

TROCAS GASOSAS E RELAÇÕES HÍDRICAS DE QUATRO ESPÉCIES CAFEIRAS

Giselly Aparecida Andrade¹; Fábio Suano de Souza²; Paulo Henrique Caramori³; Cristiane de Conti Medina⁴

¹ Agente de Ciência e Tecnologia, DSc, Instituto Agronômico do Paraná, Londrina – PR, giselly@iapar.br.

² Coordenador do curso de Agronomia, DSc, UNIFIL, Londrina – PR, fssouza@iapar.br.

³ Pesquisador, PhD, Instituto Agronômico do Paraná, Londrina – PR, caramori@iapar.br .

⁴ Docente, DSc, Universidade Estadual de Londrina, Londrina – PR, medina@uel.br.

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi caracterizar as espécies *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa* quanto às suas trocas gasosas e relações hídricas, no período de um ano, com a finalidade de fornecer suporte ao melhoramento genético destas espécies, na busca de sua adaptação às mudanças climáticas. Com o aquecimento global estão previstos aumentos entre 1,8 °C e 4 °C na temperatura média global até o final do século XXI, com impactos significativos nos ecossistemas. O café, que possui duas espécies de interesse no mercado internacional, *Coffea arabica* L. (café arábica) e *Coffea canephora* Pierre (café robusta) poderá ser severamente afetado. Outras espécies sem valor comercial como *Coffea dewevrei* e *Coffea racemosa* poderão ser de grande importância nos programas de hibridação e de melhoramento genético das cultivares atuais, buscando ampliar a tolerância a condições climáticas desfavoráveis. Foram avaliados cafeeiros pertencentes à coleção de espécies de café do Instituto Agronômico do Paraná localizada em Londrina, PR. As leituras de fotossíntese, condutância estomática e transpiração foram realizadas mensalmente, em dias sem nuvens, no período de Dezembro de 2007 a Novembro de 2008, em quatro plantas de cada espécie, utilizando-se uma câmara LICOR modelo LI6200. Para a avaliação das relações hídricas foram utilizados psicrômetros de termopar. Os resultados foram submetidos à análise de componentes principais. As espécies não apresentaram estresse hídrico mesmo nos períodos de menor precipitação. A espécie *C. canephora* apresentou maior estabilidade nas relações hídricas durante o período avaliado. A espécie *C. racemosa* se destacou por sua elevada capacidade fotossintética mesmo durante o inverno, o que a torna interessante para o melhoramento genético das espécies comerciais, visando adaptação às mudanças climáticas.

PALAVRAS-CHAVE: *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, *Coffea dewevrei*, *Coffea racemosa*, fotossíntese, mudanças climáticas.

GAS EXCHANGE AND WATER POTENTIAL OF FOUR SPECIES OF COFFEA

ABSTRACT: The objective of this study was to characterize gases exchange and water relations of *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, *Coffea dewevrei* and *Coffea racemosa* in the period of one year, in order to gain knowledge to support breeding programs of these species, seeking adaptation to climate change. The IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) predicts an increase between 1.8 °C and 4 °C in the average global temperature by the end of this century, with significant impacts on the ecosystems. Coffee has two species of interest in the international market, *Coffea arabica* L. (Arabica) and *Coffea canephora* Pierre (robusta coffee) may be severely affected. Other species of non commercial value as *Coffea racemosa* and *Coffea dewevrei* may be importante in breeding programs and genetic improvement of cultivars seeking to increasing tolerance to adverse climate conditions. Coffee trees were evaluated from the collection of species coffee of the Agronomic Institute of Paraná located in Londrina, PR, Brazil. The readings of photosynthesis, stomatal conductance and transpiration were carried out monthly, in cloudless days from December 2007 to November 2008, in four plants chosen at random of each species, using a camera model LICOR LI6200. Thermocouple psychrometers were used for the evaluation of water relations. Plants were sampled randomly in the field and the results were submitted to principal components analysis with the software Statistica 5.0. The first two components explained 78.76% of data variability. The species showed no water stress even in periods of low rainfall. The species *C. canephora* showed higher stability in water relations and *C. dewevrei* had higher stability in gas exchange during the study period. The species *C. racemosa* was noted for its high photosynthetic capacity even in less favorable water conditions, showing that it is an important source for breeding of commercial species, in order to adapt to climate change.

KEY WORDS: *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, *Coffea dewevrei*, *Coffea racemosa*, gas exchange, water relations.

