para o seu desenvolvimento e produção. Temperaturas médias anuais superiores a 23 °C causam precocidade no desenvolvimento e na maturação de frutos, podendo causar perdas na produção e também na qualidade dos frutos. Temperaturas constantes superiores a 30 °C não induzem o crescimento e causam amarelecimento das folhas (RENA et al., 2001). No entanto, DaMatatta et al. (2001) observaram que a temperatura necessária para obter a fotossíntese máxima era tão alta quanto 35 °C tanto para o café arábica como para o robusta. Além disso, as taxas de fotossíntese e crescimento vegetativo do cafeeiro são máxima durante toda a estação quente, como ocorre nas condições de cultivo brasileiros (SILVA et al., 2004).

Mas, em condições de cultivo a pleno sol, como normalmente são manejadas as lavouras na região produtora do Brasil, com altas taxas de radiação solar e com períodos de temperaturas altas, além da redução da produção, pode afetar as trocas gasosas, pois o café é considerado planta que apresenta valores baixos de fotossíntese líquida, podendo em face disso apresentar perda de eficiência fotoquímica do fotossistema II levando a formação de espécies reativas de oxigênio, ocasionando a escaldadura (CHAVES, et al., 2005), com perda da coloração verde, amarelecimento e em casos graves a queima foliar (ALVES; GUIMARÃES, 2010). Os sistemas fotossintéticos são sensíveis a alternância de temperatura, pois estão dispostos na membrana do tilacóide e, segundo Niinemets et al. (1999), essas pequenas variações no ambiente podem espelhar em maior fluidez, proporcionando desorganização no aparato.

Considerando que o aumento da temperatura média global, consequência da alteração climática causada por gases de efeito estufa, com ênfase na liberação de CO₂ ocasionada pela queima de combustíveis fósseis (carvão mineral, derivados de petróleo e gás natural) e desmatamento de florestas e consequente queimadas para fomentar a produção de alimentos vem sendo acompanhadas por período de déficit hídrico, cada vez mais comuns. Além disso, têm-se observado uma consistente tendência de aumento de temperaturas médias anuais (ASSAD et al, 2004), e com o incremento, o aumento de eventos climáticos extremos, como chuvas intensas, ondas de calor, vendavais e períodos de veranicos têm sido mais constante (IPCC, 2014). Assim, pode-se inferir que as atuais áreas consideradas aptas para o cultivo de diversas espécies poderão se tornar inadequadas ao desenvolvimento vegetativo, induzindo menores produções e incorrendo na inviabilização do cultivo dessas espécies.

Com as características genéticas e fisiológicas reais das cultivares de café arábica atualmente cultivadas no Brasil, poderão sofrer reduções severas de áreas adequadas para o cultivo da cultura. Essas reduções podem atingir valores de até 95% em Goiás, Minas Gerais e São Paulo, e 75% no Paraná (ASSAD et al., 2004). Isso realça a necessidade de selecionar e produzir plantas tolerantes a temperaturas mais elevadas.

Dessa forma, o presente trabalho objetivou avaliar diferentes genótipos em condições de altas temperaturas sobre as características fisiológicas como a fotossíntese líquida, a condutância estomática, a transpiração e a eficiência do uso de água.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Instituto Agrônomo do Paraná em Londrina-Pr. (23.22 S; 51.10 W) altitude de 585 m, utilizando vasos (tubos) com volume de aproximadamente 70 L, com diâmetro de 300 mm completados com: 1/3 areia lavada, 1/3 solo, 1/3 adubo orgânico (esterco de curral), além de 150 g de KCl e 150 g de calcário dolomítico. Os genótipos utilizados foram: IPR 100 (Catuaí SH3 com genes de *Coffea liberica*), IPR 103 (Catuaí), Catuaí (Catuaí), IPR 99 (Sarchimor), Apoatã (*C. canephora*) e Aramosa F4 [IPR 104 x (Tupi x (Iapar 81185 x Tupi))]. As plantas foram dispostas em blocos casualizados, e no momento das avaliações encontravam-se no estágio de início da fase reprodutiva. As medições das trocas gasosas foram realizadas utilizando-se o equipamento LC-Pro SD da ADC-Bioscientific Ltd., com exposição das folhas a luz artificial (869 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), no terceiro par de folhas do ramo plagiotrópico da região mediana da planta, entre as 9:00 h e 12:00 h, obtendo-se os valores de fotossíntese líquida, transpiração e condutância estomática. No primeiro experimento avaliou-se as trocas gasosas em condições de temperatura ambiente e a 40 °C (através de aquecimento artificial realizado pelo próprio equipamento) em cinco repetições. No segundo experimento os parâmetros foram avaliados com o aquecimento da folha por 10 minutos, sendo realizadas quatro leituras a cada 2,5 minutos. A análise de variância foi realizada em esquema fatorial sendo os fatores: 6 genótipos x 2 temperaturas (ambiente e 40°C) e 6 genótipos x 4 tempos de exposição a 40 °C (2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 min), e a comparação de médias por Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Experimento 1

