

MORFOFISIOLOGIA FOLIAR DE CAFEIEIRO SOB DIFERENTES NÍVEIS DE RESTRIÇÃO LUMINOSA¹

Fábio Ricardo Coutinho Fontes César², Sylvana Naomi Matsumoto³, Anselmo Eloy Silveira Viana⁴, Marcos Antônio Ferreira Santos⁵, Joice Andrade Bonfim⁶

(Recebido: 12 de agosto de 2009; aceito 21 de dezembro de 2010)

RESUMO: Objetivou-se, neste estudo, avaliar o comportamento morfofisiológico de variedades de cafeeiros arábica (*Coffea arabica* L.), em fase vegetativa inicial, cultivadas sob diferentes níveis de restrição luminosa artificial. O experimento foi conduzido no período de janeiro a junho do ano de 2007, no campo agropecuário da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, em Vitória da Conquista, BA. Quatro ensaios foram definidos por níveis de 30, 50 e 70 % de restrição luminosa e a pleno sol, mantidas durante os primeiros 90 dias após emergência das plântulas. Para cada ensaio, o comportamento das variedades Catuaí (IAC 144), Catucaí 2SL, e Acauã foi avaliado, seguindo-se o delineamento de blocos casualizados, sendo avaliado o número de folhas, área foliar, teor relativo de água na folha, potencial hídrico foliar, teor foliar de prolina, número de células epidérmicas, número de estômatos e índice estomático. Os níveis de restrição luminosa afetaram o status hídrico dos cafeeiros, alterando a morfofisiologia dos mesmos. Para a variedade Catuaí, o maior teor de prolina foliar foi determinado em relação à variedade Catucaí. Com a elevação da restrição de luz ocorreu redução da densidade estomática, do número de células epidérmicas ordinárias e do índice estomático. Níveis de restrição de luz até 42,86 e 25,0 % favoreceram a elevação da área foliar e do número de folhas, respectivamente.

Palavras-chave: Sombreamento, estômatos, luminosidade.

LEAF MORPHOPHYSIOLOGY OF COFFEE PLANTS UNDER DIFFERENT LEVELS OF LIGHT RESTRICTION

ABSTRACT: The aim of this study was to evaluate the morphophysiological behavior of coffee leaves (*Coffea arabica* L.) maintained under different levels of artificial shading in initial vegetative phase. The experiment was carried out from January to June/2007, in agricultural field of Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, Vitória da Conquista, Bahia, Brazil. Four trials were carried out maintaining shading conditions (30, 50 and 70% of sun light radiance) and at a full sunlight, during 90 days after plantlet emergence. For each assay, Catuaí (IAC144), Catucaí 2SL and Acauã varieties were evaluated, following a randomized block design, considering number of leaves, leaf area, leaf relative water content, leaf water potential, number of ordinary epidermis and stomata cell and stomata index. Shading levels affect the water status of coffee plants, resulting in alterations of morphophysiology of leaves. Increase of leaf water content occurs simultaneously with decrease of modulus of water potential and proline content, denoting an interaction between shading and water content to coffee plants. Higher proline content was verified in Catuaí leaves in comparison to Catucaí variety. With light restriction there was a reduction of ordinary epidermis cell and stomata density. Upward of leaf area and leaf number was observed when the light restriction was similar or lower to 42,86 and 25,0 %, respectively.

Index terms: Shading, stomata, light radiance.

1 INTRODUÇÃO

Apesar da origem umbrófila dos cafés arábica (*Coffea arabica* L.), elevadas produções são obtidas

em cultivo a pleno sol, resultado da grande amplitude de adaptação fenotípica às alterações da intensidade de radiação solar incidente (MORAIS et al., 2004; RIGHI et al., 2007). Entretanto para o desenvolvimento

¹ Financiado pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia e pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (Uesb)

² Bolsista FAPESB, engenheiro agrônomo, Laboratório de Fisiologia Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Zootecnia, Uesb - Caixa Postal 95, 45000-000 - fabiorc.agro@gmail.com.

³ Professora Titular, engenheira agrônoma, Laboratório de Fisiologia Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Zootecnia, Uesb - Caixa Postal 95, 45000-000 - sylvananaomi@yahoo.com.br.

⁴ Professor Titular, engenheiro agrônomo, Laboratório de Produção e Melhoramento Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Zootecnia, Uesb - Caixa Postal 95, 45000-000, aviana@uesb.edunet.br.

⁵ Bolsista FAPESB, engenheiro agrônomo, Laboratório de Fisiologia Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Zootecnia, Uesb - caixa postal 95, 45000-000 - marcosagro@yahoo.com.br.

⁶ Bolsista Pibic/Cnpq, engenheira agrônoma, Laboratório de Fisiologia Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Zootecnia, Uesb - Caixa Postal 95, 45000-000 - joice.agro@yahoo.com.br

inicial das plantas, a incidência direta de elevada radiação luminosa pode se tornar uma condição desfavorável, devido ao fenômeno da fotoinibição, restringindo o vigor da plântula (KITAO et al., 2000). Paiva et al. (2003), relataram que a condição de 50% de sombreamento favorece o desenvolvimento inicial dos cafeeiros.