INTRODUÇÃO

O cafeeiro pertence ao gênero *Coffea*, família *Rubiaceae*, formado por cerca de 100 espécies. Das espécies cultivadas apenas duas apresentam interesse no mercado internacional, *Coffea arabica* L. (café arábica) e *Coffea canephora* Pierre (café robusta). Cerca de 70% do café comercializado no mundo é o arábica, que no Brasil corresponde a

aproximadamente 80% do café plantado (BARROS et al., 1995; MATIELLO et al., 2002). Porém, outras espécies como *Coffea dewevrei* e *Coffea racemosa*, entre outras, são de grande importância nos programas de hibridação e de melhoramento genético, para transferência de alelos responsáveis por características agrônomicas desejáveis, relacionadas principalmente à tolerância à seca e resistência a pragas e doenças, para as duas espécies produzidas comercialmente (CARVALHO, 1946; KRUG e CARVALHO, 1951). Com o aquecimento global, espera-se eventos climáticos mais extremos, com secas, inundações e ondas de calor mais frequentes (Salati et al., 2004). A elevação na temperatura aumenta a capacidade do ar em reter vapor d'água e, conseqüentemente, há maior demanda hídrica. Em resposta a essas alterações, os ecossistemas de plantas poderão aumentar sua biodiversidade ou sofrer influências negativas (ASSAD et al., 2004). Nas plantas, o aumento da temperatura aceleram as reações catalisadas enzimaticamente, resultando na perda da atividade das enzimas, fator este associado à tolerância das plantas ao calor (BIETO e TALON, 1996). No caso do cafeeiro da espécie *Coffea arabica*, temperaturas médias anuais ótimas situam-se entre 18°C e 22°C. A ocorrência freqüente de temperaturas máximas superiores a 34°C causa o abortamento de flores e, conseqüentemente, perda de produtividade (CAMARGO, 1985; PINTO et al., 2001; SEDIYAMA et al., 2001). A regulação da fotossíntese nos cafeeiros é influenciada pela temperatura, luminosidade, nutrição e estado hídrico da planta. A tensão hídrica pode afetar a fotossíntese de várias formas, provocando fechamento dos estômatos, aumento da resistência estomática, diminuição da atividade enzimática e acúmulo de amido nas células do mesófilo (FOURNIER, 1988). Pesquisas desenvolvidas por Nunes et al. (1968) em *C. arabica*, mostraram que a fotossíntese diminui em temperaturas acima de 24°C, aproximando-se de zero a 34°C. Temperaturas entre 28 °C e 33 °C provocam uma redução na produção de folhas e na atividade fotossintética do cafeeiro (DRINNAN e MENZEL, 1995). Previsões da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, relatam que a cultura do café será uma das mais afetadas com o aquecimento global. A produção atual, que é de, aproximadamente, 30 milhões de sacas, poderá diminuir em 2100 para 2,4 milhões de sacas, um prejuízo em torno de US\$ 375 milhões (EMBRAPA, 2008). A preservação do meio ambiente e a adaptação por meio do melhoramento genético, com variedades resistentes a altas temperaturas e à seca, e a introdução de novas culturas, são medidas que devem ser adotadas. O objetivo do trabalho foi caracterizar as espécies *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa*, quanto as trocas gasosas e as relações hídricas no período de um ano, afim de fornecer subsídios para o melhoramento genético das espécies, buscando a adaptação destas às mudanças climáticas.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na área experimental do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), em Londrina, PR, (altitude 610 m, latitude 23°23'S e longitude 50°11'W). Foram avaliados cafeeiros das espécies *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, *Coffea dewevrei* e *Coffea racemosa*, pertencentes à coleção de espécies de café do Instituto Agrônomo do Paraná, com aproximadamente 20 anos. Utilizou-se um sistema portátil de fotossíntese, modelo LI-6200 (LI-COR, Lincoln, NE, EUA). Foram avaliadas as taxas de fotossíntese líquida (A ; $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), a condutância estomática (g_s ; $\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) e a transpiração (E ; $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). A partir desses valores também foi avaliada a eficiência do uso de água (EUA), que consiste na relação A/E . Para a avaliação das relações hídricas foram utilizados psicrômetros de termopar (modelo C-30, Wescor, Inc., Logan, Ut, U.S.A.) acoplados a um datalogger (Campbell Scientific, Inc., Logan, Ut, U.S.A., modelo CR-7). Os valores médios de fotossíntese, transpiração, condutância estomática, potencial hídrico total e potencial de pressão foram submetidos à análise de componentes principais utilizando o programa STATISTICA 5.0. Os dados de temperaturas mensais máximas, médias, mínimas e o balanço hídrico de Londrina, foram obtidos junto ao Instituto Agrônomo do Paraná, em Londrina – PR. Houve um déficit hídrico prolongado antes do início da coleta de dados, agosto a outubro de 2007, mas no período analisado observa-se que a disponibilidade hídrica para as plantas foi satisfatória.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de potencial de pressão indicam que, durante o período avaliado, as plantas não sofreram estresse hídrico (Figura 1), pois, tais valores positivos indicam turgidez nas células, ou seja, houve pressão na parede celular do conteúdo citoplasmático, o qual é constituído em sua essência por água. No mês de agosto de 2008, foi obtido o menor valor de potencial pressão, de -0,069 MPa em *C. racemosa*. No entanto tal valor não repercutiu em sintomas de deficiência hídrica pelas plantas (murcha foliar), por ser um valor muito próximo a zero. O potencial hídrico total esteve entre -0,69 e -2,34 MPa (Figura 2). Tal resultado, aparentemente elevado, é comum nas horas de demanda atmosférica mais elevada. A velocidade de perda de água por transpiração pelas folhas é maior que a velocidade de absorção de água pelas raízes, causando um déficit hídrico temporário nas plantas. Tal situação é mais comum em momentos pós-estresse, como a colheita, por exemplo, quando as plantas tendem a aumentar a taxa fotossintética, que é um sinal metabólico, enzimático e hormonal para suprir a necessidade de recuperação pós estresse mais agravante. A fotossíntese, neste caso, não foi prejudicada, muito provavelmente devido ao não prolongamento da alta demanda atmosférica e absorção de água pela raiz.

