

CRESCIMENTO, CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA E TROCAS GASOSAS FOLIARES: UMA CARACTERIZAÇÃO EM GENÓTIPOS DO CAFEIEIRO CONILON¹

Danilo Força Baroni²; Leticia Fernandes Tavares Barcelos³; Larissa Crisóstomo de Souza Barcelos⁴; Guilherme Augusto Rodrigues de Souza⁵; Wallace de Paula Bernado⁶; Viacheslav Shevchuk⁷; Thiago Amisthá Koppe⁸; Claudio Martins de Almeida⁹; Rosana Maria dos Santos Nani de Miranda¹⁰; Diesily de Andrade Neves¹¹; Anne Reis Santos¹²; Benjamim Valentim da Silva¹³; Deivisson Pelegrino de Abreu¹⁴; Katherine Fraga Ruas¹⁵; Abraão Carlos Verdin Filho¹⁶; José Cochicho Ramalho¹⁷; Weverton Pereira Rodrigues¹⁸; Eliemar Campostrini¹⁹

¹Trabalho financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro - FAPERJ

²Doutorando em Produção Vegetal, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, baronidf@gmail.com

³Graduanda em Agronomia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, leticiafbarcelos@gmail.com

⁴Graduanda em Biologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, larissa_crisostomo@hotmail.com

⁵Mestrando em Produção Vegetal, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, guilherme.rodrigues@edu.uniube.br

⁶Mestrando em Produção Vegetal, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, wallace-bernardo@hotmail.com

⁷Undergraduate of Sustainable Agriculture for food and Environment course, Universita Cattolica, Piacenza, Italy, slava.shevchuk@gmail.com

⁸Graduando em Agronomia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, thiago.amistha@hotmail.com

⁹Graduando em Agronomia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, claudio@pq.uenf.br

¹⁰Graduanda em Agronomia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, ronani.uenf@gmail.com

¹¹Graduanda em Agronomia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, diesilyandrade@gmail.com

¹²Graduanda em Biologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, annersantos@outlook.com

¹³Doutorando em Produção Vegetal, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, benjamimvalentim.14@hotmail.com

¹⁴Mestrando em Produção Vegetal, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, deivissonpabreu.uenf@gmail.com

¹⁵Doutora em Produção Vegetal, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, katherinefraga@yahoo.com.br

¹⁶Pesquisador, Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural – INCAPER, Marilândia, ES, verdin.abcfilho@gmail.com

¹⁷Pesquisador, Dsc, LEAF, Instituto Superior de Agronomia – Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal (UID/AGR/04129/2019) & GeoBioTec, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, Caparica, Portugal (UID/GEO/04035/2019), cochichor@mail.telepac.pt; cochichor@isa.ulisboa.pt

¹⁸Pós Doutorando em Produção Vegetal, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, wevertonuenf@hotmail.com

¹⁹Professor, Dsc, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, campostenator@gmail.com

RESUMO: A produção de café, como de outras culturas, poderá ser afetada por fortes impactos associados às mudanças climáticas futuras, incluindo o aumento da frequência de eventos ambientais extremos como ondas de calor, inundações e episódios de seca prolongada. As plantas, apresentam mecanismos para, dentro de determinados limites, lidarem com condições ambientais desfavoráveis, como o desenvolvimento de sistemas radiculares vigorosos e profundos para aceder a reservas hídricas do solo em caso de seca. Assim, é importante o desenvolvimento de estudos relacionados ao crescimento e fisiologia da parte aérea e do sistema radicular, bem como a relação entre ambos. Portanto, o objetivo nesse trabalho foi avaliar as características de crescimento da parte aérea e do sistema radicular, a condutividade hidráulica do sistema radicular e as trocas gasosas foliares em diferentes genótipos de *Coffea canephora*. Foram utilizadas mudas obtidas por meio do enraizamento de estacas, as quais foram transplantadas para tubos de PVC (1,0 m altura; 0,2 m diâmetro) após o desenvolvimento do quarto par de folhas. Implementou-se um delineamento em blocos casualizados com quatro genótipos (A1, 3V, 14 e 19) e seis repetições, uma planta por repetição, totalizando 24 unidades experimentais (plantas). Três meses após o transplantio foram realizadas análises de crescimento (altura de planta, área foliar, número de folhas, diâmetro do caule e taxa de crescimento do sistema radicular) e de trocas gasosas foliares. Foi efetuada também a determinação da condutividade hidráulica do sistema radicular dos genótipos estudados usando uma câmara de pressão. O genótipo 14 apresentou menor eficiência na conversão do CO₂ assimilado em crescimento de parte aérea que o genótipo 3V. Além disso, o genótipo 3V apresentou taxa de crescimento diário em profundidade do sistema radicular superior ao genótipo 14 e condutividade hidráulica do sistema radicular (K_{R,ASR}) superior ao genótipo 19. Verificou-se que os genótipos com maior condutividade hidráulica do sistema radicular apresentaram maior crescimento da parte aérea.

