



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

THAÍS MAZZANATTI

**MORFOANATOMIA E ECOFISIOLOGIA DE MUDAS
ACLIAMATADAS EM VIVEIRO DE TRÊS ESPÉCIES
ARBÓREAS DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL
UTILIZADAS EM REFLORESTAMENTOS**

Londrina
2014

THAÍS MAZZANATTI

**MORFOANATOMIA E ECOFISIOLOGIA DE MUDAS
ACLIAMATADAS EM VIVEIRO DE TRÊS ESPÉCIES
ARBÓREAS DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL
UTILIZADAS EM REFLORESTAMENTOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Londrina como um dos requisitos à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Edmilson Bianchini.

Londrina
2014

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina.**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

M477m Mazzanatti, Thaís.
Morfoanatomia e ecofisiologia de mudas aclimatadas em viveiro de três espécies arbóreas de floresta estacional semidecidual utilizadas em reflorestamentos \ Thaís Mazzanatti. – Londrina, 2014. 77 f. : il.

Orientador: Edmilson Bianchini.
Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, 2014.
Inclui bibliografia.

1. Aclimação – Teses. 2. Plantas – Efeito da luz – Teses. 3. Árvores – Mudas – Qualidade – Teses. 4. Reflorestamento – Teses. 5. Botânica – Teses. I. Bianchini, Edmilson. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas. III. Título.

CDU 581.5

THAÍS MAZZANATTI

**MORFOANATOMIA E ECOFISIOLOGIA DE MUDAS ACLIMATADAS
EM VIVEIRO DE TRÊS ESPÉCIES ARBÓREAS DE FLORESTA
ESTACIONAL SEMIDECIDUAL UTILIZADAS EM
REFLORESTAMENTOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Londrina como um dos requisitos à obtenção do título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Edmilson Bianchini
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Valdir Zucareli
Universidade Estadual de Maringá – UEM

Prof. Dra. Renata Stolf Moreira
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Waldemar Zangaro Filho
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Cássio Egidio Cavenaghi
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 25 de Julho de 2014.

CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
BIOLÓGICAS

DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Discente: **Thais Mazzanatti**

Título: "Morfoanatomia e ecofisiologia de mudas aclimatadas em viveiro de três espécies arbóreas de floresta estacional semidecidual".

Data da Defesa: 25 de julho de 2014 – 08:30 hs, na sala de aula da Pós-Graduação em Ciências Biológicas do Centro de Ciências Biológicas, desta Universidade.

Banca Examinadora

Parecer

Presidente:
Dr. Edmilson Bianchini

APROVADA

Titulares:
Dr. Valdir Zucareli

Aprovada

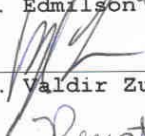
Dr^a. Renata Stolf Moreira

Aprovada

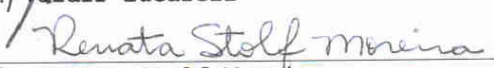
Parecer Final APROVADA



Dr. Edmilson Bianchini



Dr. Valdir Zucareli



Dr^a. Renata Stolf Moreira

*Aos meus pais, Aramiz e Eliana,
meu irmão, Rafael,
e ao Thiago,
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Aramiz Mazzanatti Junior e Eliana Botter Mazzanatti, ao meu irmão, Rafael Mazzanatti, e à minha avó, Maria Tondato Mazzanatti, pelo apoio incondicional e por serem minha inspiração;

Ao professor Dr. Moacyr Eurípedes Medri, pela oportunidade inicial de desenvolver este trabalho, pelo carinho e amizade;

Ao professor Dr. Edmilson Bianchini pela orientação, correções e análises críticas e pontuais que enriqueceram e contribuíram para a elaboração desta dissertação;

Aos professores Dra. Renata Stolf Moreira, Dr. Halley Caixeta de Oliveira e Dr. José Antonio Pimenta e pelo auxílio constante, disposição, análises e sugestões que contribuíram para realização desta dissertação;

