



ARTIGO ORIGINAL

Manoel Euclides Nascimento¹
José Eduardo Brasil Pereira Pinto²
Jessé Marques da Silva Júnior^{2*}
Evaristo Mauro de Castro²
Fúlvia Maria dos Santos³

¹Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA,
Av. Presidente Tancredo Neves, 2501, Montese,
66077-901, Belém, PA, Brasil

²Universidade Federal de Lavras – UFLA, Campus
Universitário, CP 3037, 37200-000, Lavras, MG,
Brasil

³Universidade Federal do Espírito Santo – UFES,
Av. Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras, 29075-
910, Vitória, ES, Brasil

Autor Correspondente:

*E-mail: jesseagronomo@yahoo.com.br

PALAVRAS-CHAVE

Anatomia foliar
Efeito da luz
Espécie florestal

KEYWORDS

Leaf anatomy
Light effect
Forest species

Plasticidade foliar e produção de biomassa seca em *Copaifera langsdorffii* Desf. cultivada sob diferentes espectros de luz

*Leaf plasticity and dry biomass yield in *Copaifera langsdorffii* Desf. cultivated under different light spectra*

RESUMO: As modificações nos tecidos internos da folha, em especial as dimensões das cavidades de armazenamento de óleo, estão condicionadas a fatores genéticos; porém, a intensidade e a qualidade da radiação podem interferir na ontogênese e na densidade dos elementos secretores. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da intensidade e da qualidade de luz sobre as características anatômicas foliares, analisando-se as cavidades secretoras de óleo e a produção de biomassa seca em plantas jovens de *Copaifera langsdorffii* Desf. As plantas foram cultivadas por seis meses em ambientes cobertos com malhas de polipropileno, nas cores vermelha, azul e preta com 50% e 70% de sombreamento, e a pleno sol. As plantas cultivadas sob malhas coloridas, quando comparadas com o pleno sol, não exibiram diferenças estatísticas quanto à espessura do limbo foliar - vermelha (344,08 µm), azul (349,48 µm), preta 50% (325,22 µm) e preta 70% (336,48 µm) - nem quanto ao diâmetro dos feixes vasculares da nervura central - pleno sol (14,60 µm), vermelha (16,12 µm), azul (14,76 µm) preta 50% (14,76 µm) e preta 70% (15,48 µm); no entanto, as plantas apresentaram diferenças quanto à densidade estomática, aos diâmetros das cavidades secretoras e à biomassa seca. A formação de mudas de *Copaifera langsdorffii* Desf. com o uso de malha azul com sombreamento de 50% é adequada.

ABSTRACT: Changes in the internal tissues of the leaf, particularly the dimensions of oil storage cavities, are subject to genetic factors, but the quality and intensity of radiation can interfere with the ontogeny and density of secretory elements. In this sense, the aim of this work was to evaluate the effect of light quality and intensity on the anatomical characteristics of the leaf, analyzing the oil secretory cavities and the production of dry biomass in seedlings of *Copaifera langsdorffii* Desf.. Plants were grown for six months in environments covered with polypropylene mesh of red, blue, and black colors, with 50% and 70% shading, and under direct sunlight. Plants grown under the colored meshes, when compared to those under direct sunlight, showed no statistical differences regarding leaf thickness: red mesh (344.08 µm), blue mesh (349.48 µm), 50% black shading (325.22 µm), and 70% black shading (336.48 µm); the same occurred with respect to the diameter of the vascular bundles of the midrib: direct sunlight (14.60 µm), red mesh (16.12 µm), blue mesh (14.76 µm) 50% black shading (14.76 µm), and 70% black shading (15.48 µm); but differences were found concerning stomatal density, diameters of secretory cavities, and dry biomass. Adequate formation of *Copaifera langsdorffii* Desf. seedlings was verified with the use of blue mesh with 50% shading.

Recebido: 22/02/2013
Aprovado: 30/08/2013

1 Introdução

A espécie *Copaifera langsdorffii* Desf. pertence à família Fabaceae Lindl. ou Leguminosae e é conhecida como copaíba, copaíba-vermelha e bálsamo. Quanto à classificação fitoecológica, é uma espécie secundária tardia a clímax, com grande plasticidade ecológica, ocorrendo tanto em áreas de solo fértil e bem drenado como em áreas de solo muito pobre, ácido e álico, do cerrado, sendo muito adequada para arborização e recuperação de áreas degradadas (LORENZI, 2008).

Algumas plantas apresentam plasticidade no seu desenvolvimento, crescendo como plantas de sol ou plantas de sombra; esse crescimento é influenciado por diversos fatores ambientais, sendo a luz um agente determinante da morfologia e da anatomia foliar (COSTA et al., 2010; SOUZA et al., 2010; LORETO; TSONEV; CENTRITTO, 2009). Estudos utilizando a anatomia como uma ferramenta são de grande importância para a compreensão da plasticidade adaptativa de uma espécie submetida a diferentes condições ambientais, principalmente pelo fato de estar correlacionada com processos de trocas gasosas, assimilação de CO₂ e outras características inerentes ao crescimento da planta (SOUZA et al., 2010).

As modificações nos tecidos internos da folha, em especial as dimensões das cavidades de armazenamento de óleo, estão condicionadas a fatores genéticos; porém, a intensidade e a qualidade da radiação podem interferir na ontogênese e na densidade dos elementos secretores. Para a espécie em estudo, não há dados disponíveis a esse respeito na literatura.