PALAVRAS-CHAVE: *Coffea canephora*, crescimento de sistema radicular, condutividade hidráulica e trocas gasosas.

PLANT GROWTH, HYDRAULIC CONDUCTIVITY AND LEAF GAS EXCHANGES: A DESCRIPTION IN CONILON COFFEE GENOTYPES

ABSTRACT: Coffee production, as in other crops, could be affected by the strong impacts associated with future climate change, including the frequency increase of extreme environmental events, such as heat waves, flooding and long-term drought episodes. Within some limits, plants have developed mechanisms to cope with such environmental constraints, as the development of vigorous and deep root systems to improve the access to soil water resources. Therefore, studies related to morphology and physiology of the shoot and root system, and the relationship between them, become increasingly important. In this context, this study aims at to evaluate the growth characteristics of the shoot and root system, the root hydraulic conductance and the leaf gas exchange in different *Coffea canephora* genotypes. Seedlings obtained by rooting cuttings were used and transplanted into PVC tubes (1.0 m high; 0.2 m diameter) after the development of the fourth leaf pair. A randomized block design implemented, considering four genotypes (A1, 3V, 14 and 19) and six replicates of one plant each, with a total of 24 experimental units (plants). Three months after transplantation, plant growth (plant height, leaf area, leaf number, stem diameter and growth rate of the root system) and leaf gas exchange analyzes were performed. The hydraulic conductivity of the root system of the studied genotypes was also determined using a pressure chamber. The genotype 14 presented lower efficiency in the conversion of C-assimilated into shoot growth than genotype 3V. In addition, genotype 3V showed higher daily root growth rate in depth than genotype 14 and root hydraulic conductivity ($K_{R,RAS}$) higher than genotype 19. It was found that genotypes with higher hydraulic conductivity of the root system showed higher shoot growth.

KEY WORDS: *Coffea canephora*, root system growth, hydraulic conductivity and gas exchange.

INTRODUÇÃO

O cultivo do cafeeiro é considerado uma das principais atividades do agronegócio e é responsável pela geração de mais de 8 milhões de empregos no Brasil (MAPA, 2018), sendo um dos grandes responsáveis pelo crescimento econômico do Brasil. É cultivado em diversos estados brasileiros, movimentando o comércio interno e externo e promovendo o aumento da renda por meio de empregos diretos e indiretos.

Apesar da resiliência do cafeeiro e da mitigação dos impactos do calor pelo aumento da $[CO_2]$ do ar (Martins et al., 2016; Rodrigues et al., 2016; Ramalho et al. 2018; DaMatta et al., 2019), a produção de café, como de outras culturas, poderá sofrer impactos associados às mudanças climáticas futuras, principalmente em condições de restrição hídrica (Gray et al., 2016). Assim, em previsões extremas é possível que até o final desse século, a $[CO_2]$ possa aumentar até próximo a 1000 ppm, com um aumento concomitante da temperatura até 4,8 °C (IPCC, 2013; IPCC, 2014). Essas mudanças climáticas estão associadas às alterações na frequência e na severidade dos eventos extremos, incluindo, aumento das ondas de calor, inundações e episódios de secas prolongadas (DaMatta et al., 2018), o que poderá trazer grandes incertezas ao rendimento do café e a qualidade da bebida (DaMatta et al., 2018) e por isso à sustentabilidade da cultura.