Muitas alterações morfofisiológicas ocorrem nas plantas como resultado da adaptação às diferentes variações ambientais. A disponibilidade de luz pode influenciar diretamente a morfologia, anatomia e fisiologia das folhas do cafeeiro, resultando na diferenciação da sua estrutura e desenvolvimento (VOLTAN et al., 1992). Essas modificações devem ser estudadas na fase inicial de desenvolvimento, pois estão diretamente associadas ao vigor da planta em estágios posteriores. Muitos são os estudos relativos aos efeitos da restrição de radiação luminosa em cafeeiros, seja em ambiente natural ou em condição simulada artificialmente por meio de telas plásticas denominadas sombrites (COELHO et al., 2010; FREITAS et al., 2003; GOMES et al., 2008; LEMOS et al., 2010; MORAIS et al., 2008; RICCI et al., 2006; VAAST et al., 2006). Entretanto, em cada uma das situações descritas, são geradas novas indagações sobre as relações de aspectos morfológicos, fisiológicos, anatômicos ou ambientais. Desse modo, as informações contidas em cada um desses estudos são de extrema importância, pois é a partir da integração de todo o conhecimento que se atingirá o aprimoramento necessário para o completo entendimento das relações entre restrição luminosa, fisiologia das plantas, componentes bióticos e abióticos do ambiente. Tais interações não têm somente valor para o conhecimento do comportamento biológico, constituindo bases para o manejo e melhoramento vegetal do cafeeiro, pois envolvem questões relacionadas ao autossombreamento das plantas.

Entre as diversas alterações causadas pela restrição de incidência de luz, podem ser citadas variações na quantidade total de células e estômatos. O nível de luminosidade pode influenciar diretamente a transpiração, modificando o status hídrico da planta. De acordo com Tesfaye et al. (2008), a disponibilidade hídrica é um fator importante no desenvolvimento vegetativo inicial dos cafeeiros, representando 60 % dos custos para produção de mudas no sistema convencional de condução de viveiros. Alterações do

potencial hídrico foliar podem fornecer informações menos vulneráveis às variáveis climáticas, permitindo identificar o status hídrico das plantas com maior precisão (TATAGIBA et al., 2007).

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar o comportamento morfofisiológico de variedades de cafeeiro (*C. arabica*), em fase de desenvolvimento vegetativo inicial, conduzidas em diferentes níveis de restrição luminosa.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de janeiro a junho do ano de 2007, no campo agropecuário da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, em Vitória da Conquista, BA, situado a 14° 53' latitude Sul e 40° 48' longitude Oeste, a altitude de 870 metros, com temperatura média anual de 20,2°C e precipitação anual de 900 mm.

Para formação das mudas foram utilizados saquinhos de polietileno de dimensões usuais para mudas de café (11 x 22 cm). O substrato utilizado foi composto por 700 litros subsolo peneirado, 300 litros de esterco de curral peneirado, 6 kg de superfosfato simples e 1,0 kg de cloreto de potássio. Durante a condução do experimento foi feito o controle das invasoras por meio manual e as regas foram realizadas, diariamente, para manter o substrato em condição de capacidade de campo.

O estudo foi composto por quatro ensaios constituídos por diferentes níveis de restrição de luz e uma área a pleno sol. As condições de restrição de luz foram obtidas a partir de viveiros com dimensões de 6,0 x 9,0 x 2,20 m, totalmente recobertos por telados de malha preta com especificações de 30, 50 e 70 % de restrição luminosa. Os viveiros foram construídos no sentido perpendicular ao eixo leste-oeste de percurso diário do sol, evitando a sobreposição de sombra entre os telados. Para cada um dos ensaios foi seguido o delineamento experimental em blocos casualizados, sendo as variedades Catuaí (IAC 144), Catuaí 2SL, e Acauã definidas como tratamentos, com parcela constituída por 12 plantas úteis e cinco repetições. Foi realizada a análise de variância individual para cada ensaio, sendo, posteriormente, aplicada a análise conjunta de experimentos, quando a relação entre os quadrados médios de resíduo foi menor ou igual 1:6. A comparação entre as médias das variedades seguiu o teste de Tukey e, para a

definição dos modelos relativos aos níveis de restrição luminosa, foi observado o coeficiente de determinação (igual ou superior a 50 %), o teste F a partir de análise de variância da regressão, e da melhor representação do fenômeno biológico.