Ao meu parceiro de laboratório Anderson Kikuchi Calzavara, pelo apoio, confiança, dedicação e paciência ao me auxiliar na elaboração desta dissertação. Obrigada pela amizade e companheirismo durante todo esse tempo em que estivemos trabalhando juntos, espero que nossa amizade perdure;

Ao Thiago Ganimi Machado, pelo amor, respeito e incentivo, pela presença constante e por me amparar em todos os momentos;

As minhas amigas do Laboratório de Anatomia Vegetal, Juliana, Marcela e Tatiane pela convivência prazerosa, pelos momentos de descontração e amizade;

Aos professores Dr. José Antonio Pimenta e Dr. Halley Caixeta de Oliveira, pelas contribuições no meu exame de qualificação;

Aos professores Dra. Renata Stolf Moreira e Prof. Dr. Valdir Zucareli, pela disposição à correção desta dissertação e pelas valiosas contribuições no meu exame de defesa;

À equipe do Laboratório de Biodiversidade e Restauração de Ecossistemas da Universidade Estadual de Londrina, pelo auxílio técnico e pela disponibilização do espaço e equipamentos necessários para elaboração desta dissertação;

À todos os professores do Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Londrina por enriquecer o nosso conhecimento científico;

À CAPES, Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela bolsa de estudos concedida;

À Universidade Estadual de Londrina, pela minha formação profissional.

Meus sinceros agradecimentos.

MAZZANATTI, Thaís. **Morfoanatomia e ecofisiologia de mudas aclimatadas em viveiro, de três espécies arbóreas de Floresta Estacional Semidecidual utilizadas em reflorestamentos.** 2014. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

RESUMO

A Mata Atlântica é o bioma mais ameaçado do Brasil e apresenta alta prioridade de conservação. O plantio de árvores em áreas degradadas pode ter grande potencial na recuperação florestal e, assim, contribuir para a conservação da biodiversidade deste bioma. Neste contexto, destaca-se a importância da produção de mudas de qualidade, pois aumentam a chance de sobrevivência e a capacidade das mesmas de resistir às condições adversas no campo. Quando as plantas são expostas às alterações nas condições do ambiente, a maioria delas é capaz, em maior ou menor grau, de se aclimatar à mudança ocorrida, isto porque a aclimação promove alterações fisiológicas, anatômicas e morfológicas. Objetivou-se avaliar as respostas de trocas gasosas foliares, morfológicas, anatômicas e os índices de qualidade de mudas ao processo de aclimação, implementado por viveiristas, de três espécies arbóreas utilizadas em reflorestamentos de Floresta Estacional Semidecidual. As mudas de *Aegiphila integrifolia* (Jacq.) Moldenke, *Guazuma ulmifolia* Lam. e *Heliocarpus popayanensis* Kunth, selecionadas para este experimento, foram cultivadas em dois setores de um viveiro: setor de crescimento, sob 40% de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (sombreado) e a sol pleno (aclimatado), durante 168 dias. Com a aclimação, as mudas de *H. popayanensis* apresentaram aumentos da assimilação líquida de CO₂ (Amax) e da eficiência do uso da água (EUA) e redução na condutância estomática (gs) e na taxa de transpiração (E). As folhas desenvolvidas de *H. popayanensis*, durante a aclimação, expandiram-se menos, com parênquimas clorofilianos mais espessos e houve redução da área foliar específica (AFE). O índice de qualidade de Dickson (IQD), a relação altura/diâmetro do colo (RAD) e a relação da massa de matéria seca da parte aérea/massa de matéria seca das raízes (RPAR) indicaram qualidade superior nas mudas aclimatadas desta espécie. Sob sol pleno, as folhas formadas de *G. ulmifolia* desenvolveram-se menos e houve espessamento do parênquima paliçádico e maior densidade estomática; estas folhas apresentaram aumentos na gs e na E, mas a Amax não diferiu, em relação ao sombreado. A RPAR indicou qualidade superior nas mudas aclimatadas de *G. ulmifolia*, entretanto, a RAD e o IQD, sugeriram o oposto. Durante a aclimação, as folhas de *A. integrifolia* desenvolveram-se com características típicas de folhas de sol, como redução da AFE, maior espessura do limbo foliar, devido ao desenvolvimento dos parênquimas clorofilianos e maior densidade estomática. Elas apresentaram aumentos na Amax, gs e na E. Nesta espécie, pelos índices RAD e RPAR, não foi possível estimar a qualidade das mudas aclimatadas e não aclimatadas. Entretanto, o IQD indicou que a aclimação diminuiu a qualidade das mudas de *A. integrifolia*. A análise dos resultados obtidos evidenciou que as mudas das três espécies, após a transferência da condição sombreada para o setor de rusticificação do viveiro, foram capazes de se aclimatar à alta irradiância apresentando diferentes respostas em relação aos parâmetros analisados. Quando submetidas à aclimação, de fato, as mudas destas espécies apresentaram características de rusticidade, especialmente nas folhas, que podem favorecê-las na fase inicial de estabelecimento em campo. Entretanto, para as espécies nativas estudadas, os índices de qualidade utilizados foram inadequados para expressar a maior rusticidade (qualidade) das mudas aclimatadas.

