

TROCAS GASOSAS E CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS ADAPTATIVAS DE CAFEIROS CULTIVADOS EM DIFERENTES NÍVEIS DE RADIAÇÃO

Danielle Pereira Baliza¹, Rodrigo Luz da Cunha², Evaristo Mauro de Castro³,
João Paulo Rodrigues Alves Delfino Barbosa³, Marinês Ferreira Pires³, Rodrigo Abreu Gomes⁴

(Recebido: 11 de abril de 2011; aceito 30 de agosto de 2011)

RESUMO: Diferenças nos níveis de radiação podem causar modificações nas características estruturais e funcionais das folhas, que podem responder diferencialmente por modificações anatômicas, morfológicas e fotossintéticas. Objetivou-se, no presente trabalho, verificar as possíveis modificações na anatomia foliar e características fotossintéticas de cafeeiros em fase de formação, submetidos a diferentes níveis de radiação. Após o plantio dos cafeeiros no campo, esses foram submetidos a cinco níveis de radiação (pleno sol e sob telas plásticas/sombrites de 35, 50, 65 e 90% de sombra). Os cafeeiros foram avaliados quanto às trocas gasosas e anatomia foliar dez meses após a instalação do ensaio em campo. De acordo com os resultados obtidos nesse experimento, verifica-se que a quantidade de radiação incidente influencia a estrutura interna das folhas dos cafeeiros e suas respectivas funções. O nível com 90% de sombra não é recomendado para o cultivo do cafeeiro, pois reduz a taxa fotossintética, apresentando menor espessamento do mesófilo e do parênquima paliçádico. O nível com 35% de sombra é o mais recomendado para cultivo do cafeeiro em ambiente sombreado pois, nesse nível ocorre melhoria da estrutura interna das folhas do cafeeiro, o que pode favorecer características fisiológicas interessantes para otimizar o desenvolvimento dessa cultura.

Termos para indexação: *Coffea arabica* L., anatomia foliar, fotossíntese, radiação, trocas gasosas.

GAS EXCHANGE AND ADAPTIVE STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF COFFEE PLANTS GROWN IN DIFFERENT LEVELS OF RADIATION

ABSTRACT: Differences in the radiation levels can cause modifications in the structural and functional characteristics of the leaves, which can respond differentially by anatomical, morphological and photosynthetic modifications. The objective of the present work was to verify the possible modifications in the foliar anatomy and photosynthetic characteristic of coffee plants in the formation phase submitted to different radiation levels. After the planting of the coffee plants in the field, they were submitted to five radiation levels (full sun and under plastic screens providing 35, 50, 65 and 90% shade). The treatments were appraised as to the gas exchange and foliar anatomy ten months after the installation of the assay in field. The amount of incident radiation influences the internal structure of the coffee plants leaves and their respective functions. The 90% shade level is not recommended for the cultivation of the coffee plant, because it reduces the photosynthetic rate, presenting lower mesophyll and palisade parenchyma thickness. The 35% shade level is more recommended for coffee plant cultivation in a shaded environment. At that level, improvement of the internal structure of the leaves occurs that can favor interesting physiological characteristics to optimize the development of that culture.

Index terms: *Coffea arabica* L., leaf anatomy, photosynthesis, shading.

1 INTRODUÇÃO

A espécie *Coffea arabica* L. é originária das florestas da Etiópia, onde cresce permanentemente sob a proteção de árvores. Sua adaptação às condições de sombreamento favorece o cultivo em sistemas agroflorestais, prática muito utilizada na maioria dos países produtores da América Latina (DAMATTA, 2004; MORAIS et al., 2004). Contudo,

nas lavouras comerciais do Brasil o cafeeiro é tradicionalmente cultivado a pleno sol. Tendo em vista que as cultivares e variedades mais difundidas no país foram melhoradas geneticamente para apresentar alta produção em condições a pleno sol (DAMATTA, 2004; GOMES et al., 2008; KANTEN; VAAST, 2006).