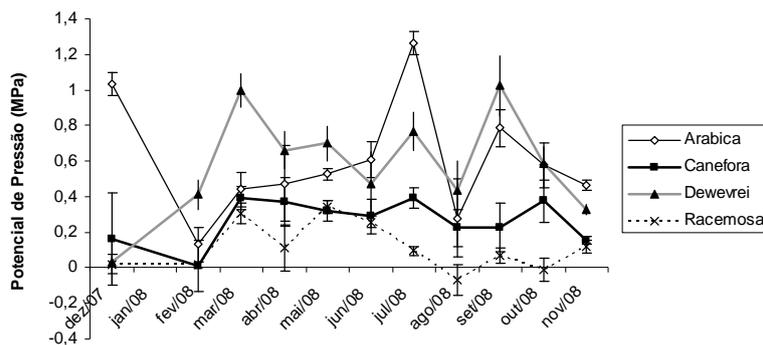


Figura 1. Potencial de pressão (MPa), em plantas das espécies *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa*, medidos de Dezembro de 2007 a Novembro de 2008 em Londrina, PR. Valores são apresentados por médias \pm erro padrão (n=4).

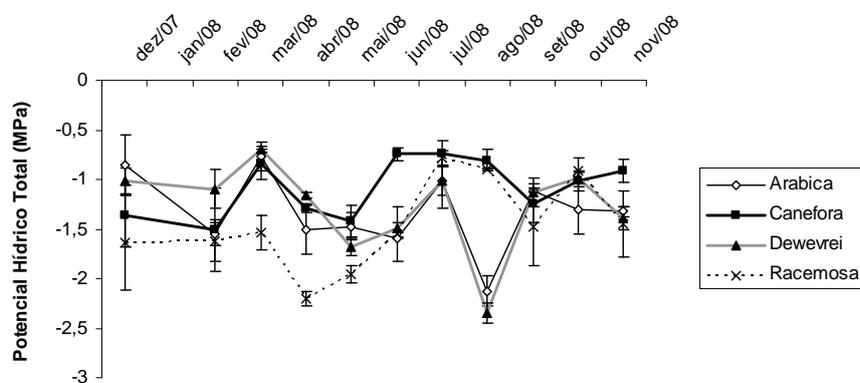


Figura 2. Potencial Hídrico Total (MPa), em plantas das espécies *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa*, medidos de Dezembro de 2007 a Novembro de 2008 em Londrina, PR. Valores são apresentados por médias \pm erro padrão (n=4).

A similaridade do comportamento entre potencial hídrico total e potencial osmótico (Figura 3), mostra que não houve ajustamento osmótico, e associados aos valores positivos de potencial de pressão, indicam que não houve estresse hídrico significativo para se afirmar que as variações nas trocas gasosas tenham sido influenciadas pela quantidade de água. Como forma de tolerância em casos de deficiência hídrica severa, as plantas promovem o influxo de água, através do acúmulo de solutos na célula, que reduz o potencial osmótico, em processo denominado ajustamento osmótico (ZHANG et al., 1992).

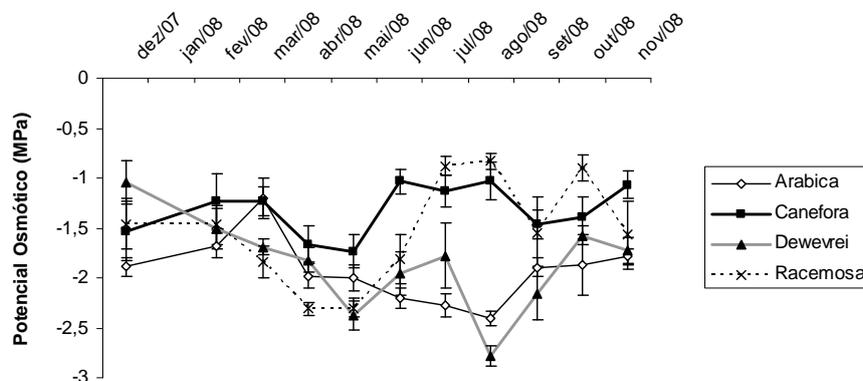


Figura 3. Potencial Osmótico (MPa), em plantas das espécies *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa*, medidos de Dezembro de 2007 a Novembro de 2008 em Londrina, PR. Valores são apresentados por médias \pm erro padrão (n=4).