O crescimento dessa espécie é bastante lento. Dessa forma, a identificação de uma faixa de sombreamento adequado e da qualidade espectral da luz pode desempenhar um papel fundamental no funcionamento do aparato fotossintético, visando à maior eficiência na captação e na utilização da energia radiante, e influenciando no desenvolvimento morfológico da planta (JAMES; BELL, 2000; WANG, NOGUCHI; TERASHIMA, 2011).

No trabalho de Nascimento et al. (2012), estes autores verificaram que a óleo-resina extraída de plantas selvagens de *Copaifera langsdorffii* Desf. apresenta elevada composição e concentração dos compostos voláteis, entre os quais β cariofileno, cuja ação terapêutica é antisséptica e cicatrizante; Germacreno D, com ação antimicrobiana e inseticida; espatulenol, com propriedades antibacterianas e moderada atividade citotóxica contra células do tipo KB¹⁹, e óxido de cariofileno, com propriedades anti-hipertensivas e ação na hipertrofia cardíaca.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a ação de diferentes intensidades e qualidade de luz na anatomia foliar e na

morfologia dos órgãos vegetativos de mudas de *Copaifera langsdorffii* Desf., para a produção de óleo-resina.

2 Material e Métodos

O trabalho foi conduzido no Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), região sul do Estado de Minas Gerais, a 918 m de altitude, latitude 21° 14' S e longitude 45° 00' W GRW.

Segundo a classificação de Köppen, o clima regional é do tipo Cwa, mas apresenta características de Cwb, com duas estações bem definidas: uma fria e seca, de abril a setembro, e outra quente e úmida, de outubro a março (BRASIL, 1992).

As sementes de copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf.) foram obtidas a partir de frutos maduros, coletados em árvores existentes no Campus da UFLA. Após o beneficiamento, as sementes foram armazenadas em sacos de polietileno semipermeáveis, por aproximadamente dois meses, em temperatura ambiente, até o início dos experimentos, quando foram colocadas para germinar. Nesta etapa, foram utilizados recipientes de plástico do tipo Gerbox®, com areia autoclavada, em câmara tipo BOD a 30 °C, nos quais foram avaliadas durante trinta dias.

Em seguida, foram transplantadas para tubo de PVC com dimensões de 15 × 30 cm contendo terra de subsolo e areia, na proporção de 2:1, previamente analisado no Laboratório de Solos da UFLA (Tabela 1), conforme Embrapa (1997). A partir dessas análises, foram incorporados, na seguinte proporção: superfosfato simples (300 g m⁻³), cloreto de potássio (300 g m⁻³) e agrossilício (1.000 g m⁻³). Após esta etapa, as plantas foram deixadas por 15 dias para adaptação ao novo substrato, em ambiente sombreado a 70%.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com cinco tratamentos, cinco repetições e trinta unidades experimentais em cada parcela. Em cada tratamento, foram empregadas 30 mudas, sendo uma planta por vaso, totalizando 150 plantas, com espaçamento de aproximadamente 40 cm entre os vasos.

As plantas foram mantidas por 180 dias sob os tratamentos com malhas coloridas *ChromatiNET* de sombreamento 50%, nas cores vermelha, preta e azul, fornecidas pela empresa Polysack Plastic Industries®, e sombrite preto 70% de sombreamento e a pleno sol (0% de sombreamento). Os tratamentos foram dispostos em área uniforme e sujeita às mesmas condições climáticas, com temperatura média no período de 21,7 °C, variando de 17,1 a 29,4 °C, e umidade relativa do ar média de 77,5 UR. A insolação média no período foi de 6,1 h (Estação Meteorológica UFLA).

Tabela 1. Análise química do solo utilizado como substrato para o cultivo das mudas.

pH H ₂ O	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	Br	S
	mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³				%	dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹	mg dm ⁻³						
5,9	2,5	62	2,2	0,4	0,0	2,6	2,8	2,8	4,5	51,5	2,9	2,6	3,4	73,3	62,1	5,7	0,4	158,7

pH = potencial de hidrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio; H + Al = acidez potencial; SB = soma de bases trocáveis; CTC (t) = capacidade de troca catiônica efetiva; CTC (T) = capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V% = saturação/base; MO = matéria orgânica; P resina = fósforo; Zn = zinco; Fe = ferro; Mn = manganês; Cu = cobre; B = boro; S = enxofre.

A intensidade da radiação foi mensurada por meio de um quantômetro fotômetro-radiômetro LI-COR, modelo LI-185, equipado com um sensor quântico, sendo a radiação solar expressa em $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. A intensidade média de radiação incidente foi medida no mês de março, em horário matutino, no período de 10 a 11 h. Os níveis de radiação foram medidos na superfície foliar em cada tratamento, cujas médias foram significativamente diferentes: 707,20 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, a pleno sol; 436,60 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, sob malha azul; 342,60 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, sob malha vermelha; 215,60 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, sob malha preta 50% sombreada, e 147,60 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, sob malha preta 70% sombreada. O espectro típico da tela azul apresenta um pico principal de transmitância na região do azul-verde (400-540 nm), enquanto a tela vermelha possui maior transmitância além de 590 nm (OREN-SHAMIR et al., 2001).

A área foliar total (AFT) por planta foi medida utilizando-se um integrador de área foliar MODEL LI-3100 Área Meter - LICOR. As plantas foram separadas em folhas, caules e raízes, e todo o material foi seco em estufa com circulação forçada de ar a 70 ± 2 °C, por 72 h, até atingir massa constante.