Significativas vantagens com a utilização do sombreamento de cafeeiros têm sido observadas em lavouras instaladas em áreas marginais, ou seja, com

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais - Departamento de Agricultura e Ambiente - Campus Rio Pomba, s/n - 36.180-000 - Rio Pomba - MG danielle.baliza@ifesudestemg.edu.br

²Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais/Sul de Minas - Campus da UFLA, s/n - Cx. P. 176 Lavras - MG - rlc@epamig.ufla.br

³Universidade Federal de Lavras /UFLA - Departamento de Biologia/DBI - Cx. P. 3037 - 37.200-000 Lavras - MG - emcastro@dbi.ufla.br , jp.barbosa@dbi.ufla.br, mari_cbpires@yahoo.com.br

⁴Cooperativa Agrícola Alto do Rio Grande - Departamento de Café - 37.200-000 - Lavras - MG - rag600@gmail.com

condições climáticas adversas, consideradas pouco adequadas ao monocultivo do cafeeiro (DAMATTA, 2004; MORAIS et al., 2004). Com o cenário do aquecimento global, em um futuro próximo, espera-se um clima mais extremo com aumento na temperatura, o que causaria aumento dessas áreas marginais no Brasil (ASSAD et al., 2004). O sombreamento das lavouras cafeeiras seria uma alternativa viável a fim de amenizar os efeitos do aquecimento, tornando possível o cultivo de café em áreas marginais.

No entanto, em lavouras cafeeiras sombreadas o nível de sombreamento não deve ser excessivo que possa reduzir a produtividade e nem muito baixo para uma proteção eficaz do café contra condições ambientais adversas (CARELLI et al., 1999; DAMATTA, 2004; KATEN; VAAST, 2006). Espera-se que, conhecendo-se a influência dos diferentes níveis de radiação sobre as características estruturais e suas respectivas funções, possam ser determinados níveis ótimos de radiação, ou seja, níveis que proporcionem maior produtividade do cafeeiro em ambientes sombreados.

Plantas que apresentam plasticidade morfológica são capazes de responder diferencialmente aos níveis de radiação por meio de modificações anatômicas, morfológicas e fotossintéticas (GOMES et al., 2008). Várias características podem ser associadas com a adaptação à alta radiação, como: folhas mais espessas devido ao desenvolvimento dos parênquimas paliçádico e esponjoso, acarretando um aumento da área do mesófilo, além da alteração na quantidade, distribuição, tamanho, forma e mobilidade dos estômatos (LARCHER, 2000). Essas modificações estruturais têm como objetivo a otimização da captura da radiação disponível, que é a principal fonte de energia para fotossíntese.

Poucos são os estudos que relacionam as características anatômicas e as de trocas gasosas de cafeeiros submetidos às diferentes disponibilidades de radiação. Espera-se que esses estudos também auxiliem no esclarecimento dos mecanismos associados com a plasticidade morfológica do cafeeiro. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar as características estruturais e suas respectivas funções em cafeeiros em fase de formação no campo, submetidos a diferentes níveis de radiação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura (DAG)

da Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizada no município de Lavras, MG, cujas coordenadas geográficas são: 21° 14' S e 45° 00' W, com altitude média de 918 m. A temperatura média anual do ar dessa região é de 19,4 °C e as médias anuais de temperatura, máxima e mínima, de 26,1 e 14,8 °C, respectivamente, com precipitação anual de 1.529,7 mm (BRASIL, 1992). O clima da região é classificado, segundo Köppen, como do tipo Cwa, mas apresenta características de Cwb, com duas estações distintas: seca (abril a setembro) e chuvosa (outubro a março).

As avaliações foram realizadas em cafeeiros (*Coffea arabica* L.) da cultivar Catucaí Amarelo 2SL. Os cafeeiros foram plantados no espaçamento de 2,5 m x 0,7 m, e três meses após o plantio foram submetidos a cinco níveis de radiação (pleno sol e sob telas plásticas/sombrites de 35, 50, 65 e 90% de sombra). Nas plantas cultivadas sob sombra a colocação dos sombrites foi realizada de modo que toda a parcela experimental ficasse encoberta pelo sombrite, incluindo as laterais da mesma. Foram utilizadas quatro repetições, totalizando 20 parcelas. Cada parcela foi composta de uma fileira com dez plantas, sendo as seis centrais consideradas como úteis. Os tratamentos foram avaliados quanto às trocas gasosas e anatomia foliar dez meses após a instalação do ensaio em campo.

Foram realizadas avaliações de trocas gasosas com um analisador portátil de CO₂ a infravermelho (IRGA LCA-4 ADC Hoddesdon, UK), obtendo-se a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA), a taxa fotossintética (A), a condutância estomática (gs) e a transpiração (E). A avaliação dessas variáveis foi realizada em um dia típico, predominantemente claro, entre às 10 e 11 horas, sendo utilizado o terceiro par de folhas dos ramos plagiotrópicos do terço superior das plantas de café. Utilizou-se uma folha de cada planta e seis plantas por tratamento.