Os potenciais hídrico total (Figura 1), osmótico (Figura 2) e de pressão (Figura 3) do *C. canephora* se mantiveram estáveis mesmo nos meses com baixa intensidade de chuvas. A maior quantidade e melhor distribuição de raízes secundárias, características desta espécie, podem proporcionar maior tolerância à seca, uma vez que em períodos de deficiência hídrica no solo, normalmente existe maior disponibilidade de água em níveis mais profundos, possibilitando melhor suprimento de água e minerais para as plantas (Alfonsi et al. 2005). Durante os meses mais chuvosos, dezembro de 2007 a março de 2008, os valores de potencial hídrico total das quatro espécies se mantiveram superiores a -1,6 MPa. Oliveira et al. (2006), encontraram ao meio dia, valores próximos a -3 MPa em cafeeiros arábica em monocultivo, não observando diferença entre as estações seca e chuvosa. Em fevereiro, as espécies canéfora e racemosa atingiram valores nulos de potencial de pressão, o que indica perda de turgor celular, porém, se recuperaram nos meses seguintes, não chegando ao ponto de ficarem hidricamente estressadas. Com a diminuição da precipitação nos meses de abril e maio houve também uma redução do potencial hídrico. Em junho e julho, apesar da deficiência hídrica, o potencial hídrico se elevou e voltou a cair em agosto, principalmente em *C. arabica* e *C. dewevrei*, que atingiram valores inferiores a -2 MPa. Em agosto houve um grande volume de chuvas, elevando os valores de potencial hídrico total em setembro de todas as espécies avaliadas, que se mantiveram entre -1,1 e -1,4 MPa até o mês de novembro. Em outubro houve um aumento do potencial hídrico total e do potencial osmótico da espécie racemosa, porém, os solutos que garantiram esses valores não foram suficientes para evitar a perda de água pela célula, que apresentou potencial de pressão a 0,01 MPa. Para avaliar, simultaneamente, as variáveis: fotossíntese, condutância estomática, transpiração, potencial hídrico total e potencial pressão, e caracterizar as espécies, seus valores médios foram submetidos à análise de componentes principais (CP). Pode-se observar que o primeiro componente (CP1) é responsável por 53,46% da variabilidade entre as amostras e o segundo componente (CP2) explica mais 25,30%, totalizando 78,76% da variabilidade existente entre as amostras. Observa-se que a fotossíntese, a condutância e a transpiração estão positivamente correlacionadas ao CP1 (Tabela 1). Estas variáveis são altamente relacionadas, já que os valores de condutância estomática indicam a abertura dos estômatos, responsáveis pelas trocas gasosas da fotossíntese e pela saída de H₂O por transpiração.

Tabela 1. Correlações entre fatores e as variáveis fotossíntese (FOTO), condutância estomática (COND), potencial de pressão (POT PR), potencial total (POT TOT) e transpiração (TRANS).

	CP1	CP2
FOTO	0,875	-0,194
COND	0,822	0,517
POT PR	-0,460	0,581
POT TOT	-0,454	0,699
TRANS	0,902	0,365

As menores taxas fotossintéticas foram observadas no período do inverno, entre os meses de junho e agosto, com exceção da *C. racemosa*, o mês de julho, das demais espécies, se encontraram no quadrante superior esquerdo. Isto se deve, principalmente, à ocorrência de baixas temperaturas, já que, como visto anteriormente, de acordo com os valores do potencial de pressão, as plantas não sofreram estresse hídrico no período avaliado. Nas plantas sob condições de frio existe menos energia metabólica disponível, restringindo a absorção de água e de nutrientes, os processos de biossíntese ocorrem em menor intensidade, a assimilação é reduzida e o crescimento é diminuído (LARCHER, 2000). Entre as espécies cultivadas comercialmente, arábica e canéfora, *C. arabica* apresentou maior taxa de fotossíntese líquida no período analisado (Figura 4), com as taxas médias de fotossíntese líquida entre 3,13 e 6,07 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, com seu ponto mais alto em setembro, após um longo período de seca. Oliveira et al. (2006), também encontraram valores próximos a estes quando avaliaram esta espécie em monocultivo, 4,5 e 6,5 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, nas estações chuvosa e seca, respectivamente.

