

**ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE MUDAS DE
CAFEIRO CULTIVADAS SOB TELADO DE
MALHAS COLORIDAS**

PAÔLA DE CASTRO HENRIQUE

2010

PAÔLA DE CASTRO HENRIQUE

**ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE MUDAS DE CAFEIEIRO
CULTIVADAS SOB TELADO DE MALHAS COLORIDAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fisiologia Vegetal área de concentração em Fisiologia Vegetal, para a obtenção do título de "Mestre".

Orientador

Prof. Dr. José Donizeti Alves

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2010

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Henrique, Paôla de Castro.

Aspectos fisiológicos de mudas de cafeeiro cultivadas sob telado de malhas coloridas / Paôla de Castro Henrique. – Lavras : UFLA, 2010.

38 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

Orientador: José Donizeti Alves.

Bibliografia.

1. Café. 2. Qualidade de luz. 3. Crescimento. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 581.1

PAÔLA DE CASTRO HENRIQUE

**ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE MUDAS DE CAFEIEIRO
CULTIVADAS SOB TELADO DE MALHAS COLORIDAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fisiologia Vegetal área de concentração em Fisiologia Vegetal, para a obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 9 de abril de 2010

Prof. Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães

EPAMIG

Prof^ª. Dr^ª. Patrícia de Fátima Pereira Goulart

UNILAVRAS

Prof. Dr. José Donizeti Alves

UFLA

(Orientador)

LAVRAS

MINAS GERAIS - BRASIL

À minha MÃE Delma (*in memoriam*)

DEDICO.

Ao meu irmão Juninho, ao meu namorado Fábio

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre comigo, em todas as etapas do meu caminho.

À minha MÃE Delma, por me apoiar sempre, pelo amor, pela força.

Ao meu irmão Juninho, pelo carinho, apoio e compreensão.

Ao meu namorado, Fábio, pelo amor, apoio e maturidade que tem me passado ao longo desses anos juntos.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), pela oportunidade de realização da pós-graduação.

Ao meu orientador, professor Dr. José Donizeti Alves, por toda a atenção, apoio e orientação.

À minha co-orientadora Patrícia Goulart, pela dedicação, companheirismo, amizade e orientação.

Aos colegas do laboratório, Ilisandra, Kamila, Meline, Nádia, Helbert, Brenda, Sidnei, Emanuelle, André, Neidiquele, pela amizade e, principalmente, pela grande ajuda na realização deste trabalho.

Aos funcionários técnico-administrativos: Lena, Joyce, Joel e ao Odorêncio, por todo o auxílio e pela simpatia, sempre constante.

Aos colegas de mestrado especialmente a Dalíhia pela amizade verdadeira, carinho e dedicação.

A todos que, de uma forma ou de outra, colaboraram para a concretização dessa etapa importante da minha vida e que, embora não citados aqui, não deixam de ter meu profundo agradecimento.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3.1 Crescimento das plantas.....	11
3.2 Clorofilas.....	11
3.3 Carotenóides.....	12
3.4 Análises bioquímicas (açúcares solúveis totais, e amido).....	12
3.5 Análises enzimáticas.....	13
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
4.1 Análise de crescimento.....	14
4.2 Conteúdo de clorofilas e carotenóides.....	22
4.3 Teores de carboidratos.....	24
4.4 Atividade da sacarose sintase (SuSy) e invertases.....	26
5 CONCLUSÕES.....	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31

RESUMO

HENRIQUE, Paôla de Castro. **Aspectos fisiológicos de mudas de café cultivadas sob telado de malhas coloridas**. 2010. 38 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. *

Esta pesquisa teve o objetivo associar os melhores atributos fisiológicos, diretamente associados à produção de mudas com o maior vigor vegetativo em menor tempo de viveiro, sob telados de determinada (s) cor (es). Mudas de café (*Coffea arabica* L.) cv. Catucaí amarelo 2SL foram dispostas em blocos ao acaso com cinco repetições, no interior de estruturas de madeira, cobertas individualmente com malhas ChromatiNET nas cores preta, branca, cinza, vermelha e azul, as quais proporcionaram um nível de sombreamento de 50%. As avaliações foram efetuadas em mudas de determinado tratamento com dois e seis pares de folhas completamente expandidas sendo avaliados o número de pares de folhas, a altura das plantas, a área foliar, razão de área foliar, taxa de assimilação aparente, a massa seca de folhas, de caule e de raízes, a massa seca total, teor de clorofila, análises bioquímicas de teor de amido, açúcares solúveis totais, e atividade das enzimas invertases ácida e neutra, sacarose sintase (SuSy). Os resultados mostraram que as cinco malhas utilizadas neste experimento afetaram, de alguma forma, o desenvolvimento total das plantas de café. Observou-se a expressividade da malha de coloração vermelha em relação à matéria seca total e das folhas, relação parte aérea/raiz, altura das plantas e área foliar, cujos resultados foram superiores quando comparados aos outros tratamentos. Em relação à razão de área foliar (RAF), foram encontrados os maiores valores para as mudas sob as malhas azul e cinza. A taxa de assimilação aparente e os teores de carotenóides não variaram entre os tratamentos. No que se refere aos carboidratos, a utilização da malha vermelha proporcionou teores mais elevados de AST e amido em folhas e raízes para ambas as épocas de coleta, exceto para AST. As mudas sob malha vermelha apresentaram maior atividade da SuSy na segunda época de coleta.

Palavras-chave: Café. Qualidade de luz. Crescimento.

*Comitê orientador: José Donizeti Alves - UFLA (Orientador), Paulo Tácito Gontijo Guimarães - EPAMIG, Patrícia de Fátima Pereira Goulart – UNILAVRAS.

ABSTRACT

HENRIQUE, Paôla de Castro. **Physiological aspects of coffee plants grown under greenhouse conditions of colored nets.** 2010. 38 p. Dissertation (Master in Plant Physiology) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. *

This research aimed to associate the major physiological attributes associated to seedling production with higher vegetative vigor in lower time of nursery house, on shading screen of determined colours. Coffee seedlings (*Coffea arabica* L.) cv. Catucaí Amarelo 2SL were disposed in casualized blocks with five replicates located in nursery house conditions covered individually with shading screen ChromatiNET using the colours black, white, gray, red and blue promoted a shading level of 50%. The evaluations were made in seedling containing two and six leaf pairs fully expanded being analyzed the leaf number, plant height, leaf area, leaf area mass ratio, apparent assimilation rate, dry mass from leaf, stem and root, total dry mass, chlorophyll levels, biochemical analysis like starch, total soluble sugars concentrations, and acid and neutral invertase and sucrose synthase (SuSy) activity. The results showed that the five types of shading screen used in this experiment, affected in some way the coffee plant development. It was noted the effect of shading red screen in relation to total dry mass and leaves, in relation to total dry mass and leaf dry mass, aerial/root ratio, plant height and leaf area, which the results were higher when compared with the other treatments. In relation to leaf area ratio (RAF), there were found the highest values when the shading coloured screen blue and grey were used. The apparent assimilation rate and carotenoids level did not change among the treatments, although the grey shading screen caused a reduction in chlorophyll level. In relation to carbohydrates, the red shading screen caused the highest level of AST and starch in leaves and roots for both sampling time, except by AST. The seedling on red shading screen showed higher activity to SuSy in the second sampling time.

Key words: Coffee. Light quality. Growth.

* Guidance Committee: José Donizeti Alves - UFLA (Adviser), Paulo Tácito Gontijo Guimarães - EPAMIG, Patrícia de Fátima Pereira Goulart – UNILAVRAS.

1 INTRODUÇÃO

O café é uma das commodities mais importantes do comércio agrícola internacional, o que representa uma significativa fonte de renda. Atualmente, cerca de 65% do café produzido é composto por *Coffea arabica* L. (café arábica) sendo o restante de *Coffea canephora* (café robusta).

A produção das mudas, em sua maior parte, é realizada em viveiros construídos das mais variadas formas e materiais. Ainda que alguns cafeicultores façam a opção pela formação a pleno sol, visando principalmente melhorar a adaptação das plantas às condições de campo e economizar na estrutura para o viveiro, as plantas, quando jovens, são extremamente sensíveis ao excesso de insolação, apresentando sintomas de escaldadura, phoma e amarelecimento precoce. Para resolver este problema, tem-se adotado como padrão coberturas com bambu, ripado, capim napier ou tela sombrite de coloração preta, disposta de tal forma que deixe passar apenas 50 % da radiação solar.

Várias pesquisas já foram desenvolvidas relacionando a quantidade de luz no viveiro ao desenvolvimento das mudas de cafeeiro. A maioria delas baseando-se em análises de crescimento de altura, diâmetro de caule, número de pares de folha, massa seca de raiz e da parte aérea e área foliar, chegando a conclusão que, para as características de crescimento analisadas, as mudas sob sombrite com 50% da interceptação solar apresentaram melhor qualidade em relação aos demais sombreamentos e às mudas formadas a pleno sol. Estas pesquisas, no entanto, não apontaram nenhuma redução no sentido de antecipar sua ida para o campo.

Os efeitos da qualidade da luz sobre o crescimento e desenvolvimento se manifestam precocemente sobre as plantas antes mesmo de qualquer alteração no nível de radiação fotossinteticamente ativa. Desse modo, os sinais de diferentes espectros de luz, percebidos pelo fitocromo, induzem alterações na

morfologia e na alocação de assimilados com reflexo na velocidade de crescimento e desenvolvimento das plantas. Especificamente para a cultura do cafeeiro, as pesquisas basicamente foram realizadas com a alteração do nível de sombreamento, inexistindo, portanto, pesquisas envolvendo alterações espectrais da luz.