Para estudo anatômico, foram retirados cinco folíolos medianos de folhas expandidas, fixadas em FAA_{70%} e conservadas em álcool 70%, até o momento das análises. Foram preparadas lâminas histológicas semipermanentes, seccionadas à mão-livre com auxílio de lâmina de aço, coradas com safrablau 1%; testes histoquímicos foram realizados para detectar a presença de substâncias lipídicas nas cavidades secretoras, utilizando-se o corante Sudan Black B (KRAUS; ARDUIN, 1997).

Foram avaliadas as seguintes características anatômicas: densidade; razão dos diâmetros polar/equatorial de estômatos; área foliar; espessura do limbo foliar, da epiderme adaxial, do parênquima paliçádico, do parênquima esponjoso e da epiderme abaxial; densidade; diâmetro polar e equatorial das cavidades secretoras e dos feixes vasculares da nervura central; biomassa seca da parte aérea e da parte subterrânea, além das intensidades luminosas. As contagens de estômatos foram obtidas em área de 0,017 mm² e as mensurações, em μm (micrômetros). A área do limbo foliar para contagem das cavidades secretoras foi de 0,3 mm² e todas as demais variáveis foram fotografadas e analisadas com o auxílio do programa

Sigma Pro 5.0®. A biomassa seca da parte aérea e da parte subterrânea foi obtida a partir de pesagens, com auxílio de balança analítica de quatro dígitos.

Os dados sofreram análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando-se o software 'SISVAR' (FERREIRA, 2008).

3 Resultados e Discussão

A estrutura anatômica foliar e a produção de biomassa seca de plantas jovens de *C. langsdorffii* variaram em função dos níveis de sombreamento, aos quais foram submetidas (Tabela 2). A folha foi caracterizada como dorsiventral, hipostomática com estômatos paracíticos e células epidérmicas delimitadas por parede celular ondulada.

Na superfície foliar, todas as variáveis avaliadas apresentaram diferenças significativas, sendo os menores índices registrados para as plantas cultivadas a pleno sol, na sua maioria, e os maiores índices, em ambientes sombreados sob malhas vermelha e azul. A frequência estomática e a relação diâmetro polar/equatorial foram influenciadas pelos níveis de sombreamento, em que foi verificado que as malhas vermelha e azul (50%) e preta 70% proporcionaram incrementos na quantidade de estômatos por área na lâmina foliar de plantas de *C. langsdorffii* e na relação diâmetro polar/equatorial, quando comparadas com plantas crescidas a pleno sol e malha preta 50% (Tabela 2 e Figura 1-I).

Segundo Wang, Noguchi e Terashima (2011), tais observações aqui obtidas, com relação a diferenças na frequência estomática em detrimento da intensidade de luz, dizem respeito à plasticidade adaptativa das espécies em fazer o uso eficiente da água. Tal situação é mais clara quando se trata de espécies com estômatos em ambas as epidermes (anfiestomática), pois os mesmos apresentam respostas diferenciadas: os estômatos da superfície adaxial estão mais expostos à radiação do que os da superfície abaxial, sendo os mesmos sombreados pela própria folha, e recebem luz transmitida pelo mesófilo (WANG; NOGUCHI; TERASHIMA, 2008).

Foi observada uma redução da frequência estomática nas plantas crescidas a pleno sol e sob malha preta 50%; tal

Tabela 2. Superfície e área foliar de plantas jovens de *Copaifera langsdorffii*, após cultivo a pleno sol, sob malhas coloridas vermelha e azul, e sob malha preta com 50 e 70% de sombreamento.

	Superfície foliar				Biomassa seca		
	FE Estômatos (0,017 mm ²)	DP (μm)	DE (μm)	RDPE	AF (cm ²)	BSA	BSS
PS 0 %	15,68 b	34,13 b	26,75 b	1,13 dc	2,83 c	0,98 b	0,70 b
V 50%	19,72 a	40,89 a	32,63 a	1,35 a	3,51 b	1,88 a	1,10 ba
A 50%	19,52 a	38,56 a	32,81 a	1,31 ba	3,92 a	1,64 ba	1,38 a
P 50%	15,56 b	37,10 ba	29,47 ba	1,06 d	3,38 b	1,42 ba	0,88 b
P 70%	18,80 a	38,79 a	32,41 a	1,21 cb	3,23 b	1,30 ba	1,04 ba
CV(%)	7,98	6,09	7,04	4,55	4,40	27,21	23,49

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Pleno sol (PS); Malha vermelha (V); malha azul (A); malha preta (P); frequência estomática (FE); diâmetro polar (DP); diâmetro equatorial (DE); razão dos diâmetros polar/equatorial de estômatos (RDPE); biomassa seca da parte aérea (BSA) e da parte subterrânea (BSS).