De abril até junho, segundo Santinato et al. (1997), há drástica redução do crescimento vegetativo do cafeeiro arábica, que praticamente pára em julho. Comparando as quatro espécies nesse mês de Julho, o café arábica apresentou a menor taxa fotossintética. Segundo DaMatta et al. (1997), o aumento no conteúdo de amido nas folhas do cafeeiro durante o inverno explicaria, em parte, a acentuada inibição da fotossíntese potencial a baixa temperatura. Para Silva (2000), o acúmulo de amido nas folhas no período frio (maio a julho) é uma consequência da redução das taxas de crescimento e causaria a inibição da fotossíntese nesse período. A colheita foi feita em julho, e em agosto/setembro no início do período chuvoso, o cafeeiro e a taxa fotossintética voltaram a crescer, atingindo a taxa mais alta no mês de Setembro, quando o valor de condutância estomática foi de 0,14 $\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Figura 5). Observa-se também que nos meses de Dezembro/2007 e Outubro, Novembro/2008, quando ocorreram as temperaturas mais elevadas, houve uma diminuição da fotossíntese, o que confirma os resultados obtidos por Drinnan e Menzel (1995), que observaram redução na produção de folhas e na atividade fotossintética do cafeeiro arábica em temperaturas entre 28°C e 33°C.

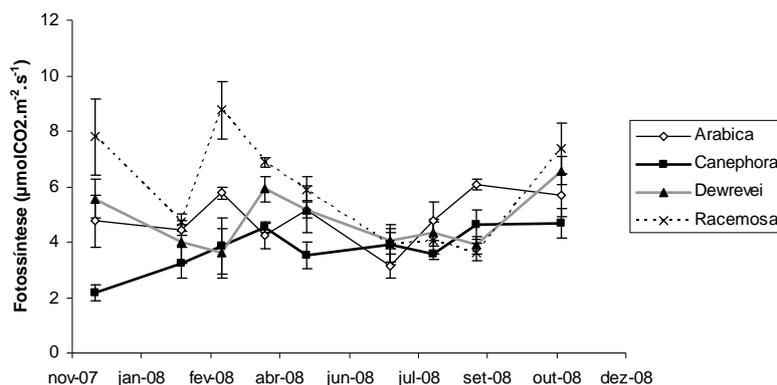


Figura 4. Valores médios de Fotossíntese ($\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) das espécies *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa*, medidas de Dezembro de 2007 a Novembro de 2008 em Londrina, PR.

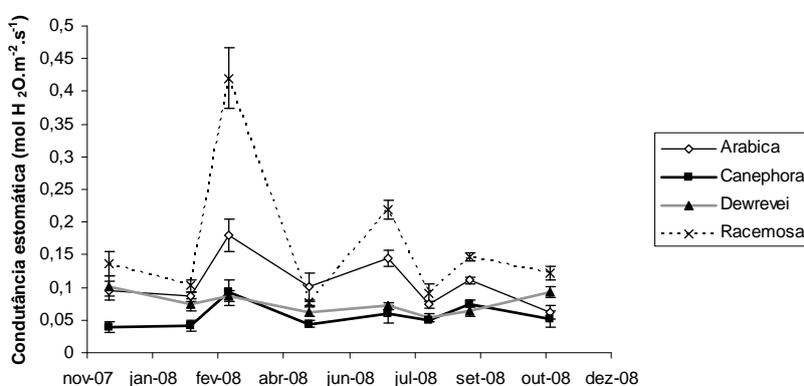


Figura 5. Valores médios de Condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), das espécies, *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa*, medidas de Dezembro de 2007 a Novembro de 2008 em Londrina, PR.

Em *C. racemosa* as taxas de fotossíntese, condutância estomática e transpiração foram mais altas mesmo quando o potencial hídrico foi inferior, em relação às demais espécies, com exceção dos meses de Julho, Agosto e Setembro, quando sua taxa fotossintética foi inferior, como pode ser visto mais detalhadamente na figura 3.7. A transpiração se elevou nesse período graças à característica da espécie de permanecer com os estômatos abertos quando, devido à reduzida taxa fotossintética causada pelas baixas temperaturas, a perda de água foi maior que a entrada de CO_2 (Figura 6). A taxa fotossintética mais alta foi em Março, $8,76 \mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, quando a condutância estomática foi de $0,42 \text{ mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ e a transpiração $9,13 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Mesmo apresentando valores de potencial hídrico total, $-1,53 \text{ MPa}$, e potencial de pressão $0,30 \text{ MPa}$, a espécie *C. racemosa* apresentou altos valores fotossintéticos, porém, no mês de Setembro, quando o valor do potencial de pressão chegou a $-0,069 \text{ MPa}$, ocorreu a taxa mais baixa de fotossíntese, $3,63 \mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Isto pode ser atribuído principalmente ao aumento da temperatura e à redução da precipitação que ocorreram neste período. Esses resultados concordam com trabalhos nos quais se observaram que temperaturas elevadas (NUNES et al., 1968; KUMAR e TIESZEN, 1980; CANNELL, 1985; FAHL et al, 1992) e maior déficit de pressão de vapor do ar (HERNANDEZ et al., 1989) causam decréscimos na fotossíntese e na condutância estomática em folhas de plantas de café.