Apesar da confirmação dos efeitos da qualidade da luz sobre as plantas, as respostas são muito variáveis em função, principalmente, das espécies. No Brasil a maioria dos viveiros de café é formada em canteiros cobertos com telado de cor preta. Portanto, para o cafeeiro, é possível que a técnica da modulação na qualidade espectral da radiação, pelo uso de malhas coloridas, possa se revelar promissora para acelerar o desenvolvimento das mudas, principalmente em relação aos efeitos morfo-anatômicos e fisiológicos exercidos sobre as folhas.

Partindo da hipótese que alterações na qualidade espectral da luz podem proporcionar profundas mudanças na fisiologia do cafeeiro e que estas modulações para mudas de café ainda não foram estudadas, objetivou-se, neste estudo, associar os melhores atributos fisiológicos, diretamente associados à produção de mudas com o maior vigor vegetativo em menor tempo de viveiro, ao uso de telados de determinada(s) cor(es).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A cultura do cafeeiro, por ser perene e explorada continuamente por longos períodos, de vinte anos ou mais, exige necessariamente o plantio de mudas de boa qualidade, pois auxilia num estabelecimento adequado do sistema radicular e da parte aérea, com reflexos em longo prazo.

A produção de mudas saudáveis e vigorosas é o primeiro passo para a formação de uma lavoura cafeeira produtiva (Braun et al., 2007). Os viveiros utilizados para produção de plantas de café são construídos de vários materiais. Todos, porém, seguem um padrão de construção como: as laterais construídas com um material que permite passar 50% de luminosidade, evitando insolação direta nas mudas; a cobertura pode ser alta ou baixa, deve ser transversal ao caminamento do sol, sendo construído de diversos materiais, tais como: bambu, ripado, sombrite, entre outros, sempre procurando manter o sombreamento em torno de 50% (Paiva et al., 2003).

A cobertura das mudas através de sombrites torna-se necessária para evitar o excesso de insolação, mas sabe-se que a luz é um fator fundamental para as plantas, pela ação direta ou indireta na regulação de seu crescimento e desenvolvimento (Morini & Muleo, 2003), desempenhando papel relevante no controle dos processos associados ao acúmulo de biomassa, contribuindo, de forma inequívoca, para o desenvolvimento da planta, sendo a sua qualidade fator limitante no crescimento vegetal (Valio, 2001).

Modificações na intensidade luminosa e na qualidade da luminosidade que uma determinada espécie está adaptada podem acarretar diferentes respostas em suas características fisiológicas, bioquímicas, anatômicas e de crescimento. Assim, a eficiência do crescimento pode estar relacionada à habilidade de adaptação das plantas às condições de intensidade e qualidade luminosa do ambiente (Engel & Poggiani, 1991; Atroch et al., 2001).

A adaptação das plantas ao ambiente de luz depende do ajuste de seu aparelho fotossintético, de modo que a luminosidade ambiental seja utilizada de maneira mais eficiente possível. As respostas dessa adaptação são refletidas no crescimento global da planta. Assim, a eficiência do crescimento pode estar relacionada com a habilidade de adaptação das plântulas e as condições de intensidade luminosa do ambiente, frequentemente as análises do crescimento são utilizadas para prever o grau de tolerância das diferentes espécies ao sombreamento (Engel, 1991). Para inferir a contribuição de diferentes processos fisiológicos para o crescimento vegetal, a análise de crescimento ainda é o meio mais simples e preciso, sendo útil no estudo de variações entre plantas sob diferentes condições de luminosidade.

Segundo Benincasa (1988), através da análise de crescimento é possível conhecer a cinética de produção de biomassa das plantas, sua distribuição e eficiência na partição de fotoassimilados. Diversas variáveis de crescimento têm sido utilizadas para avaliar o comportamento das espécies vegetais em relação à luz, sendo a altura, a produção de matéria seca, a área foliar e as relações entre a biomassa da parte aérea e radicular as variáveis mais frequentemente utilizadas. Desse modo, há um favorecimento do potencial fotossintético total, com a produção de maior quantidade de fotoassimilados, facilitando o particionamento de matéria seca para os outros órgãos da planta (Globig et al., 1997). Um índice fisiológico marcadamente influenciado pelas condições luminosas às quais a planta está submetida é a área foliar específica (AFE). O incremento da superfície foliar conduz a melhores intercepções de luz e, conseqüentemente, a uma maior taxa de crescimento (Benincasa, 1988).

Diversos estudos de crescimento de plantas têm sido realizados na busca pelo conhecimento da ecofisiologia de diferentes espécies submetidas a diferentes condições de luminosidade, seja pelo controle da radiação incidente, por meio do emprego de lâmpadas de diferentes comprimentos de ondas ou

câmaras de crescimento (Cooper, 1967; Jeangros & Nosberger, 1992; Cooley et al., 2000; Musil et al., 2002), ou pelo uso de telados ou plásticos redutores da radiação (Vlahos et al., 1991; Dale & Causton, 1992; Pushpakumari & Sasidhar, 1992; Farias et al., 1997; Muroya et al., 1997; Sharma, 1994). Devido à elevada sensibilidade à radiação solar direta, as mudas de café são cultivadas sob malhas que produzem sombreamento, sendo as pretas as mais utilizadas. Estas reduzem a incidência de radiação nas plantas e não influem sobre sua qualidade de luz. Como a presença das malhas é necessária para o cultivo, podem-se obter vantagens específicas com a utilização de malhas diferenciadas, com propriedades ópticas especiais, que podem modificar a composição da luz que passa para as plantas, melhorando o rendimento dos cultivos (Oren-Shamir et al., 2001).

As malhas coloridas constituem um elemento novo no cultivo protegido, provocando reações morfológicas e fisiológicas específicas, melhorando a eficiência do cultivo e apresentando resultados qualitativos e econômicos satisfatórios (Shahak et al., 2002), que dependem do cultivo protegido em alguma fase de seu desenvolvimento (Oren-Shamir et al., 2001).

Para a cultura do cafeeiro inexistem estudos com o objetivo de verificar a influência da coloração das malhas do telado do viveiro no desenvolvimento das plantas. Entretanto, para cultivo de *Pittosporum variegatum*, Oren-Shamir et al. (2001) verificou que a malha vermelha 50% proporcionou a formação de galhos bem mais longos em comparação com a malha preta, e a malha azul 50% proporcionou um desenvolvimento mais lento, com produção de plantas com galhos mais curtos. Da mesma forma, Shahak et al. (2002), em cultivo de *Aralia sp.*, *Monstera deliciosa*, *Aspidistra elatior* e *Asparagus sp.*, observaram uma aceleração do crescimento vegetativo sob a malha vermelha, e atraso no crescimento sob a malha azul.

No cultivo das forrações *Impatiens walleriana* e *Viola x witrockiana*, com sombreamento de 40% (malha vermelha e azul), a pleno sol e sob plástico, os resultados sob malha azul apresentaram-se superiores, mas as plantas cultivadas sob malha vermelha apresentaram maior precocidade de florescimento (Cuquel et al., 2003). Em experimentos com *Zantedeschia* sp., sob a malha vermelha 40% de sombreamento, tanto o número de folhas como o número de flores foram superiores, indicando que a malha vermelha parece ter mais efeito na produtividade e altura de hastes (Fagnani & Leite, 2003).

As respostas apresentadas pelas plantas à variação na disponibilidade de luz costumam envolver, ainda, alterações nas características das folhas relacionadas ao teor de clorofila e carotenóides. Diversos fatores externos e internos afetam a biossíntese de clorofilas; por isso, os seus conteúdos foliares podem variar de maneira significativa. Entre estes fatores, a luz é essencial a sua síntese (Whatley & Whatley, 1982). A clorofila está sendo constantemente sintetizada e destruída (fotooxidação) em presença de luz, porém sob intensidades luminosas mais elevadas ocorre maior degradação, e o equilíbrio é estabelecido a uma concentração mais baixa. Segundo alguns autores, como Ferraz & Silva (2001), geralmente a clorofila e os carotenóides tendem a aumentar com a redução da intensidade luminosa. Entretanto, Engel & Poggiani (1991) encontraram diferenças para algumas espécies.

Os carotenóides são tetraterpenos de cores vermelha, amarela e laranja que agem como pigmentos acessórios na fotossíntese e protegem os tecidos fotossintéticos contra a fotoxidação. Além de sua função como pigmento acessório, pela capacidade em absorver radiação a comprimentos de onda diferentes dos captados pela clorofila, desempenham um papel essencial na fotoproteção (Taiz & Zeiger, 2009).

Os efeitos da qualidade da luz sobre o crescimento e desenvolvimento se manifestam precocemente sobre as plantas, antes de qualquer redução na

radiação fotossinteticamente ativa (Ballaré et al., 1987). Isso porque os sinais de luz percebidos pelo fitocromo desempenham função na detecção do grau de competição que as plantas irão encontrar, principalmente quando a competição tende a ser intensa (Schmitt & Wulff, 1993).

Para otimizar a captação da energia luminosa para a fotossíntese, as plantas desenvolveram uma série de fotorreceptores que regulam seu crescimento e desenvolvimento em relação à presença, quantidade, direção, duração e qualidade da radiação luminosa incidente (Morini & Muleo, 2003). Apesar da confirmação dos efeitos da qualidade da luz sobre as plantas, inclusive em nível anatômico (Lee et al., 2000; Schuerger et al., 1997), as respostas são muito variáveis em função das espécies (Kim et al., 2004) necessitando, portanto, do conhecimento de quais porções do espectro estão envolvidas nas respostas de cada planta (McMahon & Kelly, 1995).

Segundo Grinberger et al. (2000), técnicas de alteração espectral pelo uso de malhas coloridas são bastante promissoras no desenvolvimento das plantas, principalmente em relação aos efeitos morfoanatômicos e fisiológicos, melhorando a penetração da luz no dossel (Shahak et al., 2004). As malhas coloridas são usadas, geralmente, para proteger as culturas da radiação solar excessiva ou perigos ambientais, modificando a especificidade da luz solar, concomitantemente com a melhoria do microclima. Os benefícios dessas malhas visam melhorar o crescimento, o rendimento, a qualidade e o desempenho total das plantas, refletindo na produção vegetal e todos os seus componentes.