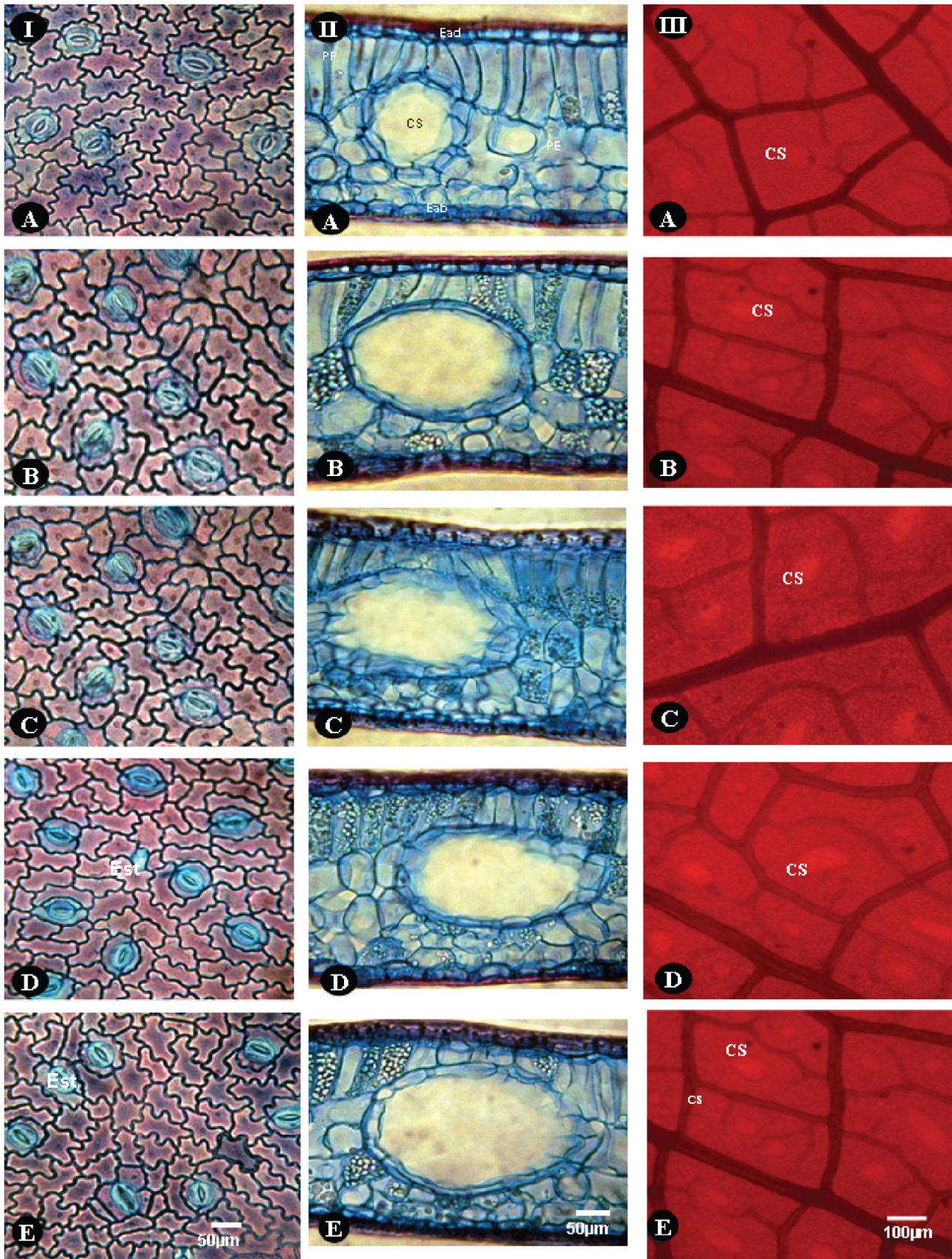


Figura 1. Anatomia foliar de *Copaifera langsdorffii* sob diferentes intensidades e qualidade de luz. A - a pleno sol; B - sob malha vermelha; C - sob malha azul; D - sob malha preta (50%); E - sob malha preta (70%). I - Superfície foliar com a densidade dos estômatos (Est.). II - Mesofilo com a epiderme adaxial (Ead), parênquima paliçádico (PP), parênquima esponjoso (PE), epiderme abaxial (Eab) e as cavidades secretoras de óleo-resina (CS). III - Venação foliar com as cavidades secretoras de óleo-resina.

resultado pode ser interpretado de três diferentes modos: 1) em função do aumento das células da epiderme, 2) em função de danos provocados pela radiação e 3) caracterizando um verdadeiro processo fotomorfo genético de adaptabilidade ao ambiente, sendo as situações de números 2 e 3 observadas por Gitz III et al. (2005).

Os resultados de frequência e relação diâmetro polar/equatorial corroboram também com o trabalho de Silva Júnior et al. (2012), quando estes autores utilizaram malha azul semelhante à utilizada no presente artigo e verificaram que a densidade estomática e a razão entre os diâmetros polar e equatorial eram alteradas quando as plantas de *Laelia purpurata* 'cárnea' *in vitro* cresciam em casa de vegetação. Estômatos com maior índice de razão entre os diâmetros polar e equatorial, de padrão mais elipsoide, podem resultar em maior funcionalidade, o que provavelmente está relacionado a maior eficiência fotossintética e produção de biomassa seca da parte aérea da planta (MARTINS et al., 2009; ROSSATTO; HOFFMANN; FRANCO, 2009; HOGEWONING et al., 2010).

Justificando que o formato dos estômatos tem alta relação com a eficiência fotossintética, Franks e Farquhar (2007), esses autores analisaram quatro espécies com estômatos completamente distintos em seu formato - uma planta do clado licófito (*Huperzia prolifera*); uma samambaia (*Nephrolepis exaltata*); uma herbácea angiosperma (*Tradescantia virginiana*) e uma angiosperma monocotiledônea. O motivo da escolha dessas espécies, segundo os autores, é que as mesmas cobrem um espectro amplo e evolutivo da morfologia dos estômatos. Eles concluíram que o formato elipsoide (halteres) da espécie *Tradescantia virginiana* é mais eficiente para abrir e fechar os estômatos em relação aos formatos das demais espécies e, conseqüentemente, apresentam maior capacidade em realizar fotossíntese.

De acordo com Drake, Froend e Franks (2013) e Franks, Drake e Beerling (2009), estômatos com menores diâmetros do poro estomático, isto é, maior relação diâmetros polar e equatorial (formato elipsoide), apresentam características dinâmicas mais rápidas e, portanto, podem fazer parte integrante de seleção para altas condutâncias estomáticas, que acompanham maior capacidade fotossintética e uso eficiente da água.