Palavras-chave: Aclimação. Luminosidade. Morfologia e anatomia de plantas. Qualidade de mudas. Trocas gasosas.

MAZZANATTI, Thaís. **Morphoanatomy and ecophysiology of acclimated seedlings in nurseries of three tree species used in reforestation of Seasonal Semideciduous Forest.** 2014. 77 p. Dissertation (Master's Degree in Biological Sciences) – State University of Londrina, Londrina. 2014.

ABSTRACT

The Atlantic Forest is the most threatened biome in Brazil and has a high priority for conservation. The planting of trees in degraded areas may have great potential in forest restoration and thus contribute to the conservation of the biodiversity of this biome. In this context, the production of higher quality seedlings is essential because it increases the chance of survival and the ability of them to withstand the adverse conditions in the field. When plants are exposed to changes in environmental conditions most of them are capable, to a greater or lesser degree, to acclimate to the change occurred, because the acclimation promotes physiological, anatomical and morphological changes. We aimed to evaluate the gas exchange, morphological and anatomical responses and quality indexes to the acclimation process implemented by nurserymen in seedlings of three tree species used in reforestation of Seasonal Semideciduous Forest. Seedlings of *Aegiphila integrifolia* (Jacq.) Moldenke, *Guazuma ulmifolia* Lam. and *Heliocarpus popayanensis* Kunth, selected for this experiment were grown in a nursery in two sectors: growth sector under 40% of total photosynthetic photon flux density (shaded) and full sun (acclimated) for 168 days. The acclimated seedlings of *H. popayanensis* showed increases photosynthesis (A_{max}) and the efficiency of water use (WUE) and reduction in stomatal conductance (g_s) and transpiration rate (T). Their leaves developed during acclimation were smaller, with thicker chlorophyllian parenchyma and decreased specific leaf area (SLA). The Dickson Quality Index (DQI), the ratio shoot height/stem diameter (SH/SD) and the ratio dry mass shoot/dry mass root (S/R) indicated higher quality in acclimated seedlings of this species. Under full sun, the *G. ulmifolia* leaves were smaller and there was thickening of the palisade parenchyma and higher stomatal density. They showed increases in g_s and T, but A_{max} did not differ in relation to shading. The S/R indicated high quality in seedlings acclimated of the *G. ulmifolia*, however, the SH/SD and DQI, suggested the opposite. During acclimation, the leaves of *A. integrifolia* showed typical characteristics of sun leaves, such as reduction of SLA, greater leaf thickness, due to the greater development of chlorophyllian parenchyma, and higher stomatal density. They showed increases in A_{max} , g_s and T. In this species, it was not possible to estimate the quality of seedlings by the SH/SD and S/R indexes. However, DQI indicated that acclimation decreased the quality of the seedlings. The results showed that the seedlings of the three species were able to acclimate to high irradiance, with different answers regarding the parameters analyzed. The seedlings of these species showed characteristic of rusticity, especially in the leaves, which may favor them in the establishment phase in the field. However, in the native species studied, the quality indexes used were inadequate to express the more rusticity (quality) of acclimated seedlings.