No tocante a fotossíntese líquida, os valores obtidos não apresentaram diferenças significativas quando comparados os efeitos dos diferentes genótipos (Tabela 1). Quando analisado o efeito da temperatura alta de 40 °C em relação a do

ambiente (36 – 37 °C) houve diferença, com redução de 32,3% quando a lâmina foliar se encontrava em condições aquecidas artificialmente.

Com exceção da cultivar IPR 100, todas as outras cultivares e genótipos avaliados apresentaram o efeito do fornecimento de calor reduzindo os valores da fixação de carbono. De maneira semelhante a este trabalho, Santini et al. (2015) avaliando plantas de café da cultivar Catuaí com 1,7 metros de altura em condições de campo, verificaram uma acentuada queda no valor da fotossíntese líquida quando comparados na avaliação às 15 h em relação às obtidas as 9 h, com queda de até 75% nos valores, com temperatura foliar chegando a 38 °C. Já Ramalho et al. (2014) estudando o efeito do aumento da concentração de CO₂ e da temperatura do ambiente em condições de câmara de crescimento, utilizando a cultivar IPR 108, observaram que atividade na fixação de carbono não é negativamente afetada até 37/30 °C (noite/dia) nas plantas desenvolvidas em condições de altas concentrações de carbono atmosférico (700 ppm), ou seja em temperaturas acima das consideradas ótimas.

Tabela 1. Valores médios de fotossíntese líquida (A) em plantas de café em temperaturas ambiente e a 40 °C.

Genótipos	Fotossíntese líquida (A) - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$		Média
	Temperatura		
	Ambiente	40 °C	
IPR 100	5,756 a A	4,741 a A	5,249 a
IPR 103	5,866 a A	3,261 a B	4,564 a
Catuaí	6,947 a A	4,171 a B	5,559 a
IPR 99	7,375 a A	4,972 a B	6,174 a
Apoatã	6,402 a A	4,526 a B	5,464 a
Aramosa F4	6,416 a A	4,364 a B	5,465 a
Média	6,460 A	4,364 B	5,412
C. V. (%)	22,80		

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A transpiração verificada no presente experimento (Tabela 2), apresentou o efeito dos genótipos, em condições médias com a cultivar IPR 99 apresentando maior volume de líquido transpirado, diferenciando da IPR 103, que apresentou menor média de transpiração, no entanto, não diferindo das demais cultivares e genótipos. Quando comparados os genótipos em relação a temperatura ambiente não houve diferença entre os materiais analisados, tampouco com a temperatura a 40 °C.

Tabela 2. Valores médios de transpiração (E) em plantas de café em temperaturas ambiente e a 40 °C.

Genótipos	Transpiração (E) - $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$		Média
	Temperatura		
	Ambiente	40 °C	
IPR 100	2,031 a A	2,961 a A	2,496 ab
IPR 103	2,101 a A	2,204 a A	2,153 b
Catuaí	2,714 a A	2,803 a A	2,759 ab
IPR 99	3,353 a A	3,733 a A	3,543 a
Apoatã	2,513 a A	2,611 a A	2,562 ab
Aramosa F4	2,644 a A	2,473 a A	2,559 ab
Média	2,560 A	2,780 A	2,670
C. V. (%)	38,18		

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Considerando ao apresentado na Tabela 3, não houve diferença da EUA entre as cultivares e genótipos avaliados, independente das temperaturas aplicadas. Os maiores valores da EUA foram verificados na cultivar Catuaí e também na espécie Apoatã e no genótipo Aramosa F4 e que também não diferenciaram quando condicionado a temperatura de 40 °C, demonstrando uma boa estabilidade e tolerância ao maior calor. As demais cultivares apresentaram um declínio significativo em razão da temperatura de 40 °C, quando comparadas com valores a temperatura ambiente.

A manutenção de elevadas taxas fotossintéticas associadas a menores valores de E são características de plantas tolerantes a menor disponibilidade de água no solo e também a altas temperaturas, que é refletido pela maior EUA demonstrando a plasticidade fisiológica das cultivares em relação aos fatores abióticos (FUNK e VITOUSEK,2007).