Dentro de certos limites ambientais, as plantas desenvolvem diversos mecanismos que lhes permitem aclimatar a condições estressantes, como por exemplo, desenvolvimento de sistemas radiculares vigorosos (DaMatta, 2004) e profundos (Pinheiro et al., 2004) sob condições de seca, o que permite a exploração dos recursos hídricos em um maior volume de solo. Entretanto, os estudos mais aprofundados sobre as características do sistema radicular das plantas de café ainda são escassos no que se refere ao crescimento em profundidade, bem como à condutividade hidráulica. Dessa forma, torna-se cada vez mais importante estudos relacionados aos aspectos fisiológicos da parte aérea e do sistema radicular, bem como suas interações. Isso facilitará a seleção de materiais com características desejáveis, como por exemplo, tolerância ao estresse hídrico. Portanto, o objetivo nesse trabalho foi avaliar as características de crescimento da parte aérea e do sistema radicular, a condutividade hidráulica do sistema radicular e as trocas gasosas foliares em diferentes genótipos de *Coffea canephora* cv. Conilon de forma a obter informações inerentes a cada genótipo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em Campos dos Goytacazes, em casa de vegetação na Universidade Estadual do Norte Fluminense, de Maio a Agosto de 2019. O clima da região é do tipo tropical úmido (Mendonça et al., 2011), chegando a 32,5 °C (Freitas, 2006) e radiação de até 1200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ no interior da casa de vegetação. Foram utilizadas mudas de *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner cv. Conilon (genótipos A1, 3V, 14 e 19) obtidas por meio do enraizamento de estacas. O experimento foi implementado em um delineamento em blocos casualizados com quatro tratamentos (genótipos A1, 3V, 14 e 19) e seis repetições de uma planta cada, totalizando 24 plantas (unidades experimentais). Após atingir o quarto par de folhas totalmente desenvolvido, as mudas foram transplantadas em tubos de PVC com dimensões de 1,0 m de altura e 0,2 m de diâmetro, com aberturas ao longo do tubo para permitir as mensurações do desenvolvimento do sistema radicular. Após o terceiro mês do transplantio foram realizadas análises de crescimento

(altura de planta, área foliar, número de folhas, diâmetro do caule e taxa de crescimento diário do sistema radicular em profundidade (TCSR)) e das trocas gasosas foliares. A determinação da área foliar por planta foi realizada segundo metodologia proposta por Partelli et al. (2006). Para a determinação da TCSR, efetuou-se a divisão do comprimento do sistema radicular pelo número de dias após o transplante que as mesmas levaram até atingir tal comprimento. As avaliações das taxas de fotossíntese líquida (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e transpiração, (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), foram realizadas entre 09h e 10h da manhã utilizando um IRGA (infrared gas analyser) LI6400 XT (LiCor, Nebraska, USA), no segundo par de folhas completamente desenvolvidas de ramos localizados no terço superior das plantas, com irradiância de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ fornecida por fonte de luz (LI6400-02B red/blue LED light source) acoplada ao LI6400.

Em paralelo a este, foi implementado um segundo experimento para determinar a condutividade hidráulica do sistema radicular dos genótipos estudados. Para isso, o experimento foi realizado em um delineamento em blocos ao acaso, com seis repetições, com uma planta por repetição. Efetuou-se a mensuração de um bloco por dia. A condutividade hidráulica foi determinada pelo método descrito por Liu et al. (2001) e Qing-Ming e Bin-Bin (2010) com algumas modificações e a coleta de exsudato foi obtida por meio do seccionamento da parte aérea. Para isso, foi efetuada a secção da haste principal na altura de 5 cm, a partir do solo, com o caule imerso em água para evitar a entrada de ar após o corte.

Posteriormente, o sistema radicular íntegro com substrato foi imerso em água, e submetido à diferentes pressões (0,1, 0,2, 0,3 e 0,4 MPa), por um período de três minutos cada, em uma câmara de pressão (Modelo PWSC-3005, Soil moisture E. Corporation, USA). O exsudato liberado em cada pressão foi coletado por um papel absorvente com massa definida e pesado em balança com precisão de 0,1 mg. Tal etapa foi precedida de um processo de estabilização do fluxo. Assim, antes de aplicar as pressões de análise, foi aplicada uma pressão de 0,03 MPa por um período de um minuto. De acordo com a recomendação de Emery e Salon (2002), as mudas foram mantidas em câmara de crescimento em condições de luz ($200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, umidade relativa em torno de 45% e temperatura do ar 25°C) por duas horas antes de iniciar o processo. O fluxo (J , kg s^{-1}) foi determinado com a massa obtida em função do tempo de coleta do exsudato (180 s). A condutância hidráulica de raiz (K_R , $\text{kg s}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$) foi obtida pela relação entre o fluxo (J , kg s^{-1}) e a variação de pressão (ΔP , MPa) utilizada. A condutividade hidráulica por sua vez, foi calculada por meio da normalização do valor de K_R por área superficial da raiz ($K_{R,LA}$ ($\text{kg s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ MPa}^{-1}$)).