Os principais carboidratos, não-estruturais, acumulados em folhas e frutos de cafeeiro são o amido e os açúcares solúveis redutores e não-redutores. Entre os açúcares redutores, os principais são a glicose e frutose, enquanto o principal açúcar não-redutor é a sacarose, mobilizado nos processos de transporte na direção fonte/dreno (Taiz & Zeiger, 2009). Enzimas do metabolismo dos carboidratos, como a invertase e a sacarose sintase (SuSy) tem papel importante

no metabolismo celular por fornecer hexoses que são utilizadas como fonte de carbono. De acordo com estes autores, a hidrólise da sacarose pode ocorrer via invertase e ou SuSy. A quebra da sacarose pela invertase é um processo irreversível e totalmente dependente da concentração intracelular de sacarose. A distinção entre os diferentes tipos de sacarose baseia-se na sua localização celular e no seu pH de atividade ótima, dividindo-se em ácidas e básicas.

A compreensão da alocação de fotoassimilados do cafeeiro pode ser importante para a identificação dos períodos de maior demanda destes durante o estágio reprodutivo (Rena & Maestri, 1985). Com essa informação, seria possível maximizar, por meio de práticas culturais, a produção de fotoassimilados nos períodos mais críticos, de forma que a planta viesse a produzir carboidratos em quantidades suficientes para o desenvolvimento dos frutos e para manutenção do crescimento vegetativo, reduzindo a bienalidade de produção (Carvalho et al., 1993; Laviola et al., 2007).

Como observado, poucos ou inexpressivos são os trabalhos que visam explicar os parâmetros fisiológicos associados aos mecanismos de aclimação de mudas de café à disponibilidade de luz. Estas malhas representam então um novo conceito agrotecnológico, que tem como finalidade combinar a proteção física, junto com a filtração diferencial da radiação solar para especificamente promover as respostas fisiológicas que são reguladas pela luz (Brant et al., 2009; Souza, 2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo nos meses de agosto a dezembro, no Setor de Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Lavras, em Lavras, Minas Gerais. Para tanto, mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Catucaí amarelo 2SL, foram produzidas na Fazenda da Lagoa no Município de Santo Antônio do Amparo, Minas Gerais, para o Setor de Fisiologia Vegetal, Departamento de Biologia, Universidade Federal de Lavras (UFLA) em Lavras, Minas Gerais. Estas mudas, no estágio “orelha de onça”, foram plantadas em sacolas plásticas com dimensões de 11 x 22 cm recebendo todos os tratamentos culturais de acordo com as *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais* (Ribeiro et al., 1999). As mudas, durante o tempo que permaneceram sob estas estruturas, receberam irrigações diárias, mantendo o substrato próximo à capacidade de campo e tratamentos culturais recomendados.

No campo (Figura 1), as mudas foram acondicionadas, lado a lado, no interior de armações de ripas de madeira no formato de cubo nas dimensões 50x70x100 cm, cobertas individualmente com malhas ChromatiNET nas cores preta, branca, cinza, vermelha e azul, as quais proporcionaram um nível de sombreamento de 50% de transmitância na região fotossinteticamente ativa (RFA), caracterizando assim cinco tratamentos que foram dispostos em blocos ao acaso com cinco repetições. Cada estrutura, contendo 14 mudas, foi espaçada uma da outra de modo a não sofrer sombreamento.

As malhas coloridas, segundo o fabricante Polysack Plastic Industries, alteram o espectro de luz solar por elas transmitidas do seguinte modo:

- *Malha vermelha*: possui uma maior transmitância em comprimentos de onda acima de 590nm (vermelho) e um pico menor em torno de 400nm (violeta), reduzindo ondas azuis, verdes e amarelas.

- *Malha azul*: azul transmite luz de uma banda larga em 470nm (azul), além de outros picos na região do vermelho distante e infravermelho (acima de 750nm).

- *Malha cinza*: a distribuição da luminosidade é causada pela refração da luz direta.

- *Malha preta*: neutra

- *Malha branca* : não interfere no espectro da luz.



FIGURA 1 Área experimental com as estruturas cobertas por malhas fotoconversoras de diferentes cores

As avaliações foram efetuadas no momento em que as mudas de determinado tratamento apresentaram dois pares de folhas completamente

expandidas (mês de agosto) e seis pares de folhas completamente expandidas (mês de dezembro). Os resultados foram avaliados por análise de variância (ANAVA) e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$), utilizando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 1999).

3.1 Crescimento das plantas

- *Altura das Plantas*: medida a partir do colo das plantas até a gema apical.
- *Área foliar*: estipulada pela fórmula $AF = [(comprimento \times largura) \times 0,667] \times 2$ (Gomide et. al., 1977; Barros et. al, 1973).
- *Massa seca de raiz, caule, folha, e massa seca total*: amostras secas em estufa de ar circulado, a 60°C, até peso constante.
- *Número de pares de folhas*: contagem direta.
- *Razão de Área Foliar (RAF)*: determinada, conforme Magalhães (1979), através da razão entre os valores da área foliar total e massa seca total, obtidos em cada amostragem para as diferentes cultivares:

$$RAF = AF_{total}/MS_{total}.$$

- *Taxa de Assimilação Aparente (TAA)*: este parâmetro é calculado, conforme Magalhães (1979), através da razão entre a massa seca total de duas amostragens sucessivas (P_2 e P_1) e o intervalo de tempo (t_2 e t_1) entre essas duas amostragens, correlacionados com a razão entre o logaritmo natural da área foliar duas amostragens sucessivas (A_2 e A_1) e os dados brutos da área foliar duas amostragens sucessivas (A_2 e A_1) entre essas duas amostragens;

$$TAA = P_2 - P_1 / t_2 - t_1 \times \ln A_2 - \ln A_1 / A_2 - A_1 .$$

3.2 Clorofilas

Os teores de clorofila total foram avaliados em extratos obtidos após a maceração de 0,1 g de matéria fresca de folhas. As amostras foram maceradas

em almofariz com 5 mL de acetona (80%), sendo o extrato filtrado e o volume completado para 10 mL, em sala escura mantida com luz verde. Leituras dos extratos foram realizadas nos comprimentos de onda de 663 e 645 nm para clorofila a e b, respectivamente. O teor de clorofila total foi calculado conforme metodologia de Arnon (1949).

3.3 Carotenóides

A extração e a quantificação dos carotenóides foram determinadas segundo a metodologia descrita por Duke & Kenyon (1986), em que se utilizou 0,5 gramas de folhas que foram coletadas e imediatamente acondicionadas em papel alumínio, as quais foram mantidas sob refrigeração. Os teores de carotenóides foram quantificados utilizando os coeficientes de absorvidade molar de Sandmann & Borger (1983), realizando-se a leitura espectrofotométrica a 445 nm.

3.4 Análises bioquímicas (açúcares solúveis totais, e amido)

Os carboidratos solúveis foram extraídos da massa seca de folhas e raízes pela homogeneização de 50 mg de tecido em 2 mL de água, seguido de banho-maria por 30 minutos a 40°C. O homogenato foi centrifugado a 5.000 g por 10 minutos, coletando-se o sobrenadante. O processo foi repetido por duas vezes e os sobrenadantes, combinados. Para a extração do amido, o pellet foi novamente ressuspensionado com 8 mL do tampão acetato de potássio 200 mM, pH 4,8 e colocado em banho-maria (100°C) por 5 minutos. Em seguida foram adicionadas 16 unidades da enzima amiloglucosidase, e novamente incubado em banho-maria a 40°C por duas horas. Após a centrifugação a 5.000 g por 20 minutos, o sobrenadante foi coletado e o volume completado para 15 mL.

Para a quantificação dos açúcares solúveis totais e do amido foi utilizado o método da Antrona (Dische, 1962).

3.5 Análises enzimáticas

- *Invertases* e SuSy: A atividade das enzimas invertases e da SuSy foram avaliadas pelo método “in vivo” (Cairo, 2007). Para tanto, foram coletadas amostras de folhas que foram imediatamente armazenadas a -80°C , para posterior análise.

O material vegetal oriundo de tecidos de folha foi cortado em pequenos fragmentos, com tamanho médio aproximado de 2 mm. Amostras de 200 mg foram adicionadas a meios de reação (2 mL) para invertase (ácida e neutra) e sacarose sintase (SuSy), constituídos de reagentes específicos para a realização do ensaio de cada enzima.

O meio de reação para a invertase ácida foi constituído de 200 μL de tampão acetato de sódio pH 4,7 1,0 M, 100 μL de MgCl_2 0,1 M e 400 μL de sacarose 1,0 M, sendo o restante do volume completado com água até totalizar 2.000 μL . O meio de reação para a invertase neutra foi semelhante ao da invertase ácida, exceto em relação ao tampão e ao pH, que foram substituídos por fosfato de potássio 0,1 M e pH 7,5. Ambos os ensaios foram mantidos em banho-maria, a 37°C , durante 60 minutos.