Tabela 3. Valores médios da eficiência do uso de água (EUA) -A/E em cafeeiros na temperatura ambiente e a 40 °C.

Genótipos	Eficiência do uso de água (EUA) – A/E		
	Temperatura		Média
	Ambiente	40 °C	
IPR 100	3,110 a A	1,634 a B	2,372 a
IPR 103	3,120 a A	1,592 a B	2,356 a
Catuai	2,651 a A	2,042 a A	2,346 a
IPR 99	2,083 a A	1,274 a B	1,679 a
Apoatã	2,822 a A	2,202 a A	2,512 a
Aramosa F4	2,603 a A	1,964 a A	2,283 a
Média	2,731 a	1,784 B	2,258
C. V. (%)	27,95		

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A condutância estomática não apresentou efeito dos genótipos analisados nas duas temperaturas, no entanto houve efeito considerando a média das temperaturas (Tabela 4), apresentando a cultivar IPR 99 com maior valor, diferenciando da IPR 103. Não houve diferença entre demais cultivares e genótipos. Houve diferença estatística quando comparados valores médios com redução significativa da abertura estomática quando as plantas são induzidas a temperaturas mais alta, com redução aproximada de 25%, o que refletiu na menor fotossíntese líquida, corroborando as informações de Tribuzy (2005), o qual analisando a variação de temperatura no dossel de diversas árvores e o seu efeito na taxa assimilatória de CO₂, informa que um dos primeiros fatores a reduzir a fotossíntese após a temperatura ótima é a condutância estomática.

Tabela 4. Valores médios da condutância estomática (Gs) em plantas de café em temperaturas ambiente e a 40 °C.

Genótipos	Condutância estomática (Gs)* - mol m ⁻² s ⁻¹		
	Temperatura		Média
	Ambiente	40 °C	
IPR 100	0,078 a A	0,075 a A	0,080 ab
IPR 103	0,075 a A	0,049 a A	0,062 b
Catuai	0,109 a A	0,086 a A	0,098 ab
IPR 99	0,145 a A	0,106 a A	0,126 a
Apoatã	0,101 a A	0,071 a A	0,086 ab
Aramosa F4	0,104 a A	0,061 a A	0,083 ab
Média	0,101 a	0,076 B	0,089
C. V. (%)	27,92**		

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. *Valores reais e ** transformação : $x = \sqrt{y}$

Experimento 2

Nas avaliações efetuadas em folhas de café com aquecimento artificial de 40 °C por um período de 10 minutos e avaliados a cada dois minutos e meio não houve interação estatística significativa entre genótipos e tempo de exposição. Quanto ao tempo de exposição, houve redução após cinco minutos, no entanto, não apresentando diferença significativa com as leituras aos dois minutos e meio. Com o passar do tempo em que a lâmina foliar ficou sob aquecimento, houve redução da fixação do carbono (Tabela 5).

A condutividade estomática e a transpiração apresentaram resultados similares, com efeito dos genótipos. IPR 103, e Aramosa F4 foram a cultivar e genótipo, respectivamente, que apresentaram valores maiores para condutividade e também a cultivar IPR 103 para a transpiração, apresentando estômatos mais abertos e infere maior volume de água transpirada, diferenciando somente da cultivar IPR 99 que apresentou maior fechamento de estômatos e consequente menor transpiração.

Em relação aos tempos de exposição, houve pequena redução dos valores com o passar dos tempos de exposição, mas não apresentaram diferenças significativas. Os resultados mostram que a fotossíntese líquida, independente dos genótipos apresentam as mesmas reações a altas temperaturas, ou seja, quanto maior o tempo de exposição, maior a redução, diferenciando da condutividade estomática e a transpiração que são mais dependentes dos genótipos do que o tempo de exposição.

Independente dos valores das trocas gasosas dos diversos genótipos, foi considerado o primeiro valor obtido como 100% e verificado a redução percentual da fotossíntese líquida (A), da transpiração (E) e da condutância estomática (Gs) (Figura 1). A menor redução em porcentagem na fotossíntese líquida após 10 minutos sob temperatura de 40 °C ficou com o genótipo Aramosa e IPR 103, com valores de 44%. A maior redução (63%) foi para a cultivar Catuai. A

menor redução na transpiração ficou com a Aramosa F4 seguida da IPR 103 com valores repectivos de 26 e 30%. A maior redução ocorreu na cultivar IPR 99 com 58%.