As variáveis analisadas foram submetidas ao teste de normalidade de Lilliefors e posteriormente à ANOVA ($P < 0,05\%$), seguido de teste Tukey para comparação de médias ao nível de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A taxa fotossintética líquida (A) diferiu estatisticamente entre os genótipos analisados (Fig. 1A), com 3V e 14 apresentando os maiores valores médios ($13,8$ e $14,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente), enquanto que os genótipos A1 e 19 apresentaram $10,3$ e $7,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente. Os maiores valores de A nos genótipos 3V e 14 coincidiram com maior condutância estomática (g_s) (Fig. 1B) o que permitiu maior acesso de CO_2 nos locais de carboxilação, embora com um maior gasto de água transpirada (E) (Fig. 1C). Ao analisar a figura 1D, a dependência de A em função de g_s parece ser comum a todos os genótipos.

Ao analisar as variáveis de crescimento, verificou-se que o genótipo 3V apresentou valores superiores em área foliar (Fig. 2B) e diâmetro do caule (Fig. 2D) em relação aos demais genótipos. Mostrou ainda um maior valor do número de folhas em relação aos genótipos 14 e 19. Apenas para variável altura de planta não se observaram diferenças estatísticas entre os genótipos (Fig. 2), apesar do genótipo 3V mostrar tendência para valor superior aos demais genótipos.

Ao correlacionar as variáveis de crescimento com as de trocas gasosas foliares, nota-se que o genótipo 3V apresentou maior eficiência na conversão de A em crescimento de parte aérea, refletido em maior área foliar, número de folhas e diâmetro de caule, quando comparado com o genótipo 14 que tendo apresentado elevado valor de A não apresentou boa conversão do CO_2 assimilado em crescimento da parte aérea.