Estes altos valores fotossintéticos encontrados em *C. racemosa* durante a maior parte do período avaliado, podem estar associados à maior concentração e eficiência dos estômatos desta espécie. Grisi et al. (2008), avaliando a anatomia foliar em mudas de café, após 10 dias sem irrigação, observaram em um híbrido de *C. racemosa*, menor quantidade de espaços intercelulares, células mais justapostas e cutícula bastante espessa em relação à *C. arabica*. Em condições xéricas, a folha necessita aproveitar o tempo limitado de alta umidade relativa para realizar as trocas gasosas, o que poderá ser mais eficiente quanto maior for a área estomática útil (MEDRI e LLERAS, 1980). De acordo com Fahn (1977), em plantas com alta capacidade fotossintética, a pouca ocorrência de espaços intercelulares no mesófilo, representa uma vantagem adaptativa. Ramiro et al. (2004) observaram que a cutícula adaxial, as epidermes adaxial e abaxial foram significativamente mais espessas em *C. racemosa*, quando comparadas ao *C. arabica*, sugerindo que estas características possuem importante fator genético, podendo ser consideradas como próprias dessa espécie. Na *C. canephora*, as taxas de fotossíntese líquida foram, de maneira geral, inferiores às demais espécies em todos os meses

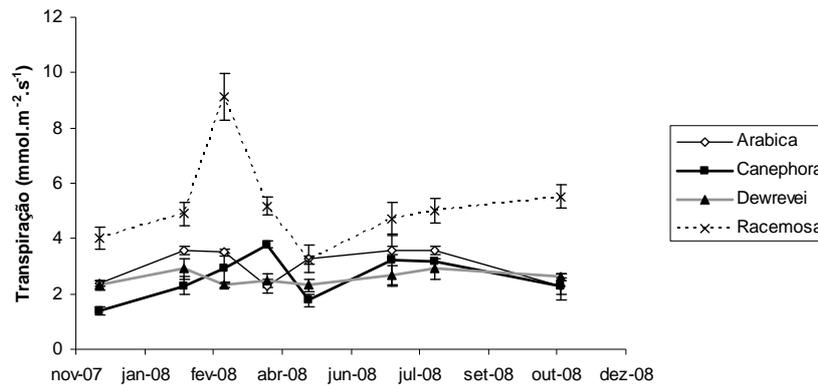


Figura 6. Valores médios de Transpiração ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), das espécies, *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa*, medidas de Dezembro de 2007 a Novembro de 2008 em Londrina, PR.

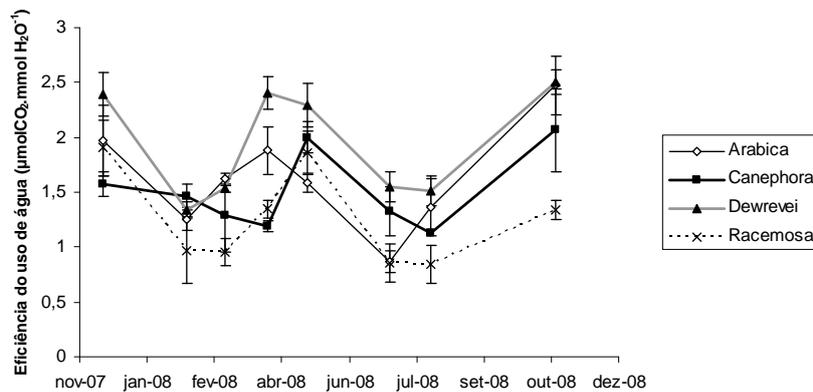


Figura 7. Valores médios de Eficiência do Uso de Água ($\mu\text{molCO}_2\cdot\text{mmolH}_2\text{O}^{-1}$), das espécies, *C. arabica*, *C. canephora*, *C. dewevrei* e *C. racemosa*, medidas de Dezembro de 2007 a Novembro de 2008 em Londrina, PR.

analisados. Tal resultado concorda com DaMatta et al. (1997) e Praxedes et al. (2006), que observaram que as taxas fotossintéticas desta espécie são relativamente baixas. Nesta espécie a menor taxa de fotossíntese líquida ocorreu no mês de dezembro de 2007 ($2,17 \mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) quando iniciou-se a granação dos frutos. Em novembro/ 2008, obteve-se a maior taxa de fotossíntese líquida, $4,67 \mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, quando ainda assim, foi inferior às taxas das demais espécies. Lima et al. (2002) também observaram menores taxas fotossintéticas em plantas de *C. Canephora* de 10 meses de idade, cultivadas em vasos e em casa de vegetação. Na espécie *C. dewevrei*, a fotossíntese esteve entre $3,59$ e $6,56 \mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, em março e novembro, respectivamente. As plantas apresentaram uma diminuição nas taxas de fotossíntese líquida no período dos meses mais frios e só voltaram a se recuperar no mês de novembro. Nas condições estudadas, *C. dewevrei* apresentou produção durante todo o período. A *C. dewevrei* foi a que apresentou a maior eficiência do uso de água (EUA), com exceção dos meses de fevereiro e março. As maiores taxas de EUA ocorreram em períodos chuvosos, já que a disponibilidade de água é determinante para essas taxas (Figura 7). Esta variável se relaciona com as taxas fotossintéticas e transpiratórias, e conferem um indicativo da quantidade de carbono fixado durante a fotossíntese por unidade de água transpirada.