Aos 90 dias após a emergência das plântulas, foram avaliadas as seguintes características: área foliar total (AF), a partir da secção de todas as folhas das plantas e com a utilização do equipamento LI-3100 Área Meter, LI-COR, USA, (cm²); número de folhas (NF), determinado através da contagem direta; potencial hídrico foliar (ψ_{wf}), por meio da câmara de pressão de Scholander (PMS 1000, PMS, Inglaterra) por meio da secção de folhas totalmente expandida a partir do ápice da planta, as leituras foram feitas antes do amanhecer no horário de quatro às cinco horas; número de estômatos (NE), número de células epidérmicas (NC) e índice estomático (IE), determinados através do estudo de cortes paradermicos manuais, utilizando-se uma lâmina de aço. Os cortes foram realizados na região mediana das folhas, na epiderme da face abaxial, e posteriormente mantidos sobre lâmina contendo água glicerizada. A contagem do número de células epidérmicas e número de estômatos foi realizada com o auxílio de câmara clara, em microscópio Olympus CCB, de acordo com metodologia descrita por Labouriau et al. (1961).

Para determinação do índice estomático foi utilizada a relação descrita por Cutter (1986): índice estomático (IE) = $[NE/(CE + NE)] \times 100$, em que NE é o número de estômatos e CE o número de células epidérmicas. O teor de prolina foi determinado de acordo com metodologia de Bates et al. (1973), em base de massa seca e o teor relativo de água na folha foi avaliado de acordo com Smart e Bingham (1974).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para todas as características avaliadas: número de estômatos (NE), número de células epidérmicas (NC), índice estomático (IE), área foliar (AF), número de folhas (NF), potencial hídrico foliar (ψ_{wf}), teor de prolina foliar (PRO) e teor relativo de água na folha (TRA), foi verificado efeito da restrição de radiação luminosa (RL) (Tabela 1).

Para prolina, número de folhas e número de estômatos foi verificada diferença entre as variedades estudadas e efeitos da interação entre variedades (C) e restrição luminosa (RL) foram observados somente para número de estômatos.

Foi ajustado o modelo quadrático para a relação entre níveis de restrição de luz e potencial hídrico foliar (ψ_w) e entre a restrição de luminosidade e teor relativo de água na folha (Figura 1a e 1b).

Para os teores de prolina foi definido o modelo linear decrescente em função de RL e quando foi

Tabela 1 – Quadrados médios (QM), graus de liberdade (GL) e coeficiente de variação (CV) referentes à análise de variância do número de estômatos (NE), número de células (NC), índice estomático (IE), área foliar (AF), número de folhas (NF), potencial hídrico foliar (ψ_{wf}), teor de prolina foliar (PRO) e teor relativo de água na folha (TRA) em função das variedades de cafeeiros arábica (*Coffea arabica* L.) (C) e níveis de restrição luminosa (RL), avaliados aos 90 dias após semeadura.

Q M	GL	Quadrados Médios							
		ψ_{wf}	PRO	TRA	AF	NF	NE	NC	IE
C	2	0,01	5,02*	0,99	381,6	2,64**	715,2*	3268,0	13,18
RL	3	0,78*	52,81**	32,08**	21421,7**	6,82**	3660,2**	18830,0**	53,76**
C X RL	6	0,37	0,59	0,62	593,2	0,11 ns	129,2**	737,0	2,63
BI d. RL	1	0,28*	0,76	0,75	731,7	0,40 ns	97,5	435,0	3,01
Resíduo	3	0,27	0,53	0,89	583,4	0,29	30,1	869,0	2,30
Total	5								
CV(%)		22,0	17,94	1,25	11,33	11,32	8,46	10,17	47,37

*, ** Significativo pelo teste F, $pd^{*}0,01$ e $0,05$.

realizada comparação entre cultivares, maiores valores foram observados para a variedade Catucaí em relação à Acauã (Figura 2a e 2b).

Com o aumento de RL houve redução do módulo do ψ_w (MPa) do teor de prolina e elevação do teor relativo de água. Embora tenha sido realizado o controle da disponibilidade hídrica de modo a evitar

déficits para os cafeeiros, provavelmente alterações microclimáticas definidas pelos níveis de RL, resultaram em gradientes de evapotranspiração. Lin (2007) observou que a porcentagem de área sombreada foi diretamente relacionada à menor amplitude da umidade do solo em cafezais arborizados, na região de Soconusco, Chiapas,