Os estudos anatômicos foram conduzidos utilizando-se o terceiro par de folhas dos ramos plagiotrópicos do terço superior das plantas. As folhas foram coletadas de seis plantas por tratamento e, essas foram fixadas em F.A.A. 70 (JOHANSEN, 1940) por 72 horas e posteriormente conservadas em etanol 70% (v v⁻¹). As secções transversais foram obtidas em micrótomo de mesa, tipo LPC e as secções paradérmicas à mão- livre, com uso de lâmina de aço, sendo submetidas à clarificação com hipoclorito de sódio (1,25% de cloro ativo), tríplice lavagem em

água destilada, coloração com solução safrablau (azul de astra 0,1% e safranina 1% na proporção de 7:3), para as secções transversais e safranina 1% para as secções paradérmicas, sendo posteriormente montadas em lâminas semipermanentes com glicerol 50% (v v⁻¹) (KRAUS; ARDUIN, 1997).

As lâminas foram observadas e fotografadas em microscópio óptico, modelo Olympus BX 60, acoplado à câmera digital Canon A630. As imagens foram analisadas em software para análise de imagens UTHSCSA-Imagetool, com a medição de 20 campos para as variáveis das secções transversais e secções paradérmicas. Foram avaliadas: EAB= espessura da epiderme da face abaxial; EAD= espessura da epiderme da face adaxial; LIM = espessura do limbo foliar; PPA= espessura do parênquima paliçádico; CTA= espessura da cutícula da face adaxial. Para a caracterização dos estômatos, foi analisada a densidade estomática (número de estômatos por mm²) e os diâmetros polares e equatoriais, obtidos em microscópio Olympus CBB e Ken-a-vision 2100.

Os tratamentos foram dispostos no delineamento em blocos casualizados (DBC). A análise de variância foi realizada para todas as características estudadas e quando significativas, as variáveis foram submetidas ao teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade para o estudo das médias, utilizando o programa SISVAR (FERREIRA, 2003).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização das telas plásticas (sombrites), com a intenção de provocar reduções gradativas na radiação solar disponível para as plantas, foi adequada para os propósitos deste trabalho, pois, verificou-se que a média sazonal de densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos decresceu com o aumento do nível de sombreamento (Figura 1). Comportamento semelhante foi observado em mudas de cafeeiros sombreadas artificialmente conduzidas em viveiro (FREITAS et al., 2003).

Nota-se que os tratamentos a pleno sol, 35, 50 e 65 % de sombra favoreceram a taxa fotossintética, enquanto o nível com 90% de sombra provocou redução de 49,51% na assimilação de CO₂ (Figura 1). Resultados semelhantes foram verificados por Carelli et al. (1999), em que verificaram que a exposição das mudas de cafeeiro a 80% de sombra artificial reduziu em cerca de 50% a fotossíntese. Os

autores também não constataram diferenças entre as mudas cultivadas a pleno sol e a 50% de sombra.

A fotossíntese corresponde à entrada básica de energia para as plantas e é essencial para o crescimento do vegetal, sendo ligada diretamente à estrutura das folhas (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Segundo Zhou e Han (2005), a fotossíntese pode variar de acordo com o ambiente onde a planta se encontra, e, as duas principais limitações ambientais para a taxa fotossintética são a disponibilidade de CO₂ e de radiação. Dessa forma, as plantas cultivadas no maior nível de sombra (90%) tiveram menor disponibilidade de radiação e essa variação causou modificações anatômicas que limitaram a fotossíntese, como por exemplo, a redução no espessamento do limbo foliar e do parênquima paliçádico (Figura 2), que permitiu menor aproveitamento da radiação incidente.

As plantas de cafeeiro cultivadas a pleno sol apresentaram os menores valores de condutância estomática e transpiração (Figura 1). Segundo Castro, Pereira e Paiva (2009), as folhas de sol, tipicamente reconhecidas como possuidoras de características xeromorfas e adaptadas às condições de seca demonstram maiores densidades estomáticas e estômatos menores (Figura 3), permitindo que os estômatos permaneçam abertos durante um tempo menor para captar a mesma quantidade de CO₂, a fim de que ocorra menor perda de água pela transpiração.