O desenvolvimento das plantas e a fisiologia são fortemente influenciados pelo espectro da luz do ambiente de crescimento. Os mecanismos subjacentes ao efeito de diferentes espectros no crescimento e no desenvolvimento das plantas não são conhecidos em detalhe, embora o envolvimento dos fotorreceptores tenha sido demonstrado para uma vasta gama de respostas das plantas. Criptocromos e fototropinas são especialmente sensíveis à luz azul, enquanto fitocromos são mais sensíveis ao vermelho do que ao azul (WHITELAM; HALLIDAY, 2007). Ainda segundo os autores, luz azul está envolvida em uma ampla gama de processos de plantas, como fototropismo, fotomorfo genese, abertura dos estômatos e funcionamento do aparato fotossintético.

A área foliar total foi significativamente menor a pleno sol e maior em ambiente 50% sombreado com malha azul; note-se que as malhas vermelha e preta 50% e preta 70% de sombreado proporcionaram interferências na plasticidade

foliar, mas sem causar diferença estatística (Tabela 2). Esses resultados são parcialmente diferentes dos dados observados por Souza et al. (2010), que registraram os maiores valores de área foliar total (AFT) das plantas de *Mikania glomerata* sob as malhas cinza e azul.

Analisando-se a plasticidade foliar, Hogewoning et al. (2010) realizaram testes com plantas de pepino (*Cucumis sativus*) sob sete diferentes intensidades de luz, variando a qualidade com a seguinte variação em luz azul (%): 0, 7, 15, 22, 50 e 100, sendo que o restante era completado com luz vermelha. Como parâmetros de comparação, analisaram as trocas gasosas, a funcionalidade estomática, a fluorescência da clorofila, a absorção de luz e a biomassa foliar. Os autores verificaram que, para os parâmetros analisados, as plantas de pepino crescidas sob radiação apenas da luz vermelha apresentaram disfunções fotossintéticas, o que acarretou em menor crescimento; ao contrário, plantas crescidas com a utilização de apenas 7% de luz azul apresentaram maior capacidade fotossintética, a qual foi aumentada progressivamente até alcançar 100% da luz azul e, como resposta, obteve-se maior biomassa foliar.

Plantas crescidas em ambiente 50% sombreadas com malha vermelha apresentaram maior biomassa seca da parte aérea, quando comparadas aos demais tratamentos com malhas e a pleno sol. Os resultados apontam o maior índice para a parte aérea das plantas cultivadas sob malha vermelha, diferenciando-se das plantas cultivadas sob malha azul, cuja maior alocação ocorreu para a parte subterrânea (Tabela 2). Esses resultados podem ser explicados de acordo com o trabalho de Oren-shamir et al. (2001), no qual a malha vermelha 50% reduz as ondas do espectro azul, verde e amarelo, acrescentando as ondas do espectro vermelho e vermelho-distante. Enquanto isso, a malha azul 50% muda o espectro da luz, reduzindo as ondas na faixa do vermelho e vermelho-distante, e acrescentando as ondas do espectro do azul.

Corroborando os resultados de Matsuda et al. (2008) e Matsuda et al. (2004), a maior biomassa seca da parte aérea ocorreu sob malha vermelha e da raiz, sob malha azul, ambas sob sombreadamento de 50% (Tabela 2). Esses resultados de biomassa para as plantas jovens de *C. langsdorffii* evidenciam que a produção de massa seca total é reduzida pela quantidade de radiação solar, provavelmente, em consequência de uma redução no processo fotossintético, enquanto que as malhas vermelha e azul promoveram a formação de mudas mais vigorosas. Tais variações encontram-se registradas na literatura para outras espécies florestais (ALMEIDA et al., 2005).

Com esses resultados, verifica-se uma relação entre o desenvolvimento da área foliar e a biomassa seca, principalmente da parte aérea; logo, as plantas cultivadas em ambiente parcialmente sombreado, aparentemente, investiram maior quantidade de fotoassimilados, especialmente na parte aérea, do que aquelas cultivadas em pleno sol. Respostas semelhantes foram observadas em várias espécies cuja característica de crescimento foi promovida pela condição de sombreadamento (GONDIM et al., 2007; SIEBENEICHLER et al., 2008; DAN et al., 2010).

A espessura da epiderme em sua face adaxial apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, sendo menor em

pleno sol e maior sob malha vermelha; já em sua face abaxial, manteve-se a menor espessura em pleno sol e maior, sob malha azul (Tabela 3; Figura 1-II). Isto vem reforçar a importância da qualidade de luz em níveis médios de $436,60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, para a formação dos estômatos, dentro do espectro típico da tela azul, que apresenta um pico principal de transmitância na região do azul-verde (400-540 nm) (OREN-SHAMIR et al., 2001).

O parênquima paliçádico, constituído por uma camada de células alongadas, e o parênquima esponjoso, formado por células arredondadas e heterodimensionais, não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 3). Entretanto, foi observado que a altura das células do parênquima paliçádico e do parênquima esponjoso variou nos diferentes níveis de sombreamento e intensidades de radiação incidente, com os maiores índices sob as malhas vermelha e azul; promoveu-se, dessa forma, uma variação na espessura do mesofilo, indicando que tanto a quantidade quanto a qualidade da luz apresentam efeito adaptativo para esta espécie. Esses resultados podem ser explicados pela capacidade de respostas a estímulos luminosos que esses tecidos apresentam, influenciando diretamente a espessura foliar (JAMES; BELL, 2000). Isto vem reforçar a importância da utilização de malhas coloridas, que estabelecem a qualidade mais adequada da radiação luminosa na produção de mudas dessa espécie florestal, o que, possivelmente, assemelha-se aos ambientes de sub-bosque onde elas desenvolvem-se naturalmente.