Tabela 5. Valores médios de fotossíntese líquida (A), condutância estomática (Gs), transpiração (E) e eficiência do uso de água (EUA) de diferentes genótipos de *Coffea arabica* com genes de outras espécies de *Coffea* em condições de temperatura de 40 °C por dez minutos.

Genótipos	Fotossíntese líquida (A)* $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Condutância estomática (Gs)* $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Transpiração (E)* $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Eficiência do uso de água (EUA)* A/E
IPR 100	3,71 a	0,61 ab	2,79 a	1,20 b
IPR 103	4,86 a	0,67 a	1,94 a	1,70 ab
Catuaí	3,54 a	0,47 ab	1,77 ab	2,37 ab
IPR 99	2,88 a	0,21 b	1,44 b	2,88 a
Apoatã	2,90 a	0,35 ab	1,67 ab	1,76 ab
Aramosa F4	4,84 a	0,69 a	1,94 a	1,73 ab

Tempo exposição (min)	Fotossíntese líquida (A)* $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Condutância estomática (Gs)* $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Transpiração (E)* $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Eficiência do uso de água (EUA)* A/E
2,5	5,47 a	0,68 a	2,90 a	2,32 a
5,0	3,71 ab	0,51 a	2,36 a	1,97 a
7,5	3,32 b	0,42 a	2,07 a	1,72 a
10,0	2,72 b	0,38 a	1,91 a	1,76 a
C.V. (%)	20,0**	1,71**	18,46**	17,70**

* Valores reais; ** valores transformados para comparação de médias: $y = \sqrt{x + 1}$;

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Em referência a condutância estomática, novamente a Aramosa F4 foi o genótipo que reduziu menos, com diminuição de 32% e IPR 99 com redução maior de 63,6%.

Considerando os resultados do efeito de alta temperatura (40 °C) por tempo de 10 minutos, observa-se que o menos sensível aos efeitos negativos foi o genótipo Aramosa F4. Na sequência, a cultivar IPR 103 apresenta-se também com os valores das trocas gasosas sem muita redução.

Os resultados na avaliação da eficiência do uso de água (EUA) apresentaram somente o efeito dos genótipos, não apresentando diferenças significativas no tocante a tempo de exposição. O menor valor atingido foi a cultivar IPR 100 e a IPR 99 com maior valor.