Os cafeeiros cultivados a pleno sol e sob 35, 50 e 65% de sombra apresentaram maior espessura do limbo foliar e, conseqüentemente do parênquima paliçádico em relação ao tratamento sob maior nível de sombra (90%) (Figura 2). As folhas, quando submetidas aos maiores níveis de radiação geralmente são mais espessas que as folhas cultivadas sob denso sombreamento, sendo o espessamento do mesófilo uma característica xeromorfa, contribuindo para a esclerofilia (BOEGER; WISNIEWSKI, 2003; CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Essa característica pode se modificar dependendo da condição ambiental em que as plantas são cultivadas (BATISTA et al., 2010; GRISI et al., 2008; SOUZA et al., 2010). Dessa forma, o espessamento do mesófilo pode contribuir para a esclerofilia das folhas, atribuindo características de folhas xeromorfas na presença de níveis maiores de radiação, favorecendo a estrutura interna das folhas de cafeeiro.

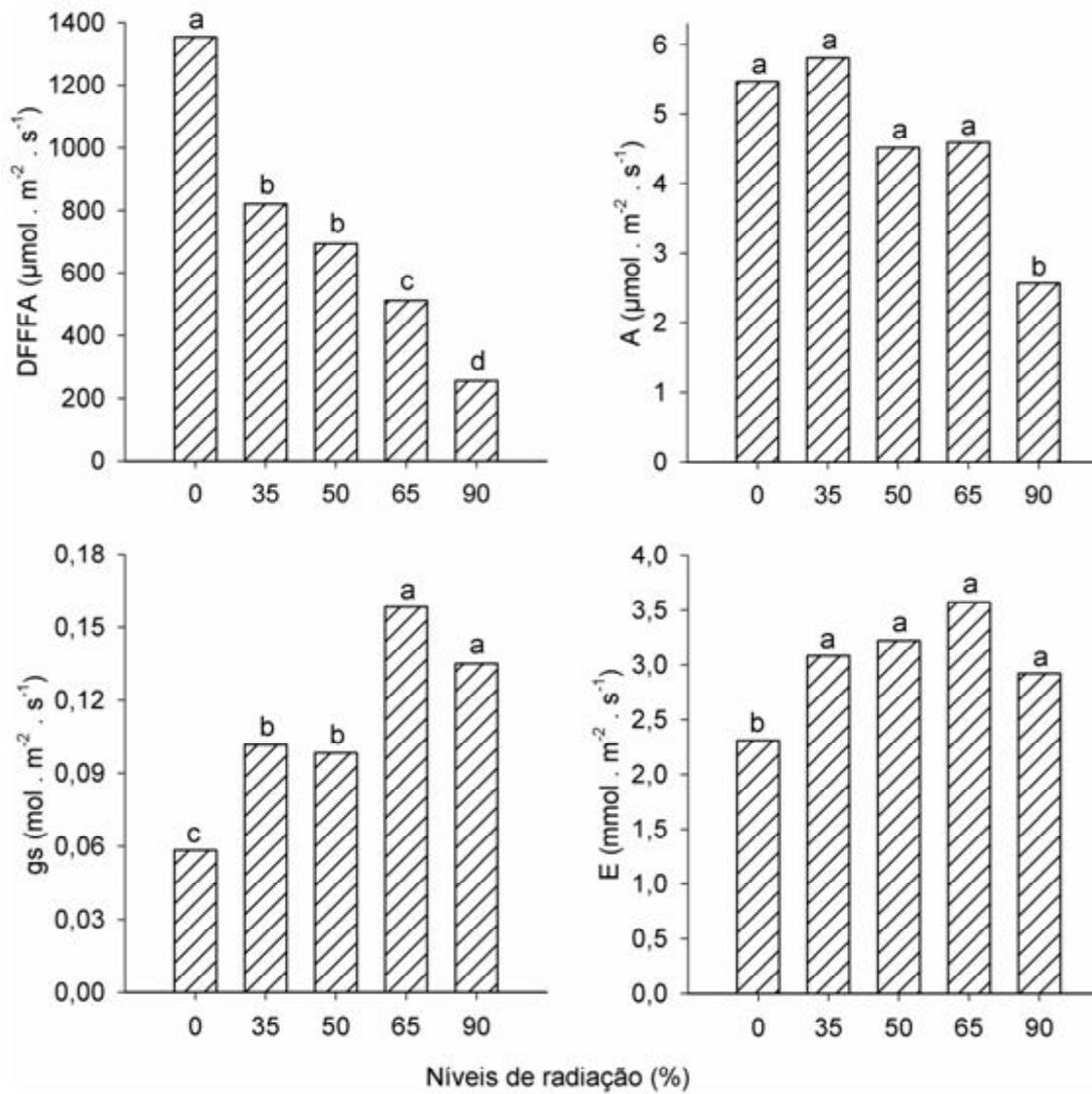


FIGURA 1 – Representação gráfica e valores médios para as variáveis: densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativo (DFFFA), fotossíntese (A), condutância estomática (gs) e transpiração (E), observados em cafeeiros submetidos a diferentes níveis de radiação.