O meio de reação para a SuSy foi constituído de 300 μL de tampão HEPES-KOH pH 6,0 1,0 M, 150 μL de MgCl_2 0,1 M, 150 μL de UDP 0,1 M e 600 μL de sacarose 1,0 M, sendo o restante do volume completado com água até totalizar 2.000 μL . O ensaio foi mantido em banho-maria, a 25°C , durante 60 minutos. Alíquotas de 100 μL de cada meio de reação foram coletadas aos 10 e 70 minutos de reação (intervalo de 1 hora), adicionadas em tubo de ensaio contendo 200 μL de reagente de ácido dinitrosalicílico (DNS) e 100 μL de água, o qual foi imediatamente submetido à fervura por 10 minutos. Após a fervura, adicionou-se mais água, completando o volume para 2.000 μL . As leituras espectrofotométricas foram realizadas a 540 nm.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise de crescimento

O crescimento das mudas, avaliado quando apresentavam dois e seis pares de folhas, variou em função do ambiente em que eram cultivadas. Enquanto as plantas apresentaram maior massa seca de folhas (Figura 2A) quando sombreadas com malhas da cor vermelha, as massas secas de caule (Figura 2B), raízes (Figura 2C) e total (Figura 2D) não variaram com os tratamentos. Com seis pares de folhas, as malhas vermelha e preta foram as mais eficientes em aumentar a matéria seca das folhas. A primeira malha também se destacou por ter proporcionado maior incremento da matéria seca total das plantas (Figura 2D), sendo favorecida pela maior massa seca das folhas neste ambiente. As demais características não variaram com o tratamento. Ao se analisar a relação matéria seca parte aérea: raiz, verifica-se um investimento crescente no crescimento da parte aérea das mudas de seis pares de folhas, segundo a sequência azul, branca, cinza, preta e vermelha (Figura 3). Os dados indicam uma alocação preferencial de massa seca para a parte aérea das mudas sob a malha vermelha em comparação àquelas mantidas sob as demais cores. Thompson et al. (1992) e Walters et al. (1993) sugerem que a menor distribuição de matéria seca para raízes quando as plantas são submetidas a condições de menor luminosidade provavelmente revela uma resposta adaptativa que proporciona maiores ganhos de carbono, como um aumento na razão de área foliar, ou que reflita numa estratégia buscando luminosidade, como um aumento na altura.

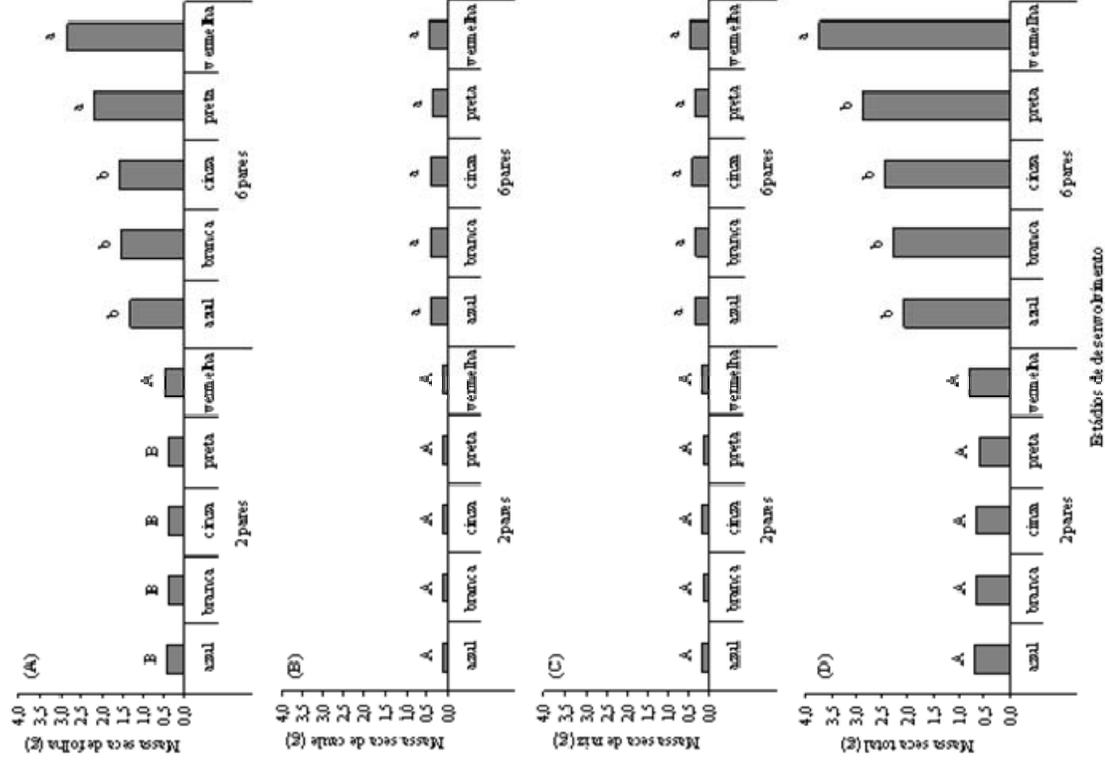


Figura 2 Massa seca de folha (A), caule (B), raiz (C) e total (D) de mudas de café cultivadas sob diferentes colorações de malhas. Letras maiúsculas comparam médias dos tratamentos dentro da primeira avaliação (plantas com dois pares de folhas), enquanto letras minúsculas comparam médias dos tratamentos dentro da segunda avaliação (plantas com seis pares de folhas), com base no teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

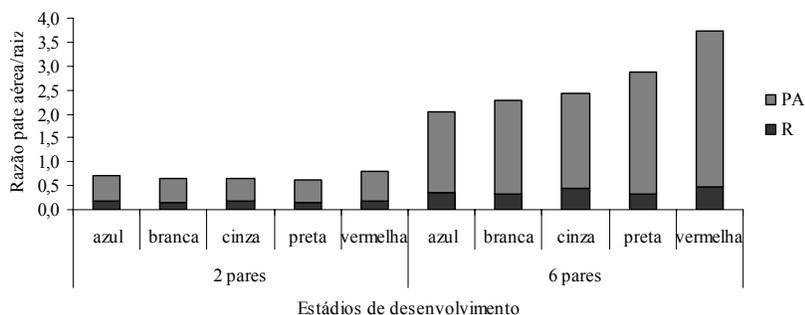


FIGURA 3 Razão de parte aérea/raiz de mudas de café cultivadas sob diferentes colorações de malhas

Em relação à razão de área foliar (RAF), verifica-se que as mudas sob malhas branca, preta e vermelha apresentaram os menores valores (Figura 4). Segundo Magalhães (1979), a RAF é a medida da dimensão do aparelho assimilador, e serve como parâmetro apropriado para as avaliações de efeitos climáticos e do manejo de comunidades vegetais. Este parâmetro expressa a área foliar útil para a fotossíntese. É um componente morfo-fisiológico, pois é a razão entre a área foliar (área responsável pela absorção de luz e CO₂) e a massa seca total (resultado da fotossíntese líquida). Neste caso, percebe-se que sob malha branca, preta e vermelha, foram necessárias menores áreas de folhas para produzir 1g de massa seca. Como a última malha foi a que proporcionou maior crescimento das plantas, conclui-se que folhas sob esta malha apresentam um aparelho assimilador de CO₂ mais aperfeiçoado ou se valeu da maior disponibilidade de radiação vermelha que, sabidamente, é mais eficiente para o desempenho da etapa fotoquímica da fotossíntese.

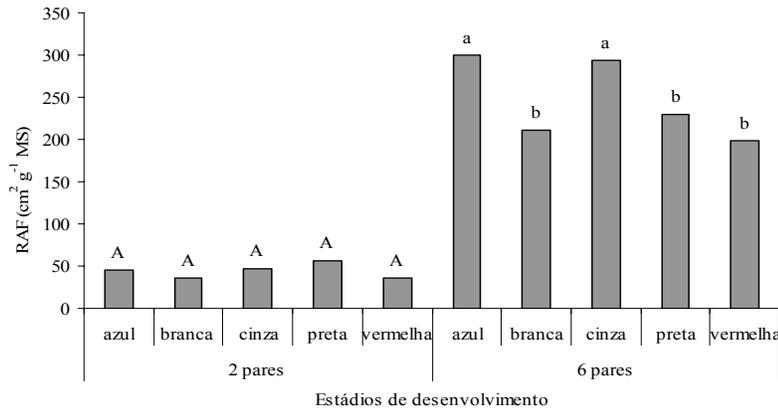


FIGURA 4 Razão de área foliar de mudas de cafeeiro cultivadas sob diferentes colorações de malhas. Letras maiúsculas comparam médias dos tratamentos dentro da primeira avaliação (plantas com dois pares de folhas), enquanto letras minúsculas comparam médias dos tratamentos dentro da segunda avaliação (plantas com seis pares de folhas), com base no teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

No que se refere à taxa de assimilação aparente (TAA), foi a mesma para todas as mudas, independentemente da coloração da malha de sombreamento (Figura 5). A TAA expressa a taxa de fotossíntese líquida, ou seja, o balanço entre o material produzido pela fotossíntese e as perdas devido à respiração (Magalhães, 1979). Portanto, a ausência de diferenças significativas entre as cinco malhas sugere que os fatores limitantes como alta insolação e temperatura elevada foram eliminados pelo sombreamento. Este microclima mais ameno se sobrepôs à influência da coloração da malha.

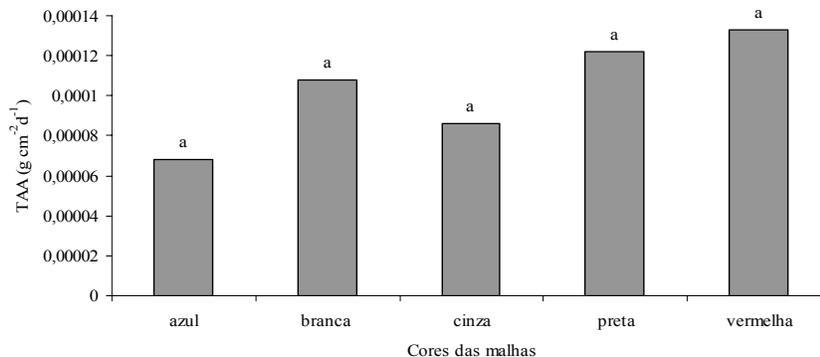


FIGURA 5 Taxa assimilatória aparente em mudas de cafeeiro cultivadas sob diferentes colorações de malhas, referente ao período de 120 dias. As letras comparam as médias dos tratamentos, com base no teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

Ao final do experimento, as malhas vermelha, preta e azul proporcionaram os maiores crescimentos em altura (Tabela 1). Enquanto o número de folhas não variou entre os tratamentos, a área foliar foi significativamente maior com as plantas sob malha vermelha, seguida das malhas cinza, azul e preta que não diferiram entre si. A malha de coloração branca foi a que proporcionou um menor incremento da área foliar.