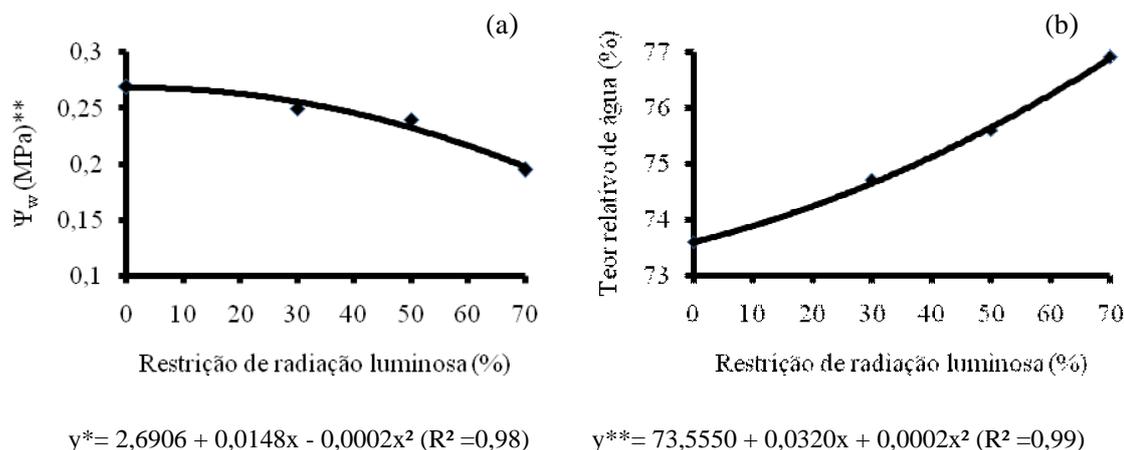


Figura 1 – Estimativa do módulo de potencial hídrico foliar (a) e teor relativo de água na folha (b) de cafeeiros arábica (*Coffea arabica* L.), variedade Catucaí, Acauã e Catucaí, avaliadas em função da restrição da radiação luminosa, 90 dias após emergência.

** , * Significativo pelo teste F. $p \leq 0,01$ e $0,05$, respectivamente.

***valores modulares para ψ_w .

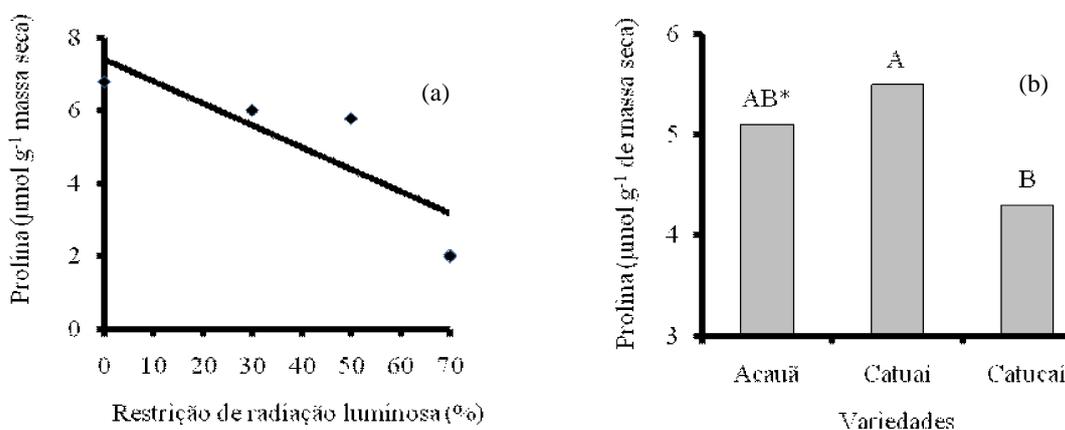


Figura 2 – Estimativa do teor de prolina de cafeeiros arábica (*Coffea arabica* L.), variedades Catucaí, Acauã e Catucaí, em função da restrição de radiação luminosa (a) e variedades (b), avaliadas 90 dias após emergência.

*Médias seguidas de letras distintas diferem pelo teste de Tukey, $p \leq 0,05$.

** Significativo pelo teste F, $p \leq 0,01$.

México. Matsumoto et al. (2006), verificaram que a redução da umidade do solo foi diretamente relacionada à distância entre cafeeiros e árvores de grevleas. A exposição de plantas jovens à luz solar plena está comumente associada à elevação da temperatura do ar e maiores índices de evapotranspiração. Tal condição pode ativar mecanismos de tolerância da planta, induzindo à redução da condutância estomática foliar, e, conseqüentemente, a menores índices de transpiração. Entretanto, a redução do fluxo de água entre a planta e atmosfera, afeta a condição térmica das folhas, resultando em elevação da temperatura (VALLADARES; PEARCY, 1997).

De acordo com Nascimento et al. (2006) elevações nos teores foliares de prolina em cafeeiros arábica foram relacionadas à épocas de restrição hídrica acentuada, associando tal alteração a um possível mecanismo de ajuste osmótico.

Gomes et al. (2008) verificaram que, para plantas em pleno desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, a restrição de luz não alterou a condutância estomática (g_s) e o déficit de pressão de vapor em sistemas arborizados, em relação aos cafeeiros mantidos à pleno sol, em condição de campo. Embora a anatomia das folhas tenha sido alterada pela restrição de luz, o autossombreamento da copa de plantas em estágios mais avançados do ciclo definiu alteração no microclima, caracterizado por redução de variações extremas de incidência de luz, umidade atmosférica e temperatura. Dessa forma, mesmo constatada alteração da morfofisiologia por RL, a disponibilidade hídrica é um fator preponderante para as trocas gasosas por meio da abertura e fechamento dos estômatos.