As cavidades secretoras apresentam estrutura pluricelular, com um epitélio secretor limitando um espaço no interior do mesofilo, geralmente em posição central, entre o parênquima paliçádico e o parênquima esponjoso, próximas às terminações livres das nervuras (Figura 1-III). Essas cavidades apresentaram diferentes formas, tamanhos, frequência e distribuição entre as plantas nos diferentes tratamentos.

O efeito promovido pela variação da qualidade de luz interferiu significativamente na densidade das cavidades secretoras. A menor frequência dessas cavidades por $0,3 \text{ mm}^2$ ocorreu sob malha azul e a maior, sob malha vermelha (Tabela 3; Figura 1-III). Embora, na literatura, sejam escassos os dados sobre o efeito da qualidade da luz na variação de estruturas secretoras de óleo de espécies florestais, estudos realizados com a espécie herbácea, *Ocimum gratissimum*, reforçam o efeito da malha colorida sobre a frequência das

estruturas secretoras, porém com resultados diferentes; conforme Martins et al. (2009), a menor concentração de elementos secretores de óleo foi observada sob malha vermelha. Tais diferenças na espécie em estudo podem estar relacionadas não somente ao hábito arbóreo, mas a adaptação fitoecológica como espécie clímax e boa adaptação em ambiente com maior transmitância acima de 590 nm (OREN-SHAMIR et al., 2001).

Avaliando-se o efeito de diferentes níveis de sombreamento (30, 50 e 70%) e a pleno sol na produção de óleo essencial de *Pothomorphe umbellata* (L.) Miquel, uma espécie medicinal brasileira, Mattana et al. (2010) encontraram que o maior teor de óleo essencial ocorreu na segunda colheita, em plantas com 30% de sombreamento.

Estudos sobre o rendimento de óleo, a partir de plantas condicionadas por níveis de sombra, demonstraram que cada uma das espécies responde diferentemente à intensidade de luz, tal como *Thymus vulgaris* (LI; CRACKER; POTTER, 1996) e *Matricaria chamomila* (SALEH, 1973), apresentando aumento do rendimento de óleo essencial quando cultivadas sob luz intensa (a pleno sol). *Anethum graveolens* (HALVA; CRACKER; SIMON, 1992), *Salvia officinalis* (LI; CRACKER; POTTER, 1996) e *Pothomorphe umbellata* apresentaram maior rendimento de óleo essencial quando cultivadas sob sombra.

Avaliando-se a qualidade e a intensidade de luz aplicada sobre plantas de *Ocimum selloi* Benth, para a obtenção de maior quantidade de tricomas glandulares visando a maiores rendimentos de óleo essencial, Costa et al. (2010) verificaram que a utilização de malha vermelha ou azul não apresentou diferenças estatísticas e que o resultado mais promissor foi o cultivo de plantas a pleno sol.

Foram significativas as diferenças no diâmetro polar das cavidades secretoras com os maiores índices obtidos em ambientes cobertos com malha vermelha, porém sem variação significativa no diâmetro equatorial dessas cavidades entre os diferentes tratamentos (Tabela 3; Figura 1-III). Tal resposta pode estar relacionada à variação no padrão de divisão e crescimento celular envolvido na formação dessas estruturas secretoras, possivelmente justificado pelo genótipo e/ou pela tensão dos tecidos adjacentes. O aumento desses índices pode ser um indicativo de maior produção de óleo-resina em estágios posteriores de crescimento dessas plantas, condição

Tabela 3. Espessura do limbo e tecidos foliares de *Copaifera langsdorffii* sob malhas coloridas e a pleno sol.

	Espessura (μm)				Diâmetro (μm)				
	Ead	PP	PE	Eab	FCs*	DpCs	DeCs	DpFv	DeFv
PS 100 %	25,90 cc	111,1 aa	151,2 aa	23,93 bb	14,60 ba	137,82 bb	143,34 bb	156,47 b	195,57 bb
V 50 %	35,4 a	111,1 a	163,3 a	34,08 a	16,12 a	173,54 a	192,67 a	209,60 ba	264,00 a
A 50 %	35,1 a	104,5 a	170,9 a	35,88 a	11,48 b	126,43 b	199,99 a	205,88 ba	251,36 a
P 50 %	30,9 b	99,89 a	161,9 a	32,50 a	14,76 ba	76,34 c	219,69 a	225,20 a	265,60 a
P 70 %	35,0 a	99,6 a	168,1 a	33,64 a	15,48 ba	129,44 b	215,43 a	204,31 ba	261,60 a
CV(%)	4,84	9,50	7,91	5,93	15,83	14,20	12,65	14,25	11,18

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Pleno sol (PS); malha vermelha (V); malha azul (A); malha preta (P). Ead - epiderme da face adaxial; PP - parênquima paliçádico; PE - parênquima esponjoso; Eab - epiderme da face abaxial e frequência e diâmetro das cavidades secretoras e dos feixes vasculares da nervura central da folha. FCs = densidade de cavidades secretoras; DpCs e DeCs = diâmetro polar e equatorial da cavidade secretora; DpFv e DeFv = diâmetro polar e equatorial do feixe vascular * medido em μm^2 .

que, possivelmente, pode ser modulada nessas estruturas anatômicas, para a espécie em estudo.