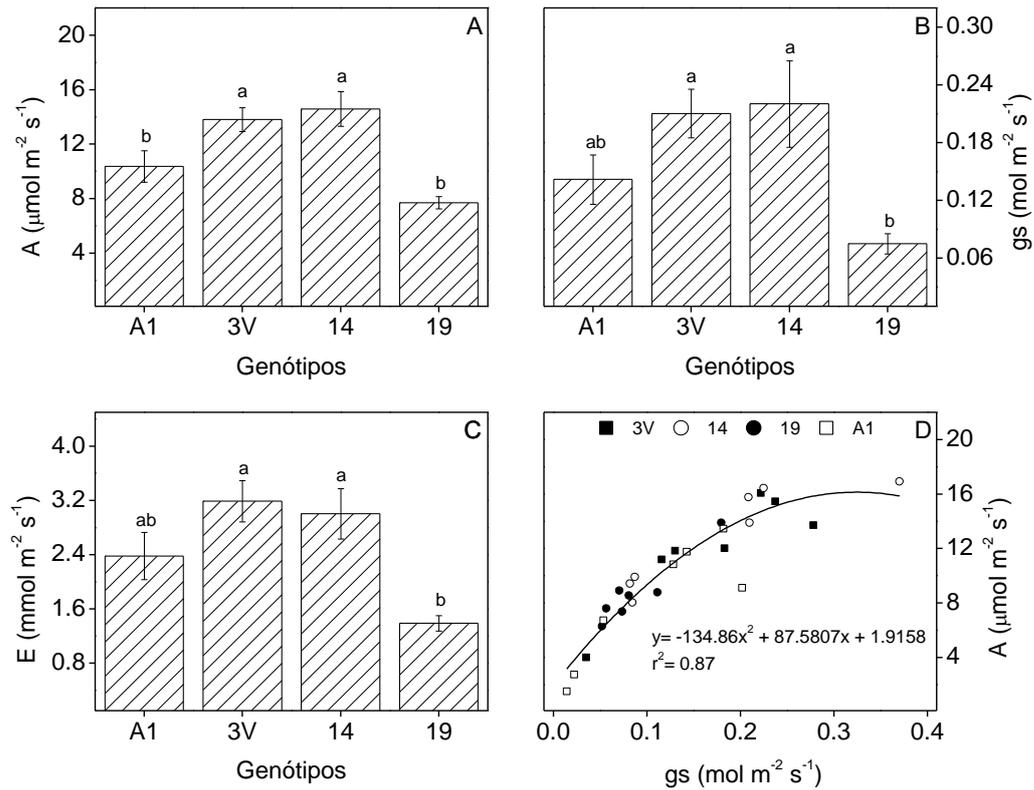


Figura 1. Taxas de (A) fotossíntese líquida (A), (B) condutância estomática (g_s), (C) transpiração (E) e (D) a relação A/g_s em genótipos de *Coffea canephora* cv. Conilon 60 dias após o transplântio. Para cada variável, valores médios \pm EP ($n=6$) de cada genótipo seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente ($p \leq 0.05$) entre si. Figura 1D apresenta o valor de cada repetição para todos os tratamentos.

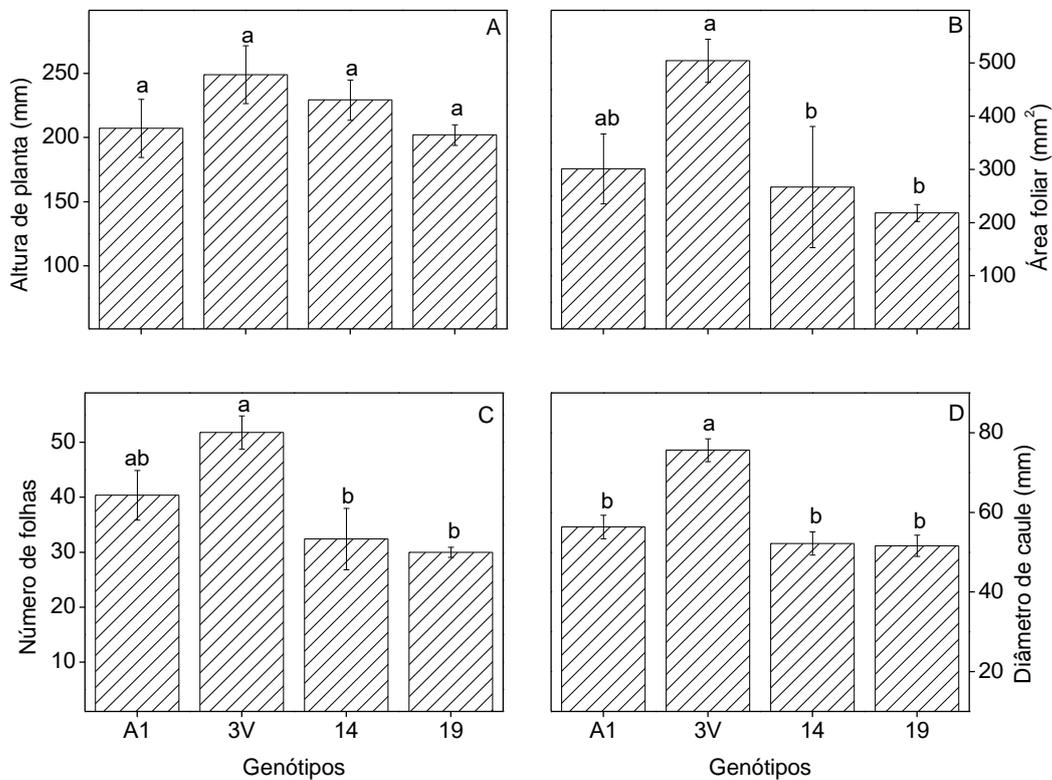


Figura 2. (A) Altura, (B) área foliar total, (C) número total de folhas e (D) diâmetro de caule por planta em genótipos de *Coffea canephora* cv. Conilon 60 dias após o transplântio. Para cada variável, valores médios \pm EP ($n=6$) de cada genótipo seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente ($p \leq 0.05$) entre si.