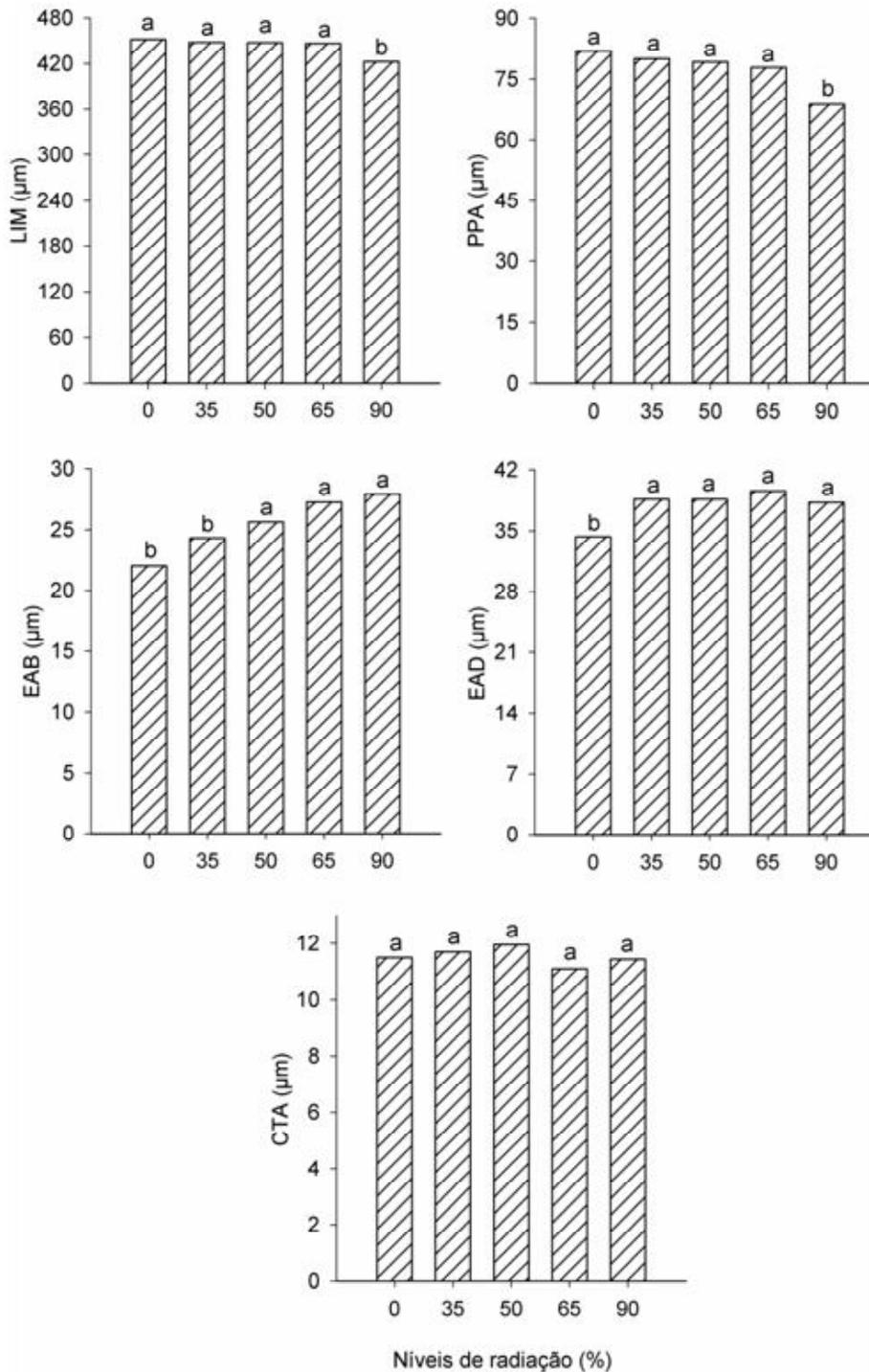


FIGURA 2 – Representação gráfica e valores médios para as variáveis: espessura do limbo (LIM), espessura do parênquima paliçádico (PPA), espessura da epiderme da face abaxial (EAB) e adaxial (EAD), espessura da cutícula da face adaxial das folhas (CTA), observados em cafeeiros submetidos a diferentes níveis de radiação.