Keywords: Acclimation. Gas exchange. Light intensity. Plant morphology and anatomy. Seedling quality.

LISTA DE FIGURAS

INTRODUÇÃO GERAL

- Figura 1** – Indivíduo adulto de *Aegiphila integrifolia* (tamanqueiro) (A). Disponível em: <http://www.arvores.brasil.nom.br/new/papagaio/index.htm>. Acesso em: maio de 2014. Árvore de *Guazuma ulmifolia* (mutambo) (B). Disponível em: http://www.zhiwutong.com/dan_tu/138/111019.htm. Acesso em: maio de 2014. Exemplar adulto de *Heliocarpus popayanensis* (jangadeiro) (C). Disponível em: <http://ibflorestas.org.br/loja/muda-40a60-pau-jangada.html>. Acesso em: maio de 2014 23

ARTIGO

- Figura 1** – Trocas gasosas foliares e número de folhas de mudas de *Heliocarpus popayanensis* cultivadas sob 40% de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (■ - sombreado) e sob pleno sol (○ - aclimatado). A - assimilação líquida de CO₂ (Amax), B - condutância estomática (gs), C - taxa de transpiração (E), D - eficiência do uso da água (EUA), ao longo de 168 dias de experimento. D - número de folhas desenvolvidas (NFD) e F - número de folhas total (NFT), ao longo de 56 e 168 dias de experimento, respectivamente. Diferenças significativas (p<0,05) pelo teste F (ANOVA) são indicadas com asteriscos (*). Barras verticais indicam o erro padrão (n = 9)..... 42
- Figura 2** – Trocas gasosas foliares e número de folhas de mudas de *Guazuma ulmifolia* cultivadas sob 40% de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (■ - sombreado) e sob pleno sol (○ - aclimatado). A - assimilação líquida de CO₂ (Amax), B - condutância estomática (gs), C - taxa de transpiração (E), D - eficiência do uso da água (EUA), ao longo de 168 dias de experimento. D - número de folhas desenvolvidas (NFD) e F - número de folhas total (NFT), ao longo de 56 e 168 dias de experimento, respectivamente. Diferenças significativas (p<0,05) pelo teste F (ANOVA) são indicadas com asteriscos (*). Barras verticais indicam o erro padrão (n = 9) 48

Figura 3 – Trocas gasosas foliares e número de folhas de mudas de *Aegiphila integrifolia* cultivadas sob 40% de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (■ - sombreado) e sob pleno sol (○ - aclimatado). A - assimilação líquida de CO₂ (Amax), B - condutância estomática (gs), C - taxa de transpiração (E), D - eficiência do uso da água (EUA), ao longo de 168 dias de experimento. D - número de folhas desenvolvidas (NFD) e F - número de folhas total (NFT), ao longo de 56 e 168 dias de experimento, respectivamente. Diferenças significativas (p<0,05) pelo teste F (ANOVA) são indicadas com asteriscos (*). Barras verticais indicam o erro padrão (n = 9)..... 49