Para as características de AF e NF (Figura 3a e 3b), foi ajustado o modelo quadrático, quando as avaliações foram dependentes dos níveis de RL. Em relação à AF, o valor máximo 245,45 cm² ocorreu para 42,86 % de restrição de radiação luminosa.

Para o NF foram observados acréscimos até 25,07 % de restrição de luz, atingindo o valor máximo de 8,8 folhas. Tal elevação foi relacionada ao efeito positivo da atenuação da incidência de luz direta para a capacidade de acúmulo de carboidratos, direcionados para maior NF. Quando RL foi

intensificada (acima de 25,07 %), houve decréscimo de NF devido aos efeitos restritivos relacionados ao menor fluxo de fótons fotossinteticamente ativos. Resultados semelhantes foram observados por Paiva et al. (2003), que verificaram maior AF e NF no desenvolvimento inicial de cafeeiros arábica submetidos a 50 % de restrição luminosa e menores valores para plantas mantidas a 90 % de RL.

O aumento da AF sob RL permite elevar a superfície de absorção de luz, atenuando o efeito da baixa incidência de radiação sobre a fase fotoquímica da fotossíntese (PEDROSO; VARELA, 1995). No presente estudo, a redução de AF observada a partir de 42,86 % de RL, ocorreu como consequência do decréscimo de NF, verificado a partir de 27,07 % de RL, pois houve tendência de elevação da área foliar individual das folhas no intervalo de RL em estudo (Figura 3c).

Alterações de AF são decorrentes da capacidade de alongamento das células da epiderme sendo sensíveis a variações da intensidade de luz incidente como também a gradientes de disponibilidade hídrica para a planta. De acordo com Trewavas (1981), o alongamento celular está diretamente relacionado à capacidade de turgescência das células, sendo a taxa de crescimento do tecido dependente de um valor limiar do potencial de pressão (limiar de cedência) e do coeficiente de extensibilidade. Pessoa e Calbo (2004), reafirmando proposições dispostas em Calbo e Pessoa (1994), descreveram modelos em que a tensão relacionada ao alongamento da parede celular das células vegetais cilíndricas depende tanto da pressão de turgor como da pressão hidrostática do apoplasto, principalmente em condição de restrição de disponibilidade hídrica.

A restrição de RL pode reduzir o transporte polar basípeto das auxinas (hormônio que determina processos de alongamento celular) para as raízes, resultando em maiores taxas de alongamento celular da epiderme e, conseqüentemente, maior área foliar das plantas. Conforme foi verificado, no presente estudo os gradientes de RL condicionaram modificações microclimáticas que alteraram as relações hídricas das plantas e deste modo, tanto o transporte de auxinas e turgor das células contribuíram para a elevação da área foliar.