Este resultado é importante, visto que a especialização do tecido clorofiliano conduz à eficiência fotossintética da planta, onde a maioria dos cloroplastos é encontrada, pois o parênquima paliádico é o tecido mais especializado para a fotossíntese nas folhas com estrutura dorsiventral (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Esses resultados permitem verificar que as folhas das plantas cultivadas em maiores níveis de radiação desenvolvem estruturas foliares com maior potencial para a fotossíntese possibilitando a essas plantas melhores condições de desenvolvimento em campo.

A espessura da epiderme na face abaxial foi menor para os cafeeiros cultivados a pleno sol e com 35% de sombra, enquanto a espessura da epiderme na face adaxial foi menor apenas para as plantas a pleno sol (Figura 2). Essas alterações estruturais encontradas entre folhas de cafeeiros submetidas a diferentes níveis de radiação podem ser atribuídas a diferentes concentrações de fito-hormônios, especialmente de auxina. Em folhas de plantas sombreadas, a auxina permite maior distensão de células da epiderme. Isso porque a auxina concentra-se nas regiões menos iluminadas das folhas e as folhas mais iluminadas apresentam maiores teores desse fito-hormônio no mesofilo, enquanto que, em folhas sombreadas, as auxinas são encontradas em toda a folha, inclusive na epiderme (MORAIS et al., 2004).

Estes resultados corroboram os obtidos por Fahl et al. (1994), Gomes et al. (2008), Morais et al. (2004), Oliveira et al. (2004) e Voltan, Fahl e Carelli (1992) os quais verificaram maior espessura da epiderme da face adaxial para condições sombreadas. Já para espessura da epiderme da face abaxial, encontra-se menor número de trabalhos apresentando diferenças entre folhas de sol e sombra (FAHL et al., 1994; MORAIS et al., 2004; VOLTAN; FAHL; CARELLI, 1992). A incidência de radiação, de forma geral, é maior na face adaxial das folhas e, por isso, as respostas da face abaxial podem não ser tão facilmente observadas como acontece na face adaxial.

A cutícula pode funcionar como uma barreira para o excesso de transpiração (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). No entanto, não houve influência dos diferentes níveis de radiação na espessura da cutícula, porque na estação chuvosa,

época em que a avaliação foi realizada a perda de água não foi acentuada e, conseqüentemente a planta não necessitou investir energia no espessamento da cutícula (Figura 2). Esse resultado é semelhante ao obtido por Voltan, Fahl e Carelli (1992), em trabalho com mudas de cafeeiro sombreadas artificialmente.

Maior densidade estomática foi verificada para as plantas cultivadas a pleno sol, seguidas pelos cafeeiros sob 35% de sombra, sendo os menores valores apresentados nos maiores níveis de sombra (Figura 3). O aumento na densidade estomática pode favorecer o fluxo de CO₂ para o interior da folha (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009) e, sendo esse gás um dos fatores mais limitantes para a fotossíntese (ZHOU; HAN, 2005), uma maior captação de CO₂ pode ser favorável para a fotossíntese dos cafeeiros. Dessa forma, o aumento na densidade estomática observado para o tratamento a 35% de sombra pode ter favorecido as características fisiológicas interessantes para otimizar o desenvolvimento dessa cultura, em ambiente sombreado.

Para o diâmetro polar dos estômatos, as menores médias ocorreram sob maiores níveis de radiação (pleno sol e 35% de sombra) (Figura 3). A redução no diâmetro polar dos estômatos nesses dois tratamentos pode estar relacionada com estômatos de tamanho menor, resultado esse que possibilitou o aumento na densidade estomática observada nesses mesmos tratamentos. Para o diâmetro equatorial dos estômatos não houve influência dos níveis de radiação.

A relação entre os diâmetros estomáticos foi maior para os tratamentos submetidos aos menores níveis de radiação (65 e 90% de sombra), seguidos pelos níveis com 35 e 50% de sombra, sendo os menores valores apresentados pelas plantas conduzidas a pleno sol (Figura 3). Khan et al. (2002) afirmam que a relação diâmetro polar e diâmetro equatorial está associada ao formato das células-guarda e constitui uma importante característica sobre a funcionalidade dos estômatos, visto que favorece a abertura e fechamento dos estômatos.