De maneira geral, verifica-se que, dentre as cinco malhas utilizadas neste experimento, a de coloração vermelha foi a mais eficiente na promoção do crescimento e desenvolvimento das mudas de café. Das oito características em estudo, esta coloração de malha se destacou em cinco (matéria seca das folhas e total, relação parte/aérea/raiz, altura das plantas, e área foliar). A malha preta foi a segunda mais eficiente se destacando em duas características avaliadas (matéria seca das folhas e altura). Segundo o fabricante, a malha vermelha possui uma maior transmitância em comprimentos de onda acima de 590 nm (vermelho). De acordo com Taiz & Zeiger (2009), esta é uma estratégia adaptativa que pode proporcionar melhor captura de luz e permitir maior

eficiência fotossintética para maiores ganhos de carbono devido à maior área foliar para captação da energia luminosa.

Devido à elevada sensibilidade à radiação solar direta, as mudas de café são cultivadas sob malhas que produzem sombreamento, sendo as pretas as mais utilizadas por reduzirem a incidência de radiação nas plantas. Estas malhas, no entanto, interferem na qualidade da luz, pois diminuem a incidência de radiação UV, azul, verde e vermelho, e da relação vermelho: vermelho distante no interior do dossel das plantas de macieira (Amarante et al., 2007). Estes autores afirmam que a qualidade, além da quantidade de radiação incidente nas plantas de macieira é profundamente afetada por este tipo de malha. Segundo os autores, a redução na intensidade e na qualidade da luz, ocasionada pela tela preta, resulta em aumento no teor de clorofila total e na área específica nas folhas e redução na taxa fotossintética potencial, o que leva à redução no peso das maçãs.

As malhas coloridas constituem um elemento novo no cultivo protegido e, para a cultura do café não existem estudos que comprovem a influência da coloração das malhas do telado do viveiro no desenvolvimento das plantas. No entanto, para diversas espécies, as pesquisas revelam que, sob malhas vermelhas, as plantas apresentaram maiores taxas de crescimento e desenvolvimento em relação ao sombreamento com malha azul ou preta (Oren-Shamir et al., 2001; Fagnani & Leite, 2003; Shahak et al., 2004). Da mesma forma, Almeida & Mundstock (2001) verificaram melhoria da qualidade da luz, obtida pela adição de luz vermelha, o que proporcionou maior acúmulo de matéria seca em todas as partes das plantas de trigo. Por outro lado, existem também relatos na literatura mostrando que a utilização de malhas no cultivo favorece o crescimento das plantas, independentemente da cor (Brant et al., 2009; Meirelles, 2009).

Ainda não está bem esclarecida a razão das alterações que ocorrem na alocação de fitomassa entre os órgãos da planta em resposta a alterações espectrais. A maioria dos relatos aponta o fitocromo, um pigmento protéico, que

absorve luz mais fortemente na região do vermelho e vermelho-distante e em menor intensidade, a luz azul (Arnim & Deng, 1996; Wei & Deng, 1996). Em plantas, o fitocromo co-existe em duas formas interconversíveis: uma que absorve a luz vermelha – Pr - e outra que absorve a luz vermelho-distante – Pfr - (Taiz & Zeiger, 2009). A forma do fitocromo Pr é convertida pela luz vermelha para Pfr e este por sua vez pode ser convertido de volta a Pr pela luz vermelho-distante. À medida que aumenta o sombreamento no dossel das plantas, ocorre uma maior proporção de luz vermelho-distante convertendo assim mais Pfr em Pr, induzindo as plantas a alocar maior parte de seus recursos para o crescimento em altura (Ballaré et al., 1990; Taiz & Zeiger, 2009). Plantas que exibem este comportamento são ditas “planta de sol”.

O cafeeiro, pela sua origem, é considerado uma cultura de sombra, embora cresça e produza abundantemente em ambientes ensolarados (DaMatta & Rena, 2001). Portanto, a constatação de que mudas de café apresentaram maior crescimento sob malha de coloração vermelha (Tabela 1) pode ser tomada como uma indicação do envolvimento do fitocromo na percepção da sombra em cafeeiro. Assim sendo, mudas de café se comportam tipicamente como “planta de sol” ao direcionar a alocação de seus recursos em direção a um crescimento mais rápido da parte aérea. Plantas com parte aérea bem desenvolvida melhoram suas chances de absorver radiação fotossinteticamente ativa e desta forma a manutenção de um crescimento mais vigoroso. Cafeeiros adultos em condições naturais de campo parecem se valer desta propriedade e passam a exibir um rápido crescimento em altura evitando o auto-sombreamento, principalmente em plantios adensados. Não se pode descartar, no entanto, a diminuição da radiação de comprimento de onda na região do azul imposta pelas malhas vermelhas. Esta queda na luz azul acelera o crescimento do caule. Este efeito, que não é mediado pelo fitocromo ou pelos pigmentos fotossintéticos, provavelmente esteja

envolvido com a ação de fotorreceptor para luz azul (Kaufman, 1993; Ballaré et al., 1991; Almeida & Mundstock, 1998).

Além do envolvimento dos fitocromos na percepção da luz vermelha, já está bem estabelecido que as folhas verdes, devido às clorofilas, absorvem predominantemente luz na região do azul e do vermelho (Thornber, 1975). A luz vermelha, ao incidir nas folhas, é capturada por um “pool” de clorofilas, denominado complexo antena ou fotossistemas I e II que, ao operar em série, permitem que ocorra o armazenamento de energia da fotossíntese. O fotossistema I absorve preferencialmente a luz na faixa do vermelho-distante, enquanto o fotossistema II absorve na faixa do vermelho. Portanto, quando as folhas recebem estes dois tipos de luz, como é o caso que acontece com aquelas sombreadas com malha de coloração vermelha, melhoram substancialmente sua taxa fotossintética. No entanto, não se pode descartar outros fatores, uma vez que a melhoria na alocação de matéria seca quando é alterada a qualidade de luz não está ainda esclarecida. Almeida & Mundstock (2001) relatam que possivelmente haja a participação de genes que modificam as relações entre reguladores de crescimento. Entre os reguladores, possivelmente esteja envolvido o ácido indolacético, por alterar a dominância apical (Abel & Theologis, 1996), a giberelina, por alterar o alongamento celular (Reed et al., 1996) e a citocinina, por estimular a iniciação da divisão celular (Wang & Below, 1996).

TABELA 1 Altura, número de folhas e área foliar de plantas de cafeeiro cultivadas sob diferentes colorações de malhas.

Malhas	Altura (cm)	Número de folhas	Área foliar (cm ²)
Branca	9.27 b	7.41 a	214.27 c
Cinza	9.42 b	7.42 a	284.38 b
Preta	10.05 a	7.42 a	287.84 b
Azul	10.53 a	7.51 a	303.42 b
Vermelha	10.93 a	7.55 a	339.22 a

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

4.2 Conteúdo de clorofilas e carotenóides

À exceção da malha cinza, que proporcionou um menor teor de clorofila “a” nas folhas, as demais colorações das malhas não influenciaram os teores de clorofilas (Figura 6). Já os teores de carotenóides não variaram entre os tratamentos (Figura 7). Amarante et al. (2007) verificaram que o sombreamento das plantas com telado preto foi eficiente em aumentar o teor de clorofila foliar em relação àquelas plantas cultivadas a céu aberto. Esta adaptação foliar ao sombreamento, no entanto, ocasionou redução nos valores de fotossíntese máxima, em função de limitações impostas pelas reações de carboxilação. No caso presente, as folhas de todas as mudas, independentemente da coloração da malha, apresentavam-se com uma coloração verde brilhante. Como a coloração da malha não influenciou os teores foliares de clorofilas e carotenóides, sugere-se que o sombreamento “*per si*” manteve as temperaturas no dossel das plantas em níveis mais adequados à síntese de pigmentos que à sua degradação. Quanto à fotossíntese, apesar de não ter sido avaliada especificamente a taxa fotossintética, foi possível verificar, através do acúmulo de massa seca, que ela

foi favorecida, principalmente sob malhas de coloração vermelha e azul. Esta observação tem suporte nas observações de Almeida & Mundstock (2001) que relataram que a melhoria da qualidade da luz pela emissão de luz vermelha aumentou a produção de matéria seca das plantas em vista da melhoria de componentes da maquinaria fotossintética.