De acordo com Mazzafera e Guerreiro Filho (1991), parece possível, a princípio, selecionar cafeeiros mais produtivos, com base nas taxas fotossintéticas de plantas no estágio inicial de desenvolvimento. Porém, Camprostrini (1994) realizou estudos comparando fotossíntese e produtividade de cinco genótipos de café (*C. canephora*), com baixa, média e alta produtividade, e verificou que todos os genótipos apresentaram a mesma eficiência do aparelho fotossintético, demonstrando que a diferença em produtividade não está relacionada à capacidade fotossintética.

CONCLUSÕES

- 1- Mesmo nos períodos de menor precipitação, nas condições avaliadas, as espécies não apresentaram estresse hídrico.
- 2- A espécie *C. canephora* apresentou maior estabilidade nas relações hídricas durante o período avaliado.
- 3- A espécie *C. racemosa* se destaca por sua elevada capacidade fotossintética mesmo em condições hídricas menos favoráveis, o que a torna interessante para o melhoramento genético das espécies comerciais visando adaptação às mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFONSI, E. L.; FAHL, J.L.; CARELLI, M. L. C.; FAZUOLI, L.C. Crescimento, fotossíntese e composição mineral em genótipos de *Coffea* com potencial para utilização como porta-enxerto. *Bragantia*, Campinas, v. 64, p.1- 13, 2005.
- ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; ZULLO JR., J.; ÁVILA, A.H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, p.1057-1064, 2004.
- BARROS, R. S.; MAESTRI, M.; RENA, A. B. Coffee crop ecology. *Tropical Ecology*, Varanasi, v.36, n.1, p.1-19, 1995.
- BIETO, J.A.; TALON, M. Fisiología y bioquímica vegetal. Madrid: Interamericana; McGraw-Hill, p.537-553. 1996.
- CAMARGO, A.P.C. Clima e a cafeicultura no Brasil. *Informe Agropecuário*, n.126, p.13-26, 1985.
- CAMPOSTRINI, E. Potencialidade fotossintética de cinco genótipos de *Coffea Canephora* Pierre. 1994. 40 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.
- CANNELL, M. G. R. Crop physiological aspects of coffee bean yield: a review. *Journal of Coffee Research*, Karnataka, v. 5, n. 1/2, p. 7-20, 1985.
- CARVALHO, A. Distribuição geográfica e classificação botânica do gênero *Coffea* com referência especial à espécie *Arabica*. Separata dos Boletins da Superintendência dos Serviços do Café, São Paulo, n.226-230, 1946.
- CHAVES FILHO, J.T. Relações entre estresse hídrico e ajustamento osmótico em plantas de lobeira (*Solanum lycocarpum* St. Hil.). Dissertação (Mestrado em Biologia) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2000.
- DAHER, R.F.; MORAES, C.F.; CRUZ, C.D.; PEREIRA, A.V.; XAVIER, D.F. Seleção de caracteres morfológicos discriminantes em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.26, p.265-270, 1997.
- DAMATTA, F. M.; MAESTRI, M.; BARROS, R.S. Photosynthetic performance of two coffee species under drought. *Photosynthetica*, v.34, p.257-264, 1997.
- DRINNAN, J.E.; MENZEL, C.M. Temperature affects vegetative growth and flowering of coffee (*Coffea arabica* L.). *Journal of Horticultural Science*, v.70, p.25-34, 1995.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. São Paulo. 84p. 2008.
- FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C. e MAGALHÃES, A.C. Medida da fotossíntese líquida por cromatografia a gás em folhas intactas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, v.15, p.57-65, 1992.
- FAHN, A. Plant anatomy. Oxford: Pergamon, 1977. 611 p.
- FOURNIER, L. A. El cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.) al sol o a la sombra: un enfoque agronomico y ecofisiologico. *Agronomia Costarricense*, v.12, n.1, p.131-146, 1988.
- GOMES, J.B.V.; CURI, N.; MOTTA, P.E.F.; KER, J.C.; MARQUES, J.J.G.S. & SCHULZE, D.G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.137-153, 2004.
- GRISI, F. A.; ALVES, J. D.; CASTRO, E. M.; OLIVEIRA, C.; BIAGIOTTI, G.; MELO, L. A. Avaliações anatômicas foliares em mudas de café 'catuaí' e 'siriema' submetidas ao estresse hídrico. *Ciência e agrotecnologia*. v.32, n.6, Lavras, Nov./Dec. 2008.
- HERNANDEZ., A.P.; COCK, J.H.; EL-SHARKAWY, M.A. The responses of leaf gas exchange and stomatal conductance to air humidity in shade-grown coffee, tea, and cacao plants as compared with sunflower. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Brasília, v.1, p.155-161, 1989.
- KENT, M. e COKER, P. Vegetation description and analysis. Baffins Lane, John Wiley & Sons, 1992. 363p
- KRUG, C. A.; CARVALHO, A. The Genetics of *Coffea*. *Advances in Genetics*, 4:127-158, 1951.
- KUMAR, D.; TIESZEN, L. L. Photosynthesis in *Coffea arabica*. I. Effects of light and temperature. *Experimental Agriculture*, Cambridge, v. 16, n. 1, p. 13-19, Jan. 1980.
- KUMAR, D.; TIESZEN, L.L. Photosynthesis in *Coffea arabica* II: Effects of water stress. *Experimental Agriculture*, London, v. 16, p. 21-27, 1980b.
- LARCHER W. Ecofisiologia vegetal. São Carlos: RiMa. 531p. 2000.
- LIMA, A. L. S.; DAMATTA, F. M.; PINHEIRO H. A.; TOTOLA, M. R.; LOUREIRO, M. E. Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions. *Environmental and Experimental Botany*, v. 47, p. 239-247. 2002.

- MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. Cultura do café no Brasil. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2002.
- MAZZAFERA, P.; GUERREIRO FILHO, O. A produtividade do cafeeiro. Campinas: IAC, 1991. 21 p.
- MEDRI, M. E.; LLERAS, E. Aspectos da anatomia de folhas de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. Acta Amazônica, Manaus, v. 10, n. 3, p. 463-493, Set. 1980.
- NUNES, M. A.; BIERHUIZEN, J. F.; PLOEGMAN, C. Studies on productivity of coffee. I. Effect of light, temperature and CO₂ concentration on photosynthesis of *Coffea arabica*. Acta Botanica Neerlandica, Amsterdam, v.17, p.93-102, 1968.
- OLIVEIRA, C.R.M. et al. Trocas gasosas de cafeeiros (*coffea arabica* l.) e seringueiras (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) em diferentes sistemas de cultivo na região de Lavras, MG. Revista Árvore, v.30, n.2, p.197-206, 2006.
- PINTO, H.S.; ZULLO JUNIOR, J.; ASSAD, E.D.; BRUNINI, O.; ALFONSI, R.R.; CORAL, G. Zoneamento de riscos climáticos para a cafeicultura do Estado de São Paulo. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.9, p.495-500, 2001. Número especial. Zoneamento Agrícola.
- PRAXEDES, S.C.; DAMATTA, F. M.; LOUREIRO, M. E.; FERRÃO, M. A. G.; CORDEIRO, A. T. Effects of long-term soil drought on photosynthesis and carbohydrate metabolism in mature robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre var. *kouillou*) leaves. Environmental and Experimental Botany. v. 56, p. 263–273. 2006.
- RAMIRO, D. A.; GUERREIRO-FILHO, O.; VOLTAN, R. B. Q.; MATTHIESEN, S. C. Anatomical characterization of leaves from coffee plants resistant and susceptible to leaf miner. Bragantia, Campinas, v. 63, n. 3, p. 363-367, 2004.
- SALATI, E.; SANTOS, A.A. dos; NOBRE, C. As mudanças climáticas globais e seus efeitos nos ecossistemas brasileiros. Disponível em: www.comciencia.br/reportagens/clima/clima14.htm> Acesso em: 25 Jun. 2004.
- SANTINATO, R.; FERNANDES, L.T.; FERNANDES, D.R. Irrigação na cultura do café. São Paulo: Arbore, 1997.
- SEDIYAMA, G.C.; MELO JUNIOR, J.C.; SANTOS, A.R.; RIBEIRO, A.; COSTA, M.H.; HAMAKAWA, P.J.; COSTA, J.M.N.; COSTA, L.C. Zoneamento Agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o Estado de Minas Gerais. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.9, p.501-509, Número especial. Zoneamento Agrícola. 2001.
- SILVA, E. A. Periodicidade do crescimento vegetativo em *Coffea arabica* L.: relações com a fotossíntese em condições de campo. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.
- STRAPASSON, E.; VENCOVSKY, R.; BATISTA, L.A.R. Seleção de descritores na caracterização de germoplasma de *Paspalum sp.* por meio de componentes principais. Revista Brasileira de Zootecnia, v.29, n.2, p.373-381, 2000.
- ZHANG, X., MESIROV, J.P., WALTZ, D.L. Hybrid system for protein secondary structure prediction. Journal of Molecular Biology. v. 225, p.1049–1063, 1992.