O padrão de venação foliar, de acordo com Hickey (1973), é do tipo *camptodromous-brochidodromous*, com nervuras que diminuem de calibre até a quinta grandeza. Possui nervura intercostal limitando os arcos formados pelas nervuras secundárias. Observou-se que o desenvolvimento do feixe vascular da nervura central apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 3).

Os diâmetros polares dos feixes vasculares da nervura central apresentaram diferenças significativas, porém, os maiores índices foram atingidos sob malha preta 50% sombreada, com a menor intensidade de radiação entre as malhas coloridas; possivelmente, essa condição favorece uma menor deposição de lignina e celulose na parede, possibilitando maior crescimento em espessura do xilema e do floema.

Considerando-se as variações biométricas de plantas jovens em ambientes com a mesma intensidade luminosa e intensidades diferentes, os resultados observados no presente trabalho estão de acordo com Lee et al. (2000), em que o incremento da área foliar e da biomassa seca está provavelmente associado ao maior alongamento celular nos tecidos do mesófilo, uma vez que não houve formação de nova camada de tecido na folha (Figura I-II). Entretanto, pequenas diferenças na espessura dos tecidos foram perceptíveis, devido ao grau de diferenciação celular nos diferentes ambientes (Tabela 3).

4 Conclusões

A variação na intensidade e na qualidade de luz afeta de forma inequívoca as características de crescimento, como área foliar, espessura do limbo e biomassa seca da parte aérea e da raiz, bem como a frequência e a biometria dos estômatos, a espessura do estrato epidérmico adaxial e abaxial, a frequência e os diâmetros das cavidades secretoras de óleo-resina, e o diâmetro do feixe vascular da nervura central da folha. Essas características demonstram plasticidade fenotípica de plantas de *Copaifera langsdorffii*, quando submetidas a diferentes níveis de sombreamento. Para formação de mudas mais vigorosas de *Copaifera langsdorffii*, o uso de malha vermelha ou azul com sombreamento de 50% é adequado.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG e ao CNPq, pelo apoio financeiro, que possibilitou a realização deste trabalho.

Referências

ALMEIDA, S. M. Z.; SOARES, A. M.; CASTRO, E. M.; VIEIRA, C. V.; GAJEGO, E. B. Alterações morfológicas e alocação de biomassa em plantas jovens de espécies florestais sob diferentes condições de sombreamento. *Ciência Rural*, v. 35, n. 1, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782005000100010>

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Normas climatológicas de 1961-1990. Brasília, 1992. 84 p.

COSTA, L. C. B.; PINTO, J. E. B. P.; CASTRO, E. M.; ALVES, E.; ROSAL, L. F.; BERTOLUCCI, S. K.V.; ALVES, P. B.;

EVANGELINO, T. S. Yield and composition of the essential oil of *Ocimum selloi* Benth. cultivated under colored netting. *Journal of Essential Oil Research*, v. 22, n. 1, 2010. <http://dx.doi.org/10.1080/10412905.2010.9700260>

DAN, H. A.; CARRIJO, M. S.; CARNEIRO, D. F.; COSTA, K. A. P.; SILVA, A. G. Desempenho de plantas de sorgo granífero sobre condições de sombreamento. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 32, n. 4, 2010. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagr.v32i4.5508>

DRAKE, P. L.; FROEND, R. H.; FRANKS, P. J. Smaller, faster stomata: scaling of stomatal size, rate of response, and stomatal conductance. *Journal of Experimental Botany*, v. 64, n. 2, p. 495-505, 2013. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/ers347>.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.

FRANKS, P. J.; DRAKE, P. L.; BEERLING, D. J. Plasticity in maximum stomatal conductance constrained by negative correlation between stomatal size and density: an analysis using *Eucalyptus globulus*. *Plant, Cell and Environment*, v. 32, p. 1737-1748, 2009. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02031.x>

FRANKS, P. J.; FARQUHAR, G. D. The mechanical diversity of stomata and its significance in gas-exchange control. *Plant Physiology*, v. 143, p. 78-87, 2007. <http://dx.doi.org/10.1104/pp.106.089367>

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. *Revista Symposium*, v. 6, p. 36-41, 2008.

GITZ III, D. C.; LIU-GITZB, L.; BRITZC, S. J.; SULLIVANB, J. H. Ultraviolet-B effects on stomatal density, water-use efficiency, and stable carbon isotope discrimination in four glasshouse-grown soybean (*Glycine max*) cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, v. 53, p. 343-355, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.04.005>

GONDIM, A. R.; PUIATTI, M.; CECON, P. R.; FINGER, F. L. Crescimento, partição de fotoassimilados e produção de rizomas em taro cultivado sob sombreamento artificial *Horticultura Brasileira*, v. 25, n. 3, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362007000300019>

HALVA, S.; CRACKER, L.E.; SIMON, J. E. Light levels, growth and essential oil in dill (*Anethum graveolens* L.). *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, v. 1, p. 47-57. 1992. http://dx.doi.org/10.1300/J044v01n01_06

HICKEY, L. J. Classification of the architecture of dicotyledons leaves. *American Journal of Botany*, v. 60, n. 1, p. 17-33, 1973. <http://dx.doi.org/10.2307/2441319>

HOGEWONING, S. W.; TROUWBORST, G.; MALJAARS, H.; POORTER, H.; VAN IEPEREN, W.; HARBINSON, J. Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. *Journal of Experimental Botany*, v. 61, n. 11, p. 3107-3117, 2010. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erq132>