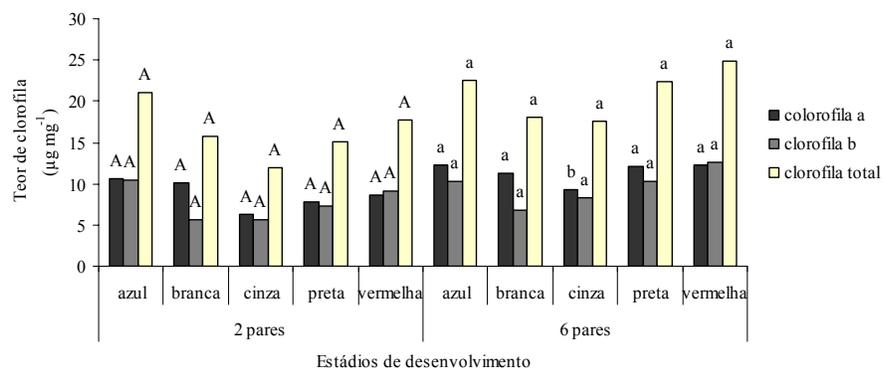


FIGURA 6 Teores de clorofilas a, b e total de mudas de cafeeiro cultivadas sob malhas de diferentes colorações. Letras maiúsculas comparam médias dos tratamentos dentro da primeira avaliação (plantas com dois pares de folhas), enquanto letras minúsculas comparam médias dos tratamentos dentro da segunda avaliação (plantas com seis pares de folhas), com base no teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

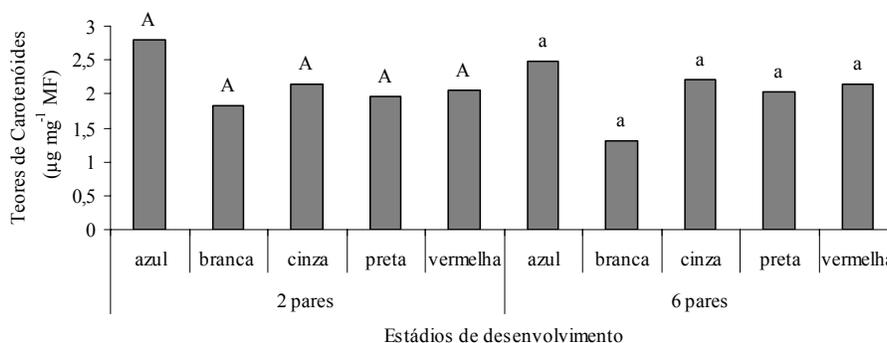


FIGURA 7 Teores de carotenóides de mudas de cafeeiro cultivadas sob diferentes malhas coloridas. Letras maiúsculas comparam médias dos tratamentos dentro da primeira avaliação (plantas com dois pares de folhas), enquanto letras minúsculas comparam médias dos tratamentos dentro da segunda avaliação (plantas com seis pares de folhas), com base no teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

4.3 Teores de carboidratos

Nas plantas com dois pares de folhas, enquanto os teores de AST foliar foram maiores quando as mudas estavam sob malha azul ou vermelha (Figura 8A), os de amido não variaram com o tratamento (Figura 8B). Já em mudas com seis pares de folhas, malha de coloração vermelha proporcionou maiores teores desses carboidratos. A malha azul foi a segunda mais eficiente e a malha branca foi a que proporcionou os menores valores. Nas raízes, diferenças significativas somente foram encontradas para os teores de AST quando as mudas estavam sob malha vermelha (Figura 9A). Em relação ao amido radicular, de maneira geral, as malhas vermelha e preta foram mais eficientes em aumentar os teores deste carboidrato quando comparadas com as demais (Figura 9B). Já está estabelecido que as luzes azul e vermelha sejam as mais efetivas em aumentar a fotossíntese. Portanto, os maiores teores de carboidratos em folhas de mudas de café sob esses dois tipos de malha sugerem uma fotossíntese mais eficiente nestas condições.

Em diversas culturas já foi mostrado que as luzes vermelha e azul alteram a morfologia e anatomia foliar, favorecendo potencialmente a fotossíntese. Em plantas de alface-cravo a radiação espectral transmitida pela malha vermelha resultou em menor densidade estomática na face adaxial, enquanto que na face abaxial as maiores densidades estomáticas foram verificadas nos tratamentos sob malhas vermelha e preta (Martins et al., 2009).

Segundo estes autores, o aumento da densidade estomática está geralmente relacionado com uma maior condutância estomática (Justo et al., 2005), evitando que a fotossíntese seja limitada sob condições adversas (Lima Júnior et al., 2006).

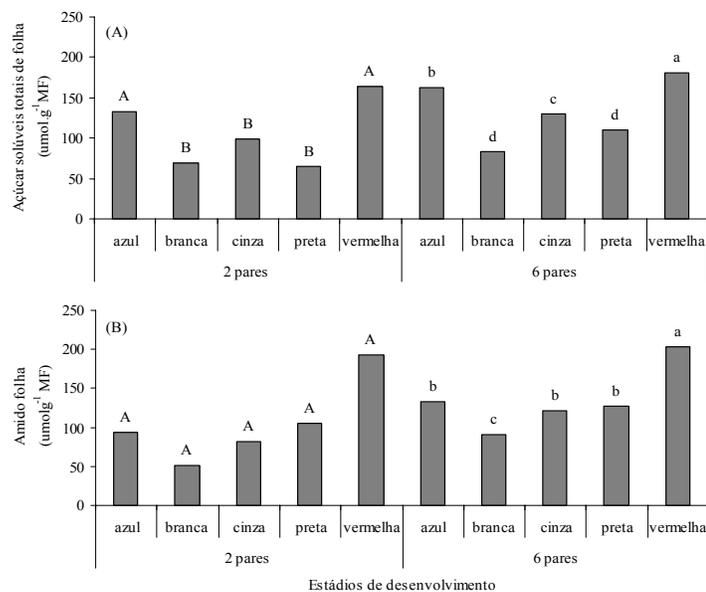


FIGURA 8 Teores de açúcares solúveis totais (A), amido (B) em folhas de mudas de café cultivadas sob diferentes colorações de malhas. Letras maiúsculas comparam médias dos tratamentos dentro da primeira coleta (plantas com dois pares de folhas), enquanto letras minúsculas comparam médias dos tratamentos dentro da segunda coleta (plantas com seis pares de folhas), com base no teste de Skott-Knott ($p \leq 0,05$)

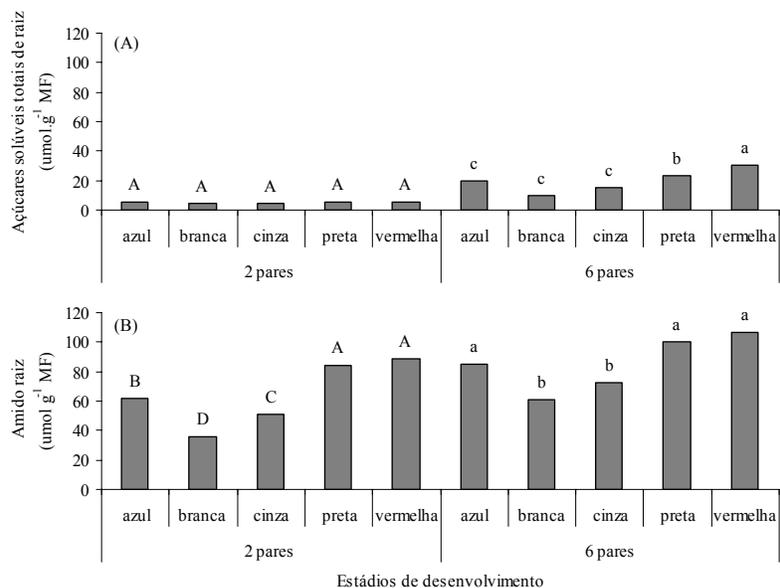


FIGURA 9 Teores de açúcares solúveis totais (A), amido (B) em raízes de mudas de cafeeiro cultivadas sob diferentes colorações de malhas. Letras maiúsculas comparam médias dos tratamentos dentro da primeira avaliação (plantas com dois pares de folhas), enquanto letras minúsculas comparam médias dos tratamentos dentro da segunda avaliação (plantas com seis pares de folhas), com base no teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

4.4 Atividade da sacarose sintase (SuSy) e invertases

Com dois pares de folha, não foram verificadas diferenças entre os tratamentos quando se comparam as atividades foliar da SuSy (Figura 10) e invertase neutra (Figura 11). Já a invertase ácida foi menor quando as mudas estavam sob malhas preta ou vermelha. O mesmo fenômeno ocorreu para mudas de seis pares de folhas. No caso das mudas com seis pares de folhas, enquanto a atividade da invertase ácida não variou com os tratamentos, a SuSy apresentou-se mais ativa nas mudas cultivadas sob malhas de cor vermelha.

No caso presente, onde mudas de café estavam crescendo sob malhas de coloração vermelha, constatou-se, de maneira geral, um maior teor de açúcares solúveis totais e amido tanto nas folhas quanto nas raízes (Figuras 8 e 9). Como nestes tecidos também foram constatados altos teores de açúcares redutores (dados não apresentados), é possível que a sua presença esteja relacionada com as atividades da SuSy e invertase neutra. Em tecidos vegetais, o processo inicial para a utilização da sacarose é a sua clivagem por meio das enzimas invertases ou SuSy, resultando na produção de hexoses- glicose ou UDP- glicose, respectivamente, que são essenciais como fontes de energia, produto primário para a síntese de diferentes produtos de reserva e para atender a demanda de crescimento dos tecidos. A invertase ácida (IA) parece controlar a rota primária de clivagem da sacarose em tecidos em expansão (Winter & Huber, 2000) e em tecidos maduros (Copeland, 1990) e contribui para o fluxo de hexoses através do tonoplasto e para a entrada de hexoses no metabolismo citoplasmático. A IN é considerada uma enzima de manutenção, envolvida na degradação da sacarose quando as atividades da invertase ácida da parede celular e SuSy são baixas (Copeland,1990).