Com base neste estudo, observa-se que as estruturas anatômicas das folhas de *C. arabica* e suas respectivas funções apresentam significativa plasticidade morfoanatômica aos diferentes níveis de radiação solar, adaptando sua forma de acordo com a quantidade de radiação incidente.

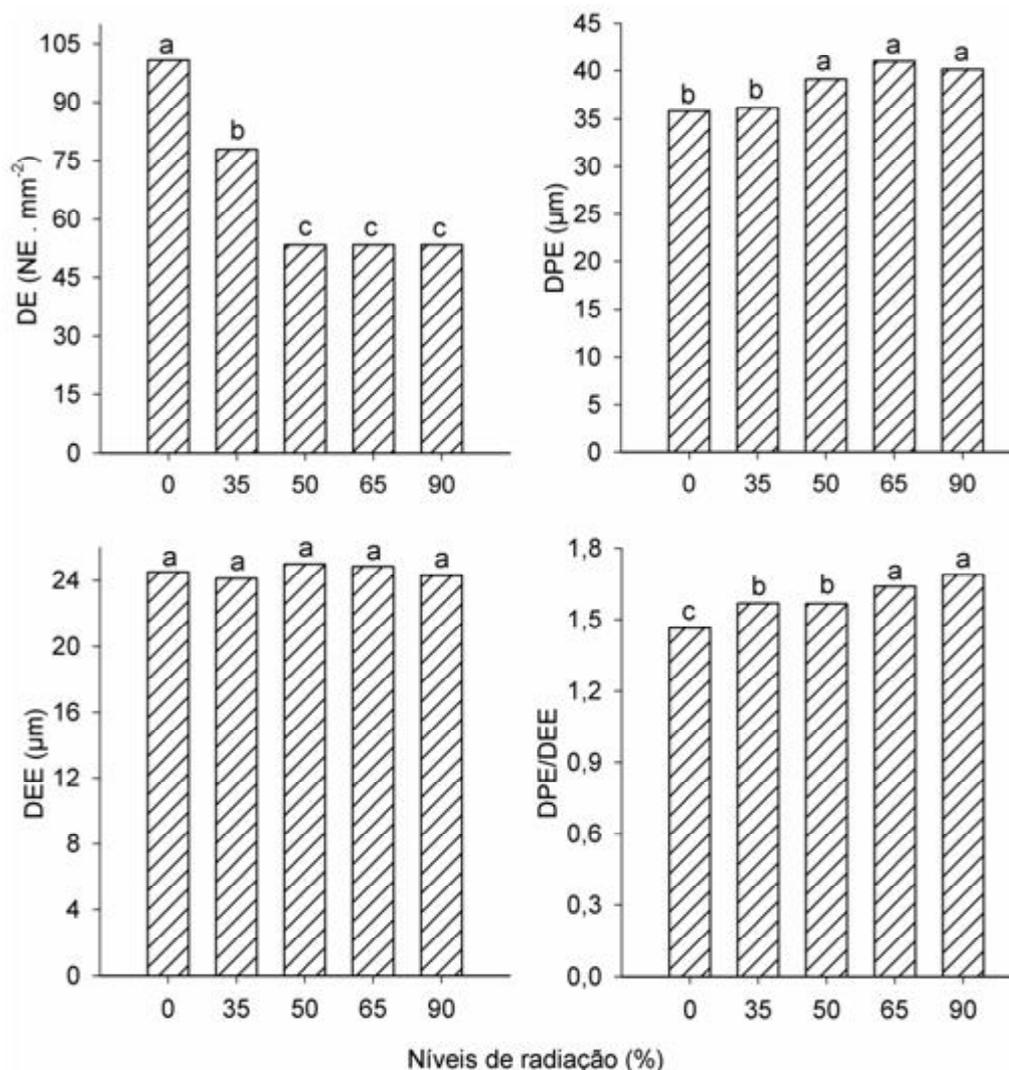


FIGURA 3 – Representação gráfica e valores médios para as variáveis: densidade estomática (DE), diâmetro polar dos estômatos (DPE), diâmetro equatorial dos estômatos (DEE), relação entre os diâmetros estomáticos (DPE/DEE), observados em cafeeiros submetidos a diferentes níveis de radiação.

4 CONCLUSÕES

A quantidade de radiação incidente influencia a estrutura interna das folhas dos cafeeiros e suas respectivas funções.

O nível com 90% de sombra não é recomendado para o cultivo do cafeeiro, pois reduz a taxa fotossintética, apresentando menor espessamento do mesofilo e do parênquima paliçádico.