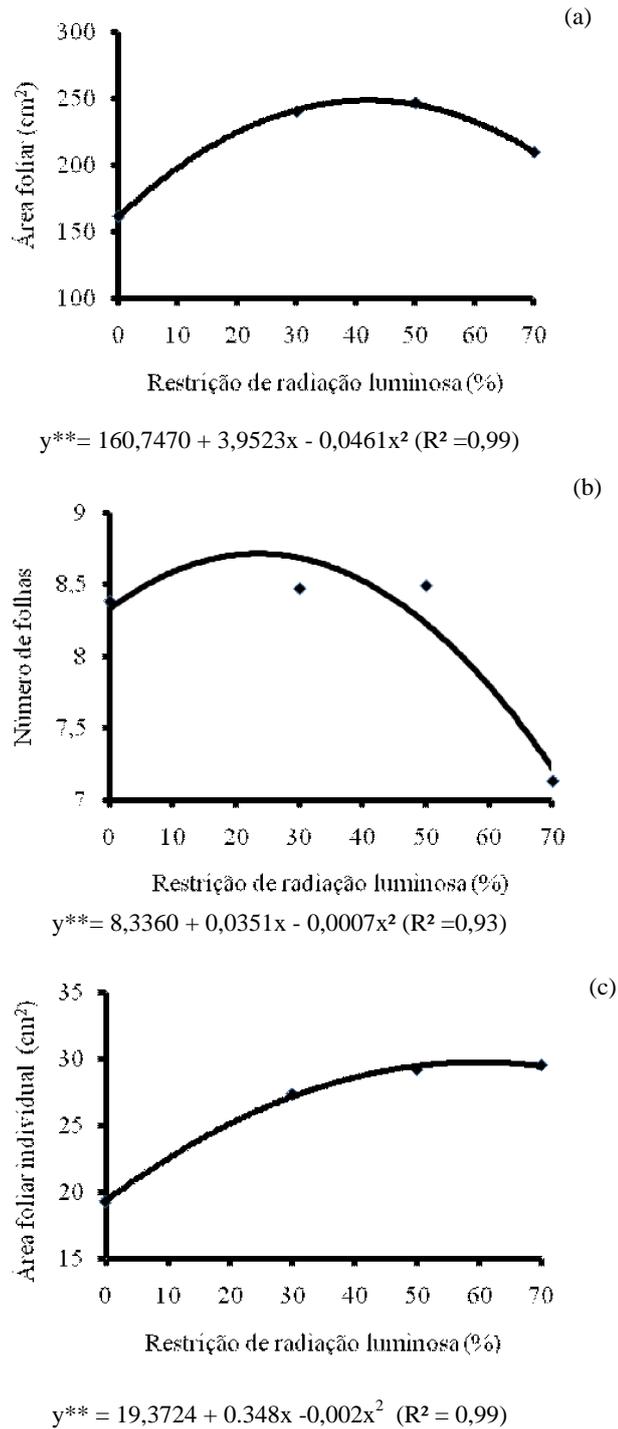


Figura 3 – Estimativa da área foliar (a) e número de folhas (b) de cafeeiros arábica (*Coffea arabica* L.), variedades Catucaí, Acauã e Catuaí, avaliadas em função da restrição da radiação luminosa, 90 dias após emergência.

** Significativo pelo teste F, $p \leq 0,01$

À medida que se aumentou a RL incidente, NC, IE e NE foram reduzidos. Somente para a característica NE, foi verificada interação entre as variedades e os níveis de RL, sendo ajustado o modelo quadrático para as três variedades (Figura 4a). Para a variedade Acauã, foi verificado NE máximo de 253,3, alcançado sob RL de 14,75 % de RL.

Para as variedades Catuaí e Catucaí, a maior NE foi verificada sob condição de pleno sol. De modo semelhante, Grisi et al. (2008) discriminaram o comportamento das variedades de café Siriema e Catuaí por meio de NE, sob condição de restrição hídrica, não ocorrendo variações para IE. Conforme observado no presente estudo, os efeitos de RL e disponibilidade hídrica por muitas vezes estão associados.

Para o NC e o IE (Figura 4b e 4c), foi ajustado o modelo linear e quadrático respectivamente, caracterizados por decréscimos em relação à elevação de RL. Maiores valores de NC e IE foram verificados para os cafeeiros conduzidos a pleno sol em relação aos demais tratamentos, sendo anteriormente relatados por Nascimento et al. (2006) e Oliveira et al. (2004). Para plantas de café submetidas a 50 % de RL, em relação a cafeeiros submetidas a pleno sol, Pompelli (2008) salienta que o fator preponderante para a redução em IE, ocorreu devido à alterações da área média de células ordinárias da epiderme. No presente estudo, também foi observada uma diferenciação da intensidade de efeitos de RL sobre a redução da AF total.

Para o NF foram observados acréscimos até 25,07 % de restrição de luz, atingindo o valor máximo de 8,8 folhas. Tal elevação foi relacionada ao efeito positivo da atenuação da incidência de luz direta para a capacidade de acúmulo de carboidratos, direcionados para maior NF. Quando RL foi intensificada (acima de 25,07 %), houve decréscimo de NF devido aos efeitos restritivos relacionados ao menor fluxo de fótons fotossinteticamente ativos. Resultados semelhantes foram observados por Paiva et al. (2003), que verificaram maior AF e NF no desenvolvimento inicial de cafeeiros arábica submetidos a 50 % de restrição luminosa e menores valores para plantas mantidas a 90 % de RL.

O aumento da AF sob RL permite elevar a superfície de absorção de luz, atenuando o efeito da baixa incidência de radiação sobre a fase fotoquímica da fotossíntese (PEDROSO; VARELA, 1995). No

presente estudo, a redução de AF observada a partir de 42,86 % de RL, ocorreu como consequência do decréscimo de NF, verificado a partir de 27,07 % de RL, pois houve tendência de elevação da área foliar individual das folhas no intervalo de RL em estudo (Figura 3c).

Alterações de AF são decorrentes da capacidade de alongamento das células da epiderme sendo sensíveis a variações da intensidade de luz incidente como também a gradientes de disponibilidade hídrica para a planta. De acordo com Trewavas (1981), o alongamento celular está diretamente relacionado à capacidade de turgescência das células, sendo a taxa de crescimento do tecido dependente de um valor limiar do potencial de pressão (limiar de cedência) e do coeficiente de extensibilidade. Pessoa e Calbo (2004), reafirmando proposições dispostas em Calbo e Pessoa (1994), descreveram modelos em que a tensão relacionada ao alongamento da parede celular das células vegetais cilíndricas depende tanto da pressão de turgor como da pressão hidrostática do apoplasm,ção de pleno sol. De modo semelhante, Grisi et al. (2008) discriminaram o comportamento das variedades de café Siriema e Catuaí por meio de NE, sob condição de restrição hídrica, não ocorrendo variações para IE. Conforme observado no presente estudo, os efeitos de RL e disponibilidade hídrica por muitas vezes estão associados.