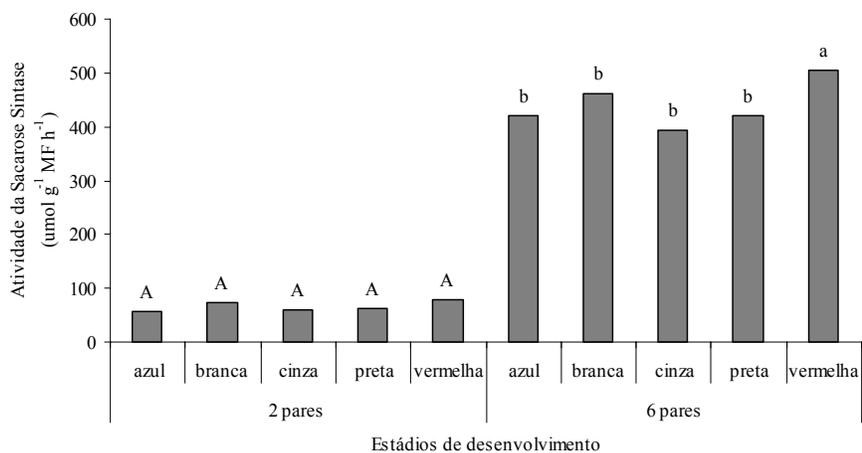


FIGURA 10 Atividade da sacarose sintase (SuSy) em folhas de mudas de cafeeiro cultivadas sob diferentes colorações de malhas. Letras maiúsculas comparam médias dos tratamentos dentro da primeira avaliação (plantas com dois pares de folhas), enquanto letras minúsculas comparam médias dos tratamentos dentro da segunda avaliação (plantas com seis pares de folhas), com base no teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

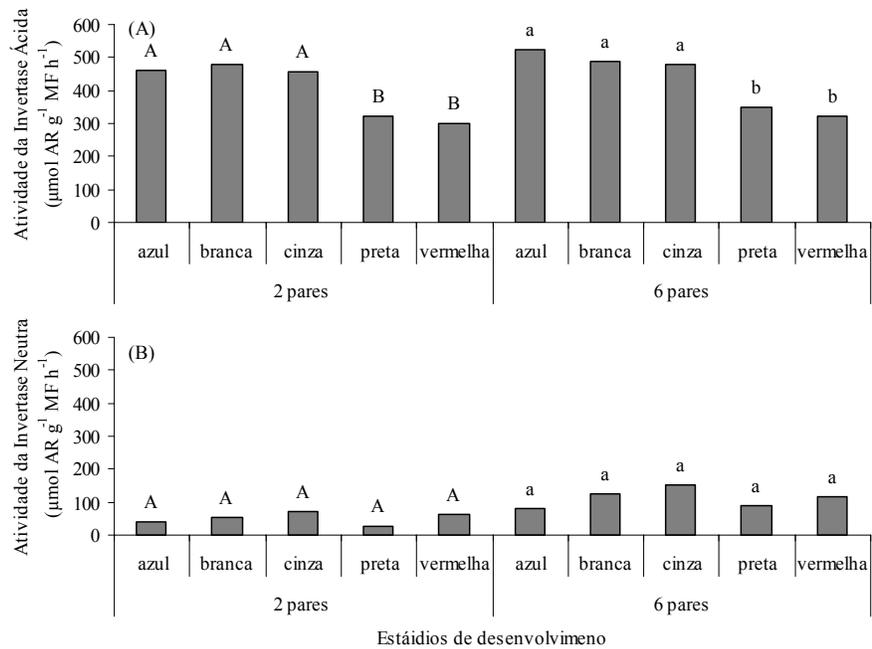


FIGURA 11 Atividade das invertases ácida (A) e neutra (B) em folhas de mudas de cafeeiro sob diferentes colorações de malhas. Letras maiúsculas comparam médias dos tratamentos dentro da primeira avaliação (plantas com dois pares de folhas), enquanto letras minúsculas comparam médias dos tratamentos dentro da segunda avaliação (plantas com seis pares de folhas), com base no teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

5 CONCLUSÕES

Partindo-se da hipótese de que alteração espectral da luz proporciona mudanças na fisiologia das plantas, objetivou-se neste estudo, associar os melhores atributos fisiológicos na produção de mudas de café ao uso de telados de cores preta, branca, cinza, vermelha e azul. Os resultados permitiram concluir que, para mudas com seis pares de folhas a malha vermelha foi a mais eficiente na promoção do crescimento e desenvolvimento das mudas. Das oito características em estudo, esta coloração de malha se destacou em cinco (matéria seca das folhas e total, relação parte/aérea/raiz, altura das plantas, e área foliar). A malha preta foi a segunda mais eficiente se destacando em duas características avaliadas (matéria seca das folhas e altura). Quanto à qualidade das mudas, tomando-se por base os carboidratos, verificam-se também folhas e raízes das mudas sob malha vermelha apresentaram maiores teores de açúcares solúveis totais e amido. Estes resultados permitem concluir ser vantajosa a formação de mudas de café sob telado de cor vermelha uma vez que as mudas se desenvolvem mais rapidamente e apresentam-se, no estágio com seis pares de folhas, mais vigorosas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEL, S.; THEOLOGIS, A. Early genes and auxin action. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 111, p. 9-17, 1996.
- ALMEIDA, M. L.; MUNDSTOCK, C. M. O. O afilhamento da aveia afetado pela qualidade da luz em plantas sob competição. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 3, 2001.
- ALMEIDA, M. L.; MUNDSTOCK, C. M. O afilhamento em comunidades de cereais de estação fria é afetado pela qualidade da luz? **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 28, n. 3, 1998.
- AMARANTE, C. V. T.; STEFFENS, C. A.; MOTA, C. S.; SANTOS, H. P. Radiação, fotossíntese, rendimento e qualidade de frutos em macieiras 'Royal Gala' cobertas com telas antigranizo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 7, p. 925-931, 2007.
- ARNIM, A.; DENG, X. W. Light control of seedling development. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 47, p. 215-243, 1996.
- ARNON, D. I. Cooper Enzymes in isolated Chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, Maryland, v. 24, n. 1, p. 1-15, Jan./Mar. 1949.
- ATROCH, E.; M. A. C.; SOARES, A. M.; ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M. Crescimento, teor de clorofilas, distribuição de biomassa e características anatômicas de plantas jovens de *Bauhinia forficata* submetidas a diferentes condições de sombreamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 4, p. 853-862, 2001.
- BALLARÉ, C. L.; CASAL, J. J.; KENDRICK, R. E. Responses of wild-type and lh mutant seedlings of cucumber to natural and simulated shadelight. **Photochemistry and Photobiology**, Augusta, v. 54, p. 819- 826, 1991.
- BALLARÉ, C. L.; SÁNCHEZ, R. A.; SCOPEL, A. L.; CASAL, A. L.; GHERSA, C. M. Early detection of neighbour plants by phytohormone perception of spectral changes in reflected sunlight. **Plant cell and Environment**, Oxford, v. 56, n. 7, p. 551-557, 1987.

BARROS, R. S.; MAESTRI, M.; VIEIRA, M.; BRAGA FILHO, L. J. Determinação da área de folhas do café (*Coffea arabica* L cv. 'Bourbon Amarelo'). **Ceres**, Viçosa, MG, v. 20, n. 107, p. 44-52, jan./mar. 1973.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**: noções básicas. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1988. 41 p.

BRANT, R. S.; PINTO, J. E. B. P.; ROSA, L. F.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; FERRI, P. H.; CORRÊA, R. M. Crescimento, teor e composição do óleo essencial de melissa cultivada sob malhas Fotoconversoras. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1401-1407, ago. 2009.

BRAUN, H.; ZONTA, J. H.; LIMA, J. S. S.; REIS, E. F. Produção de mudas de café 'conilon' propagadas vegetativamente em diferentes níveis de sombreamento. **Idesia**, Casilla, v. 25, n. 3, p. 85-91, 2007.

CAIRO, P. A. R. **Variação sazonal da atividade da rubisco e das enzimas de síntese e hidrólise da sacarose em plantas de seringueira: *Hevea brasiliensis*** (Willd ex. Adr. de Juss.) Muell-Arg, em Lavras, MG. 2007. 64 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CARVALHO, C. H. S.; RENA, A. B.; PEREIRA, A. A.; CORDEIRO, A. T. Relação entre produção, teores de N, P, K, Ca, Mg, amido e a seca de ramos do Catimor (*Coffea arabica* L.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 665-673, 1993.

COOLEY, N. M.; HOLMES, M. G.; ATTRIDGE, T. H. Outdoor ultraviolet polychromatic action spectra for growth responses of *Bellis perennis* and *Cynosurus cristatus*. **Journal of photochemistry and Photobiology B-Biology**, Lausanne, v. 59, n. 1, p. 64-71, Dec. 2000.

COOPER, C. S. Relative growth of alfafa and birdsfoot trefoil seedlings under low light intensity. **Crop Science**, Madison, v. 7, n. 3, p. 176-178, May/June 1967.

COPELAND, L. Enzymes of sucrose metabolism. In: LEA, P. J (Ed.). **Methods of plant biochemistry**: enzymes of primary metabolism. London: Academic, 1990. p. 73- 85.

CUQUEL, F. L.; LEITE, C.; DINIZ, G.; ROSA, O. A D. Produção de plantas de jardim em ambiente protegido com sombreamento por malhas que mudam o espectro solar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FLORICULTURA E PLANTAS ORNAMENTAIS, 14. 2003; CONGRESSO DE CULTURA DE TECIDO DE PLANTAS, 1., 2003, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA/FAEPE, 2003.

DALE, M. P.; CAUSTON, D. R. The ecophysiology of *Veronica chamaedrys*, v. montana and *V. officinalis* II: the interaction of irradiance and water regime. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 80, n. 3, p. 493-504, 1992.

DA MATTA, F. M.; RENA A. B. Tolerância do café à seca. In: ZAMBOLIN, L. (Ed.). **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa, MG: UFV, 2001. p. 65-100.

DISCHE, Z. General color reactions. In: WHISTLER, R. L.; WOLFRAM, M. L. **Carbohydrate chemistry**. New York: Academic, 1962. p. 477-520.

DUKE, S. O.; KENYON, W. H. Effects of dimethazone (FMC 57020) on chloroplast development II: pigment synthesis and photosynthetic function in cowpea (*Vigna unguiculata* L.) primary leaves. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 25, n. 1, p. 11-18, Jan. 1986.

ENGEL, V. L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v.3, n.1, p. 39-45, 1991.