O nível com 35% de sombra é o mais recomendado para cultivo do cafeeiro em

ambiente sombreado pois, nesse nível ocorre melhoria da estrutura interna das folhas do cafeeiro, o que pode favorecer características fisiológicas interessantes para otimizar o desenvolvimento dessa cultura.

5 AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG e ao INCT CAFÉ, pelo auxílio financeiro na condução dos experimentos e ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSAD, E. D. et al. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, nov. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100204X2004001100001&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 9 abr. 2011.
- BATISTA, L. A. et al. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 475-481, jul./set. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S180666902010000300022&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 8 abr. 2011.
- BOEGER, M. R. T.; WISNIEWSKI, C. Comparação da morfologia foliar de espécies arbóreas de três estádios sucessionais distintos de floresta ombrófila densa (Floresta Atlântica) no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 61-72, mar. 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010084042003000100007&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 9 abr. 2011.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Normais climatológicas 1961-1990**. Brasília, 1992. 84 p.
- CARELLI, M. L. C. et al. Carbon isotope discrimination and gas exchange in *Coffea* species grown under different irradiance regimes. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v. 11, n. 2, p. 63-68, ago. 1999.
- CASTRO, E. M. de; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos**. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.
- DAMATTA, F. M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field Crops Research**, Phoenix, v. 86, n. 2/3, p. 99-114, Mar. 2004.
- FAHL, J. I. et al. Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants (*Coffea arabica* L.). **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 69, p. 161-169, Jan. 1994.
- FERREIRA, D. F. **Sisvar sistema para análise de variância de dados balanceados**: programa de análises estatísticas e planejamento de experimentos. Versão 4. Lavras: UFLA, 2003.
- FREITAS, R. B. et al. Influência de diferentes níveis de sombreamento no comportamento fisiológico de cultivares de café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 4, p. 804-810, jul./ago. 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141370542003000400009&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 8 abr. 2011.
- GOMES, I. A. C. et al. Alterações morfofisiológicas em folhas de *Coffea arabica* L. cv. "Oeiras" sob influência do sombreamento por *Acacia mangium* Willd. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 109-115, jan./fev. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010384782008000100018&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 8 abr. 2011.
- GRISI, F. A. et al. Avaliações anatômicas foliares em mudas de café 'Catuaí' e 'Siriema' submetidas ao estresse hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1730-1736, nov. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141370542008000600008&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 8 abr. 2011.
- JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: McGrawHill, 1940. 523 p.
- KANTEN, R. V.; VAAST, P. Transpiration of arabica coffee and associated shade tree species in sub-optimal, low-altitude conditions of Costa Rica. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 67, n. 2, p. 187-202, jun. 2006.
- KHAN, P. S. S. V. et al. Growth and net photosynthetic rates of *Eucalyptus tereticornis* Smith under photomixotrophic and various photoautotrophic micropropagation conditions. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, Amsterdam, v. 71, n. 2, p. 141-146, Feb. 2002. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/rxl683334000x66m/>>. Acesso em: 8 abr. 2011.
- KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro: EDUR, 1997. 198 p.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

MORAIS, H. et al. Modifications on leaf anatomy of *Coffea arabica* caused by shade of Pigeonpea (*Cajanus cajan*). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 47, n. 6, p. 863-871, Nov. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S151689132004000600005&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>. Acesso em: 8 abr. 2011.

OLIVEIRA, C. R. M. et al. Crescimento e características anatômicas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) e seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) em diferentes sistemas de cultivo: monocultivo e consórcio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 2, p. 350-357, mar./abr. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141370542004000200015&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 9 abr. 2011.

SOUZA, T. C. et al. Leaf plasticity in successive selection cycles of 'Saracura' maize in response to periodic soil

flooding. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 1, p. 16-24, jan. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100204X2010000100003&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>. Acesso em: 9 abr. 2011.

VOLTAN, R. B. Q.; FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C. Variação na anatomia foliar de cafeeiros submetidos a diferentes intensidades luminosas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 4, n. 2, p. 99-105, 1992.

ZHOU, Y. M.; HAN, S. J. Photosynthetic response and stomatal behaviour of *Pinus koraiensis* during the fourth year of exposure to elevated CO₂ concentration. **Photosynthetica**, Amsterdam, v. 43, n. 3, p. 445-449, Sept. 2005. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/u8qp176728744315/>>. Acesso em: 8 abr. 2011.