JAMES, S. A.; BELL, D. T. Influence of light availability on leaf structure and growth of two *Eucalyptus globulus* sp. provenances. *Tree Physiology*, v. 20, p. 1007-1018, 2000. <http://dx.doi.org/10.1093/treephys/20.15.1007>

- KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. *Manual básico de métodos em morfologia vegetal*. Seropédica: EDUR, 1997. 198p.
- LEE, D. W.; OBERBAUER, S. F.; JOHNSON, P.; KRISHNAPILAY, B.; MANSOR, M.; MOHAMAD, 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*, v. 87, n. 4, p. 447-455, 2000. <http://dx.doi.org/10.2307/2656588>
- LI, Y.; CRACKER, L. E.; POTTER, T. Effect of light level on essential oil of sage (*Salvia officinalis*) and thyme (*Thymus vulgaris*). *Acta Horticulturae*, v. 426, p. 419-426, 1996.
- LORENZI, H. *Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil*. 5. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. v. 1, 351 p.
- LORETO, F.; TSONEV, T.; CENTRITTO, M. The impact of blue light on leaf mesophyll conductance. *Journal of Experimental Botany*, v. 60, n. 8, p. 2283-2290, 2009. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erp112>
- MARTINS, J. R.; ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M.; DA SILVA, A. P. O.; OLIVEIRA, C.; ALVES, E. Anatomia foliar de plantas de alfavaca-cravo cultivadas sob malhas coloridas. *Ciência Rural*, v. 39, n. 1, p. 82-87, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008005000040>
- MATTANA, R. S.; VIEIRA, M. A. R.; MARCHESI, J. A.; MING, L. C.; MARQUES, M. O. M. Shade level effects on yield and chemical composition of the leaf essential oil of *Pothomorphe umbellata* (L.) Miquel. *Scientia Agrícola*, v. 67, n. 4, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162010000400006>
- MATSUDA, R.; OHASHI-KANEKO, K.; FUJIWARA, K.; GOTO, E.; KURATA, K. Photosynthetic Characteristics of Rice Leaves Grown under Red Light with or without Supplemental Blue Light. *Plant and Cell Physiology*, v. 45, n. 12, p. 1870-1874, 2004. <http://dx.doi.org/10.1093/pcp/pch203>
- MATSUDA, R.; OHASHI-KANEKO, K.; FUJIWARA, K.; KURATA, K. Effects of blue light deficiency on acclimation of light energy partitioning in PSII and CO₂ assimilation capacity to high irradiance in spinach leaves. *Plant and Cell Physiology*, v. 49, p. 664-670, 2008. <http://dx.doi.org/10.1093/pcp/pcn041>
- NASCIMENTO, M. E.; ZOGHBI, M. G.B.; PINTO, J. E. B. P.; BERTOLUCCI, S. K. V. Chemical variability of the volatiles of *Copaifera langsdorffii* growing wild in the Southeastern part of Brazil. *Biochemical Systematics and Ecology*, v. 43, p. 1-6, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bse.2012.02.003>
- OREN-SHAMIR, M.; EUGENE, E. G.; ELIEZER, S.; ADA, N.; KIRA, R.; RINAT, O.; YURI, E. G.; YOSEPHA, S. Colored shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, v. 76, n. 3, p. 353-361, 2001.
- ROSSATTO, D. R.; HOFFMANN, W. A.; FRANCO, A. C. Características estomáticas de pares congêneros de cerrado e mata de galeria crescendo numa região transicional no Brasil central. *Acta Botânica Brasileira*, v. 23, n. 2, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062009000200021>
- SALEH, M. Effects of light upon quantity and quality of *Matricaria chamomila* oil. *Planta Medica*, v. 24, n. 8, p. 337-340, 1973. <http://dx.doi.org/10.1055/s-0028-1099507>
- SIEBENEICHLER, S. C.; FREITAS, G. A.; SILVA, R. R.; ADORIAN, G. C.; CAPELLARI, D. Características morfofisiológicas em plantas de *Tabebuia heptaphylla* (vell.) tol. em condições de luminosidade. *Acta Amazônica*, v. 38, n. 3, 2008.
- SILVA JÚNIOR, J. M.; CASTRO, E. M.; RODRIGUES, M.; PASQUAL, M.; BERTOLUCCI, S. K. V. Variações anatômicas de *Laelia purpurata* var. *cárnea* cultivada *in vitro* sob diferentes intensidades e qualidade spectral de luz. *Ciência Rural*, v. 42 n.3, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782012000300015>
- SOUZA, G. S.; CASTRO, E. M.; SOARES, A. M.; PINTO, J. E. B. P. Características biométricas e fisiológicas de plantas jovens de *Mikania glomerata* Sprengel e *Mikania laevigata* Schultz Bip. ex Baker cultivadas sob malhas coloridas. *Revista Brasileira de Biociências*, v. 8, n. 4, p. 330-335, 2010. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/1453>>.
- WHITELAM, G.; HALLIDAY, K. *Light and plant development*. Oxford: Blackwell Publishing, 2007. <http://dx.doi.org/10.1002/9780470988893>
- WANG, Y.; NOGUCHI, K.; TERASHIMA, I. Photosynthesis-Dependent and Independent responses of stomata to blue, red and green monochromatic light: Differences between the normally oriented and inverted leaves of sunflower. *Plant and Cell Physiology*, v. 52, n. 3, p. 479-489, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.04.005>
- WANG, Y.; NOGUCHI, K.; TERASHIMA, I. Distinct light responses of the adaxial and abaxial stomata in intact leaves of *Helianthus annuus* L. *Plant Cell & Environment*, v. 31, p. 1307-1316, 2008. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3040.2008.01843.x>