Para o NC e o IE (Figura 4b e 4c), foi ajustado o modelo linear e quadrático respectivamente, caracterizados por decréscimos em relação à elevação de RL. Maiores valores de NC e IE foram verificados para os cafeeiros conduzidos a pleno sol em relação aos demais tratamentos, sendo anteriormente relatados por Nascimento et al. (2006) e Oliveira et al. (2004). Para plantas de café submetidas a 50 % de RL, em relação a cafeeiros submetidas a pleno sol, Pompelli (2008) salienta que o fator preponderante para a redução em IE, ocorreu devido à alterações da área média de células ordinárias da epiderme. No presente estudo, também foi observada uma diferenciação da intensidade de efeitos de RL sobre a redução da AF total.

Para células ordinárias da epiderme (NC) foi definido um modelo linear de decréscimos de AF em relação a RL sendo para as células estomáticas (DE) e para IE delineado o modelo quadrático, denotando atenuação desse efeito.

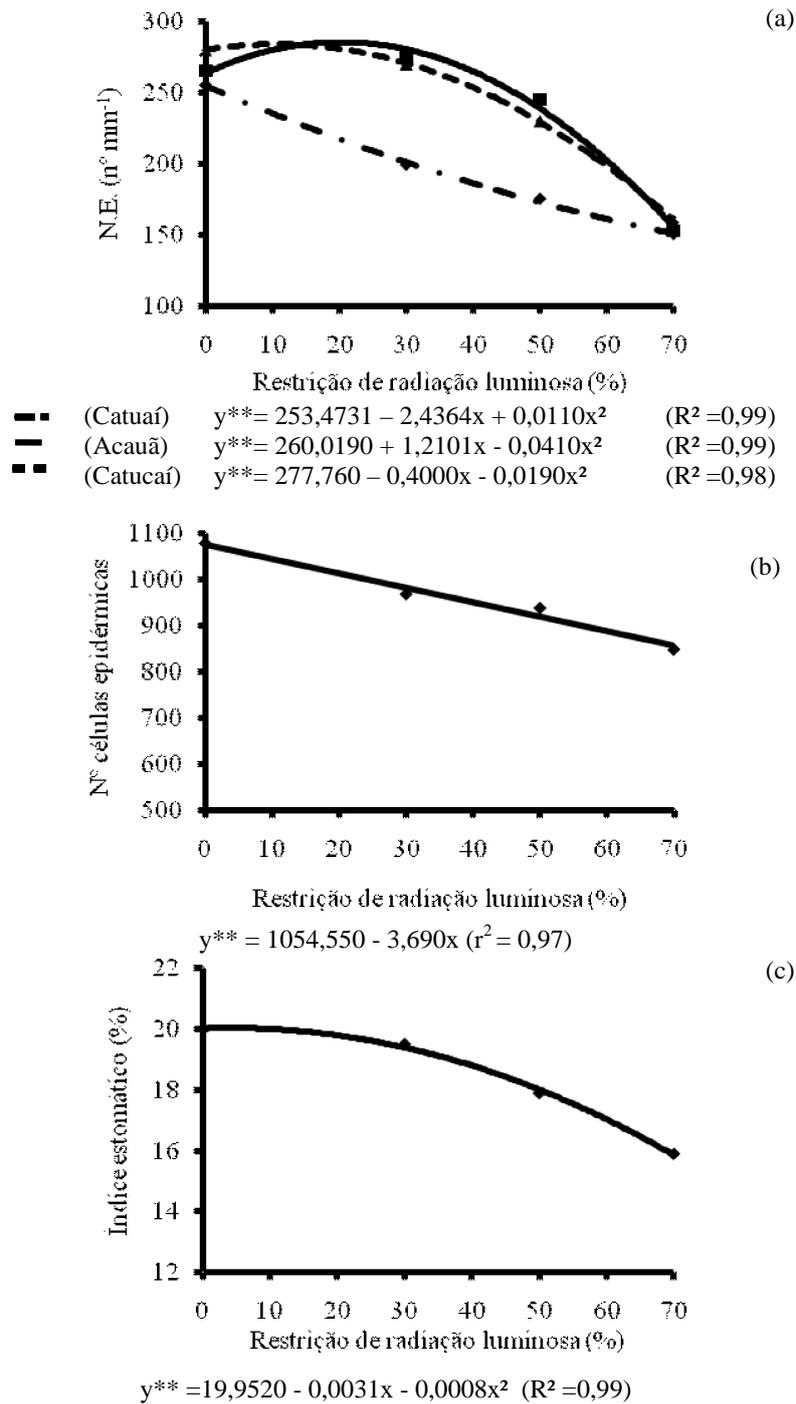


Figura 4 – Estimativa do número de estômatos, (N.E.) (a), número de células epidérmicas (b) e índice estomático (c) de cafeeiros (*Coffea arabica* L.), variedades Catucaí, Acauã e Catucaí, em função da restrição da radiação luminosa, 90 dias após emergência.