Em relação à taxa de crescimento diário do sistema radicular em profundidade (TCSR), o genótipo 3V apresentou o maior valor, apesar de significativamente se diferir apenas do genótipo 14 que apresentou o menor investimento do sistema radicular em profundidade (Fig. 3A). O crescimento do sistema radicular em profundidade é uma característica fundamental para a planta superar e/ou suportar condições de restrição hídrica, permitindo à planta explorar recursos hídricos do solo que se encontrem a maior profundidade. De fato, o crescimento da raiz desempenha uma função essencial na manutenção de água para a planta, de modo que a adaptação a seca está relacionada à sistemas radiculares profundos e vigorosos (Blum, 2005). Dessa forma, um genótipo com maior aprofundamento de raiz poderá apresentar maior tolerância ao estresse hídrico.

O genótipo 3V apresentou ainda o maior valor de condutividade hidráulica do sistema radicular ($K_{R,ASR}$) (Fig. 3B), indicando uma maior capacidade de fornecimento de água do sistema radicular à parte aérea. Tal característica poderá contribuir para uma melhor manutenção do status hídrico da parte aérea, permitindo que a planta apresente maior abertura estomática, maior assimilação de CO_2 e maior crescimento da parte aérea. Por outro lado, a baixa $K_{R,ASR}$ do genótipo 19, mesmo com boa disponibilidade hídrica do solo poderá ter dificultado e/ou reduzido o fornecimento de água do sistema radicular à parte aérea, levando a uma menor abertura estomática.

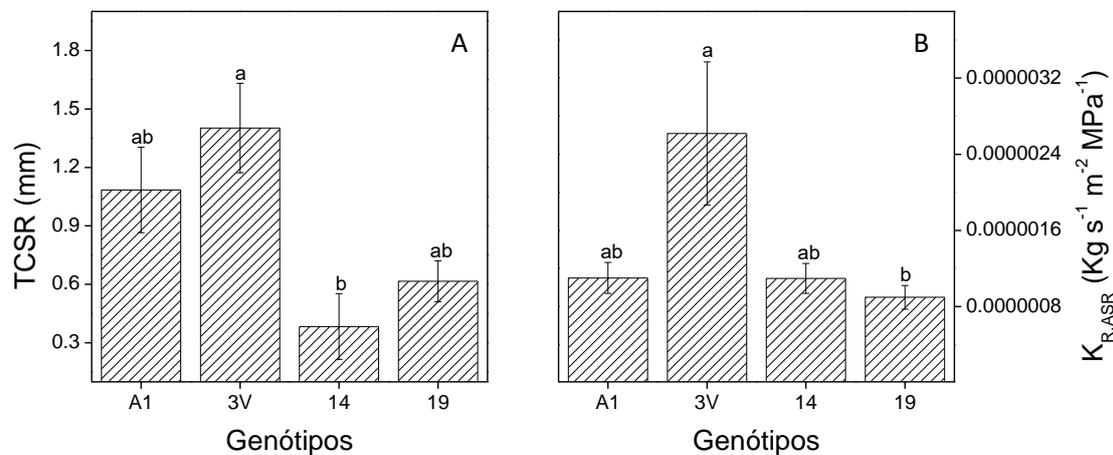


Figura 3. (A) Taxa de crescimento diário em profundidade do sistema radicular (TCSR) e (B) condutividade hidráulica do sistema radicular ($K_{R,ASR}$) em genótipos de *Coffea canephora* cv. Conilon 60 dias após o transplante. Para cada variável, valores médios \pm EP (n= 6) de cada genótipo seguidos por mesma letra não diferem estatisticamente ($p \leq 0.05$) entre si.