FAGNANI, M. A.; LEITE, C. A. Produção de copo-de-leite colorido, *Zantedeschia sp.* em telado de malha termorrefletora e foto conversora vermelha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FLORICULTURA E PLANTAS ORNAMENTAIS, 14., 2003; CONGRESSO DE CULTURA DE TECIDO DE PLANTAS, 1., 2003, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA/FAEPE, 2003.

FARIAS, V. C. C. Análise de crescimento de mudas de cedrorana (*Cedrelinga catenaeformis* Ducke) cultivadas em condições de viveiro. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 19, n. 2, p. 193-200, 1997.

FERRAZ, K. K. F.; SILVA, D. M. Avaliação ecofisiológica do crescimento inicial de espécies florestais usadas na recuperação de áreas degradadas: *Calliandra calothyrsus* Meisn. In: CONGRESSO NACIONAL DE FISILOGIA, 8., 2001, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus, 2001. 1 CD-ROM.

FERREIRA, D. F. **SISVAR 4.3**: sistema de análises estatísticas. Lavras: UFLA, 1999.

GLOBIG, S.; ROSEN, I.; JANES, H. W. Continuous light effects on photosynthesis and carbon metabolism in tomato. **Acta Horticulturae**, Amsterdam, n. 418, p. 141-151, 1997.

GOMIDE, M. B.; LEMOS, O. V.; TOURINO, D.; CARVALHO, M. M.; CARVALHO, J. G.; DUARTE, G. S. Comparação entre métodos de determinação de área foliar em cafeeiros Mundo Novo e Catuaí. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 1, n. 2, p. 118-123, jul./dez. 1977.

GRINBERGER, A.; SHOMRON, M.; GANELEVIN, R. **Shading nets testing**. 2000. Disponível em: <<http://www.polysack.com/index.php>>. Acesso em: 19 jan. 2010.

JEANGROS, B.; NOSBERGER, J. Comparison of the growth response of *Rumex obtusifolius* L. and *Lolium perenne* L. to photon flux density. **Weed Research**, Oxford, v. 32, n. 4, p. 311-316, Aug. 1992.

KAUFMAN, L. S. Traduction of blue-light signals. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 102, p. 333-337, 1993.

KIM, S. J.; HAHN, E. J.; HEO, J.; PAEK, K. Y. Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets in vitro. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 101, n. 1/2, p. 143-151, 2004.

JUSTO, C. F.; SOARES, A. M.; GAVILANES, M. L.; CASTRO, E. M. Leaf anatomical plasticity of *Xylopia brasiliensis* Sprengel (Annonaceae). **Acta Botânica Brasilica**, Manaus, v. 19, n. 1, p. 111-123, 2005.

LAVIOLA, B. G. **Alocação de fotoassimilados e nutrientes em folhas e frutos de cafeeiro em diferentes altitudes de cultivo**. 2007. 136 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

LEE, D. W.; OBERBAUER, S. F.; JOHNSON, P.; KRISHNAPILAY, B.; MANSOR, M.; MOHAMED, H.; YAP, S. K. Effects of irradiance and spectral quality on leaf structure and function in seedlings of two southeast asian Hopea (Dipterocarpaceae) species. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 87, n. 4, p. 447-455, 2000.

LIMA JÚNIOR, E. C.; ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M. Physioanatomy traits of leaves in young plants of *Cupania vernalis* camb. subjected to different shading levels. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 33-41, jan./fev. 2006.

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M. G. **Fisiologia vegetal**, São Paulo, v. 1, p. 331-350, 1979.

MARTINS, J. R.; ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M.; SILVA, A. P. O.; OLIVEIRA, C.; ALVES, E. Anatomia foliar de plantas de alfavaca-cravo cultivadas sob malhas coloridas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 82-87, 2009.

MCCMAHON, M. J.; KELLY, J. W. Anatomy and pigments of chrysanthemum leaves developed under spectrally selective filters. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 64, p. 203-209, 1995.

MEIRELLES, A. J. A.; PAIVA, P. D. O.; OLIVEIRA, M. I.; TAVARES, T. S. Influência de diferentes sombreamentos e nutrição foliar no desenvolvimento de mudas de palmeira ráfia (*Rhapis excelsa*) (THUNBERG) HENRY EX. REHDER. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1884-1887, 2009.

MORINI, S.; MULEO, R. Effects of light quality on micropropagation of Woody species. In: JAIN, S. M.; ISHII, K. **Micropropagation of woody trees and fruits**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2003. p. 3-35.

MUROYA, K.; VARELA, V. P.; CAMPOS, M. A. A. Análise de crescimento de mudas de jacareúba (*Calophyllum angulare* A. C. Smith - Guttiferae) cultivadas em condições de viveiro. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 27, n. 3, p. 197-212, set. 1997.

MUSIL, C. F.; CHIMPHANGO, S. B. M.; DAKORA, F. D. Effects of elevated ultraviolet-B radiation on native and cultivated plants of southern Africa. **Annals of Botany**, London, v. 90, n. 1, p. 127-137, July 2002.

OREN-SHAMIR, M.; GUSSAKOVSKY, E. E.; SHPIEGEL, E.; NISSIM-LEVI, A.; RATNER, K.; OVADIA, R.; GILLER, Y. U. E.; SHAHAK, Y. Coloured Shade Nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosphoum variegatum*. **Journal Horticultural Science Biotechnoly**, Ashford Kent, n. 76, p. 353-361, 2001.

PAIVA, L. C.; GUIMARÃES, R. J.; SOUZA, C. A. S. Influência de diferentes níveis de sombreamento sobre o crescimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arábica* l.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 1, p. 134-140, jan./ fev. 2003.

PUSHPAKUMARI, R.; SASIDHAR, V. K. Influence of shade on the growth attributes of minor tuber crops. **Journal Roots Crops**, Kumar, v. 18, n. 1, p. 64- 67, 1992.

REED, J. W.; FOSTER, K. R.; MORGAN, P. W. Phytochrome b affects responsiveness to gibberellins in Arabidopsis. **Plant Physiology**, Rockville, v. 112, n. 1, p. 337-342, 1996.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, p. 26-40, 1985.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a Aproximação**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 359 p.

SANDMANN, G.; BÖGER, P. Comporison of the bleaching activity of norflurazon and oxyfluorfen. **Weed Science**, Champaign, v. 31, n. 3, p. 338-341, 1983.

SCHMITT, J.; WULFF, R. D. Light spectral quality phytochrome and plant competition. **Trends in Ecology & Evolution**, Oxford, v. 8, n. 2, p. 47-51, 1993.

SCHUERGER, A. C.; BROWN, C. S.; STRYJEWSKI, E. C. Anatomic features of pepper plants (*Capsicum annuum* L.) grown under red light-emitting diodes supplemented with blue or far-red light. **Annals of Botany**, Oxford, v. 79, n. 3, p. 273-282, 1997.

SHAHAK, Y.; GYUSSAKOVSKY, E. E. Color nets: crop protection and light-quality manipulation in one technology. **Acta Horticulturae**, Amsterdam, v. 659, 2004.

SHAHAK, Y.; LAHAV, T.; SPIEEL, E.; PHILOSOPH-HADAS, S.; ORENSTEIN, H.; GUSSAKOVSKY, E.; RATNER, K.; GILLER, Y.; SHAPCHISKY, S.; ZUR, N.; ROSENBERG, I.; GAL, Z.; GANELEVIN, R. Growing Aralia and Monstera under colored shade nets. **Olam Poreah**, Israel, v. 13, n. 1, p. 60 - 62, 2002.

SHARMA, B. M. Ecophysiological studies on *Panicum maximum* Jacq. In south-west Nigeria. **Range Management Agroforestry**, Nigéria, v. 15, n. 1, p. 49-53, 1994.

SOUZA, G. S. **Desenvolvimento vegetativo, características anatômicas e fitoquímicas de plantas jovens de duas espécies de guaco, submetido a diferentes condições de qualidade de radiação.** 2006. 121 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

THOMPSON, W. A.; HUANG, L. K.; KRIEDEMANN, P. E. Photosynthetic response to light and nutrients in sun-tolerant and shade-tolerant rainforest trees. **Australian Journal of Plant Physiology**, East Melbourne, v. 19, n. 1, p. 1-18, 1992.

THORNER, J. P. Chlorophyll-proteins: light-harvesting and reaction center components of plants. **Annual Review of Plant Physiology**, California, v. 26, p. 127-58, 1975.

VALIO, I. F. M. Effects of shading and removal of plant parts on growth of *Trema micrantha* seedlings. **Tree Physiology**, Victoria, v. 21, n. 1, p. 65-70, 2001.

VLAHOS, J. C.; HEUVELINK, E.; MARTAKIS, G. F. P. A growth analysis study of three Achimenes cultivars grown under three light regimes. **Scientia Horticultural**, Amsterdam, v. 46, n. 3-4, p. 275-282, Apr. 1991.

WALTERS, M. B.; KRUGER, E. L.; REICH, P. B. Growth, biomass distribution and CO₂ exchange of northern hardwood seedlings in high and low light: relationship with successional status and shade tolerance. **O Ecologia**, Berlim, v. 94, p. 7-16, 1993.

WANG, X.; BELOW, F. E. Cytokinins in enhanced growth and tillering of wheat induced by mixed nitrogen source. **Crop Science**, Madison, v. 36, n. 1, p. 121-126, 1996.

WEI, N.; DENG, X. W. The role of the COP/DET/FUS genes in light control of Arabidopsis seedling development. **Plant Physiology**, Rockville, v. 112, n. 3, p. 871-878, 1996.

WHATLEY, F. H.; WHATLEY, F. R. **A luz e a vida das plantas**. São Paulo: EPU-EDUSP, 1982. 101 p.

WINTER, H.; HUBER, S. C. Regulation of sucrose metabolism in higher plants: localization and regulation of activity of key enzymes. **Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology**, Abingdon, v. 35, p. 253-289, 2000.