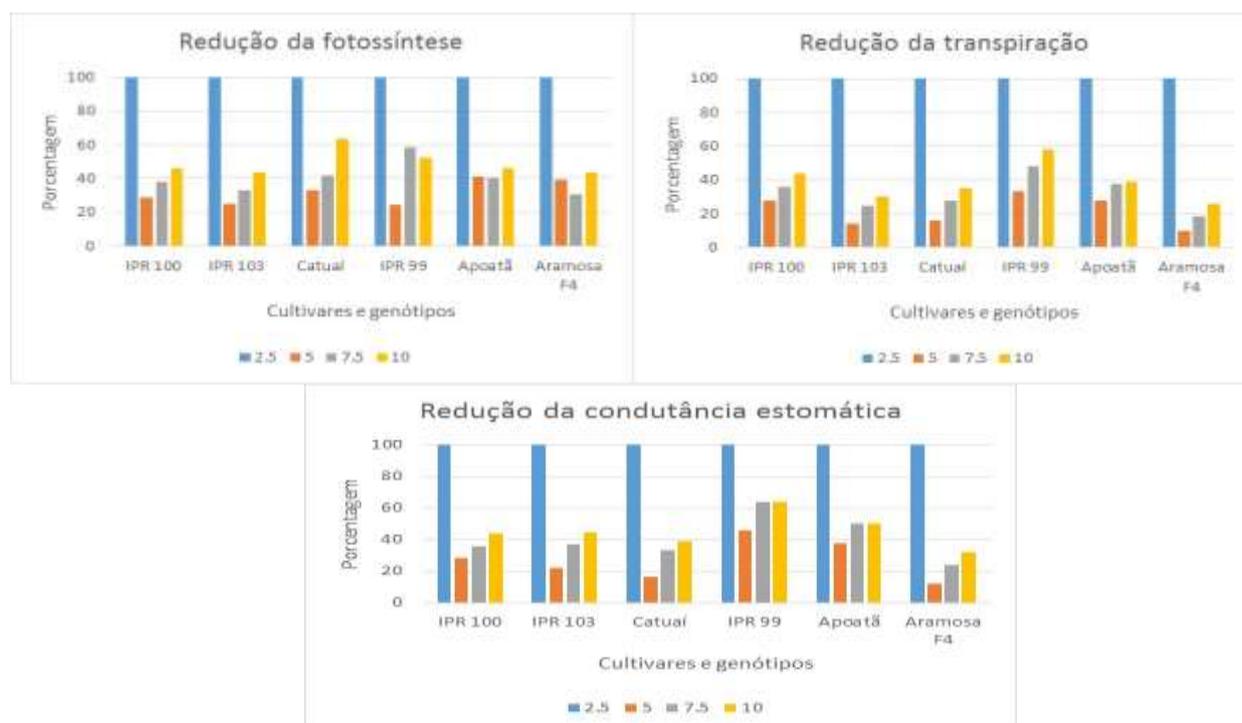


Figura 1. Redução relativa em percentagem de fotossíntese líquida (A), da transpiração (E) e da condutância estomática (Gs) em *Coffea arabica* sob condições de alta temperatura (40 °C) por 10 minutos.

CONCLUSÕES

1. Quando expostas a maior tempo em temperatura alta, o principal fator afetado é a fotossíntese líquida;
2. Entre os materiais genéticos estudados a cultivar IPR 99 é a que apresenta maior sensibilidade a alta temperatura;
3. O genótipo Aramosa F4 e a cultivar IPR 103 apresentam-se com condutância estomática superior as demais sob condições de alta temperatura;
4. A menor redução na taxa de trocas gasosas é verificada para o genótipo Aramosa F4, seguido da cultivar IPR 103.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, J.D.; GUIMARÃES, R.J. Sintomas de desordens fisiológicas em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R.J.; MENDES, A.N.G.; BALIZA, D.P. (Ed.). *Semiologia do Cafeeiro. Sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas*. Lavras, MG: UFLA, 2010, p. 171-215.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H.S.; ZULLO JUNIOR, J.; ÁVILA, A.M.H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.11, p.1057-1064, 2004.
- CHAVES, A. R. M.; DaMATTA, F.M.; RIBEIRO, A.; PINHEIRO, H.A.; MORAES, G.K.; MATISTA, K.D.; DIAS, P.C.; ARAÚJO, W.L.; CATEN, A.T.; RONCHI, C.; CUNHA, R.L.; LOUREIRO, M. Fotossíntese e mecanismos de proteção da escaldadura em *Coffea arabica* L., cultivado em campo sob dois níveis de irradiância. In: SIMPOSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 4, 2005, Londrina. *Anais...Brasília: Embrapa Café*, 2005.
- DaMATTA, F.M.; LOOS, R.A.; RODRIGUES, R.; BARROS, R.S. Actual and potential photosynthetic rates of tropical crop species. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.13, p. 24-32, 2001.
- FUNK, J.L., VITOUSEK, P.M. Resource-use efficiency and plant invasion in low-resource systems. *Nature* 446, 1079–1081, 2007.
- IPCC. Intergovernmental panel on climate change. Working group III. Mitigation of Climate Change. 99p. http://report.mitigation2014.org/drafts/final-draft_post_plenary/ipcc_wg3_ar5_final-draft_post_plenary_technical-summary.pdf. 2014.
- NIINEMETS, U.; OJA, V.; KULL, O. Shape of leaf photosynthetic electron transport versus temperature response curve is not constant along canopy light gradients in temperature deciduous trees. *Plant Cell and Environment*, v. 22, n.12, p.1497-1513, 1999.
- RAMALHO, J.C.; PAIS, I. P.; SCOTTI-CAMPOS, P.; RODRIGUES, A. P.; FORTUNATO, A. S.; LEITÃO, A. E.; RENA, A. B., BARROS, R. S., MAESTRI, M., ZAMBOLIM, L. Desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro. *Tecnologias de produção de café com qualidade*. Viçosa: UFV, p.101-128, 2001.
- SANTINI, P.T.; SOUZA, K.R.D. de; ALVES, J.D.; BARBOSA, J.P.R.A.D; SANTINI, A.T. Mapeamento da temperatura e taxas fotossintéticas no dossel do cafeeiro. In: Simpósio de Pesquisas dos Cafés do Brasil, 9. 2015, Curitiba. Disponível em: <http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/spcb_anais/simposio9/23.pdf> Acesso em: 05 abr. 2017.
- SILVA, E.A.; DA MATTA, F.M.; DUCATTI, C.; REGAZZI, A.J.; BARROS, R.S. Seasonal changes in vegetative growth and photosynthesis of Arabica coffee trees. *Field Crops Research*, v.89, p.349-357, 2004.
- TRIBUZY, E.S. Variações de temperatura foliar do dossel e o seu efeito na taxa assimilatória de CO₂ na Amazônia Central. Tese de doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 84p. 2005.