CONCLUSÕES

- O genótipo 3V apresenta maior eficiência na conversão do CO_2 assimilado em crescimento de parte aérea que o genótipo 14;
- O genótipo 3V apresenta taxa de crescimento diário em profundidade do sistema radicular superior ao genótipo 14;
- O genótipo 3V apresenta $K_{R,ASR}$ superior ao genótipo 19;
- Os genótipos estudados de *Coffea canephora* com maior condutividade hidráulica do sistema radicular apresentam maior crescimento da parte aérea.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLUM, A. (2005). Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential—are they compatible, dissonant, or mutually exclusive?. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56(11), 1159-1168.
- DAMATTA, F. M. (2004). Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. *Brazilian journal of plant physiology*, 16(1), 1-6.
- DAMATTA, F. M.; AVILA, R. T.; CARDOSO, A. A.; MARTINS, S. C.; RAMALHO, J. C. (2018). Physiological and agronomic performance of the coffee crop in the context of climate change and global warming: A review. *Journal of agricultural and food chemistry*, 66 (21), 5264-5274.
- DAMATTA F.M.; RAHN E.; LÄDERACH P.; GHINI R., RAMALHO J.C. (2019). Why Could the Coffee Crop Endure Climate Change and Global Warming to a Greater Extent Than Previously Estimated? *Climatic Change*, 152(1): 167-178.

- FREITAS, M. S. M. (2006). Flavonóides e nutrientes minerais em folhas de maracujazeiro amarelo e deficiência de macronutrientes e boro em maracujazeiro doce. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 116p.
- IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis; Cambridge University Press: Cambridge, U.K., 2013.
- IPCC. Intergovernmental panel on climate change (2014). Working group III. Mitigation of Climate Change. 99.p. http://report.mitigation2014.org/drafts/final-draft-postplenary/ipcc_wg3_ar5_final-draft_postplenary_technical-summary.pdf.
- MARTINS M.Q.; RODRIGUES W.P.; FORTUNATO A.S.; LEITÃO A.E.; RODRIGUES A.P.; PAIS I.P.; MARTINS L.D.; SILVA M.J.; REBOREDO F.H.; PARTELLI F.L.; CAMPOSTRINI E.; TOMAZ M.A.; SCOTTI-CAMPOS P.; RIBEIRO-BARROS A.I.; LIDON F.C.; DAMATTA F.M.; RAMALHO J.C. (2016). Protective Response Mechanisms to Heat Stress In Interaction With High [CO₂] Conditions in *Coffea* spp. *Frontiers in Plant Science*, 7,947.
- MENDONÇA, J. C.; FREITAS, R. M.; AGUIAR, D. A.; SOUSA, E. F.; MUNIZ, R. A.; ESTEVES, B. S. (2011) Mapeamento das áreas de cana-de-açúcar na região norte fluminense – RJ por uso de técnicas de sensoriamento remoto. *Engenharia Agrícola* 31 (3): 561-571.
- MISNISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA (2018). Café no Brasil. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>>. Acesso em: Fev. 2018.
- PINHEIRO, H. A.; DAMATTA, F. M.; CHAVES, A. R.; FONTES, E. P.; LOUREIRO, M. E. (2004). Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of *Coffea canephora* subjected to long-term drought. *Plant science*, 167 (6), 1307-1314.
- RODRIGUES, W. P.; MARTINS, M. Q.; FORTUNATO, A. S.; RODRIGUES, A. P.; SEMEDO, J. N.; SIMÕES-COSTA, M. C.; PAIS, I. P.; LEITÃO, A. E.; COLWELL, F.; GOULAO, L.; MÁGUAS, C.; MAIA, R.; PARTELLI, F. L.; CAMPOSTRINI, E.; SCOTTI-CAMPOS, P.; RIBEIRO-BARROS, A. I.; LIDON, F. C.; DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. C. (2016a). Long-term elevated air [CO₂] strengthens photosynthetic functioning and mitigates the impact of supra-optimal temperatures in tropical *Coffea arabica* and *C. canephora* species. *Global Change Biology*, 22:415-431.
- RAMALHO J.C.; PAIS I.P.; LEITÃO A.E.; GUERRA M.; REBOREDO F.H.; MÁGUAS C.; CARVALHO M.L.; SCOTTI-CAMPOS P.; RIBEIRO-BARROS A.I.; LIDON F.C.; DAMATTA F.M. (2018) Can Elevated Air [CO₂] Conditions Mitigate the Predicted Warming Impact on the Quality of Coffee Bean? *Frontiers in Plant Science*, 9,287.
- RODRIGUES, W. P. et al. Stomatal and photochemical limitations of photosynthesis in coffee (*Coffea* spp.) plants subjected to elevated temperatures. *Crop and Pasture Science*, v. 69, n. 3, p. 317-325, 2018.