** Significativo pelo teste F, $p \leq 0,01$.

4 CONCLUSÕES

Os níveis de restrição luminosa condicionam diferentes situações de disponibilidade hídrica para os cafeeiros, resultando em alterações morfofisiológicas das folhas.

A variedade Catuaí é mais sensível ao acúmulo de prolina nas folhas em condição de restrição de luz, quando comparada à Catucaí.

Embora a restrição de luz induza à elevação da área foliar individual de maneira contínua e crescente, sob condição de intenso sombreamento, devido ao menor número de folhas, a área foliar total dos cafeeiros é reduzida.

5 REFERÊNCIAS

- BATES, L. S. et al. Rapid determination of free proline for water stress studies. **Plant and Soil**, Oxford, v. 39, p. 205-207, 1973.
- CALBO, A. G.; PESSOA, J. D. C. A plant growth re-analysis. An extension of Lockhart's equation to multicellular plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Brasília, v. 6, n. 1, p. 83-90, 1994.
- COELHO, R. A. et al. Nível de sombreamento, umidade do solo e morfologia do cafeeiro em sistemas agroflorestais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 1, p. 95-102, 2010.
- CUTTER, E. G. **Anatomia vegetal**: parte I, células e tecidos. 2. ed. São Paulo: Roca, 1986. 304 p.
- FREITAS, R. B. de 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.
- 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, 2008.
- 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./dez. 2008.
- KITAO, M. et al. Susceptibility to photoinhibition of three deciduous broadleaf tree species with different successional traits raised under various light regimes. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 23, p. 81-89, 2000.
- LABOURIAU, L. G. et al. Transpiração de *Schizolobium parahyba* (Vell) Toledo I: comportamento na estação chuvosa, nas condições de Caeté, Minas Gerais. **Anais da Academia Brasileira de Ciência**, Rio de Janeiro, v. 23, p. 237-257, 1961.
- LEMOS, C. L. et al. Metabolismo de nitrogênio em dois sistemas de cultivo de café sob veranico da estação úmida. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, p. 4-41, 2010.
- LIN, B. B. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 144, p. 85-94, 2007.
- MATSUMOTO, S. N. et al. Water relations in a coffee grove planted with grevilleas in Vitória da Conquista, Bahia, Brazil. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 71-83, 2006.
- MORAIS, H. et al. Caused by shade of Pigeonpea (*Cajanus cajan*). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 47, n. 6, p. 863-871, 2004.
- _____. Desenvolvimento de gemas florais, florada, fotossíntese e produtividade de cafeeiros em condição de sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 4, p. 465-472, 2008.
- NASCIMENTO, E. A. et al. Alterações morfofisiológicas em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) consorciado com seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 852-857, 2006.
- 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, 2004.
- PAIVA, L. C. et al. Influência de diferentes níveis de sombreamento sobre o crescimento de mudas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 1, p. 134-140, 2003.
- PEDROSO, S. G.; VARELA, V. P. Efeito do sombreamento no crescimento de mudas de Sumaúma (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn). **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 17, n. 1, p. 47-51, 1995.

- PESSOA, J. D. C.; CALBO, A. G. Apoplasm hydrostatic pressure on growth of cylindrical cells. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 16, n. 1, p. 17-24, 2004.
- POMPELLI, M. F. **Respostas anatômicas e fisiológicas de plantas de café cultivadas em diferentes níveis de nitrogênio e irradiância**. 2008. 71f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- RICCI, M. S. F. et al. Cultivo orgânico de cultivares de café a pleno sol e sombreado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 569-575, 2006.
- RIGHI, C. A. et al. Measurement and simulation of solar radiation availability in relation to the growth of coffee plants in an agroforestry system with rubber trees. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 195-207, 2007.
- SMART, R. E.; BINGHAM, G. E. Rapid estimates of relative water content. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 53, p. 258-260, 1974.
- TATAGIBA, S. D. et al. Comportamento fisiológico de dois clones de *Eucalyptus* na época seca e chuvosa. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 149-159, 2007.
- TESFAYE, S. G. et al. Effects of deficit irrigation and partial rootzone drying on growth, dry matter partitioning and water use efficiency in young coffee (*Coffea arabica* L.) plants. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, Netherlands, v. 6, n. 384, p. 312-317, 2008.
- TREWARAS, A. A. How do plant growth substances work? **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 4, n. 1, p. 203-228, 1981.
- VAAST, P. et al. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Washington, v. 86, n. 2, p. 197-204, 2006.
- VALLADARES, F.; PEARCY, R. W. Interactions between water stress, sun-shade acclimation, heat tolerance and photoinhibition in the sclerophyll *Heteromeles arbutifolia*. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 20, p. 25-36, 1997.
- VOLTAN, R. B. Q. et al. Variações na anatomia foliar de cafeeiros submetidos a diferentes intensidades luminosas. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Brasília, v. 4, n. 2, p. 99-105, 1992.