LISTA DE TABELAS

ARTIGO

- Tabela 1** – Características morfoanatômicas da folha (média ± erro padrão, n = 9) das três espécies de mudas cultivadas sob 40% de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (sombreado) e sob pleno sol (aclimatado). AFE = área foliar específica. Diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo teste F (ANOVA) são indicadas com asteriscos..... 43
- Tabela 2** – Porcentagem de área do pecíolo (média ± erro padrão, n = 9) das três espécies de mudas cultivadas sob 40% de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (sombreado) e sob pleno sol (aclimatado). Diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo teste F (ANOVA) são indicadas com asteriscos..... 44
- Tabela 3** – Porcentagem de área do caule (média ± erro padrão, n = 9) das três espécies de mudas cultivadas sob 40% de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (sombreado) e sob pleno sol (aclimatado). Diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo teste F (ANOVA) são indicadas com asteriscos..... 45
- Tabela 4** – Características morfológicas (média ± erro padrão, n = 9) das três espécies de mudas cultivadas sob 40% de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (sombreado) e sob pleno sol (aclimatado). Relação altura da parte aérea/diâmetro do colo (RAD), relação massa de matéria seca da parte aérea/massa de matéria seca de raízes (RPAR) e índice de qualidade de Dickson (IQD). Diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo teste F (ANOVA) são indicadas com asteriscos 47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	12
1.1 REFLORESTAMENTO E A PRODUÇÃO DE MUDAS DE QUALIDADE.....	12
1.2 PLASTICIDADE FENOTÍPICA E ACLIMATAÇÃO.....	16
1.3 TROCAS GASOSAS E ANATOMIA DA FOLHA.....	18
2 ESPÉCIES ESTUDADAS	22
2.1 AEGIPHILA INTEGRIFOLIA (JACQ.) MOLDENKE (LAMIACEAE)	22
2.2 GUAZUMA ULMIFOLIA LAM. (MALVACEAE).....	22
2.3 HELIOCARPUS POPAYANENSIS KUNTH (MALVACEAE).....	23
REFERÊNCIAS	24
MORFOANATOMIA E ECOFISIOLOGIA DE MUDAS ACLIMATADAS EM VIVEIRO DE TRÊS ESPÉCIES ARBÓREAS UTILIZADAS EM REFLORESTAMENTO DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL	34
RESUMO	34
ABSTRACT	35
INTRODUÇÃO.....	35
MATERIAL E MÉTODOS	38
Área de Estudo, Espécies e Instalação do Experimento.....	38
Análise de Trocas Gasosas Foliaves	39
Análises Anatômicas	39
Análises Morfológicas, de Crescimento e Índices de Qualidade de Mudas.....	40
Análise dos Dados	41
RESULTADOS	41
DISCUSSÃO	50
CONCLUSÕES.....	58
AGRADECIMENTOS	59
REFERÊNCIAS	59
APÊNDICES	67
ANEXO	71

1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 REFLORESTAMENTO E PRODUÇÃO DE MUDAS DE QUALIDADE

Considerada um dos *hotspots* em biodiversidade a Mata Atlântica é o bioma mais ameaçado do Brasil e apresenta alta prioridade de conservação (MITTERMEIER et al., 2000; MYERS et al., 2000). Originalmente, o bioma abrangia uma área equivalente a 1.315.460 km² do território brasileiro e, atualmente, de sua extensão original restam somente 8,5% de remanescentes florestais que, em sua maioria, encontram-se isolados e reduzidos a pequenos fragmentos (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2013; GASCON; WILLIAMSON; FONSECA, 2000). A perda e a degradação de habitat são as principais causas de ameaças à sua biodiversidade (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2011), pois resultam em diminuição de ecossistemas, da riqueza de espécies, do tamanho das populações, da variabilidade genética e dos processos ecológicos e evolutivos que mantêm essa diversidade (BORGES, 2012; MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2011). Diante disto, a conservação dos fragmentos remanescentes e da biodiversidade da Mata Atlântica, representa um desafio para preservação das florestas no Brasil, principalmente pelo avançado processo de desmatamento (ALMEIDA; GOMES; QUEIROZ, 2011; RIBEIRO et al. 2009).

A preocupação com a conservação da biodiversidade desse bioma vem unindo o poder público, organizações não governamentais e proprietários rurais a fim de iniciar programas de restauração e recuperação de áreas degradadas (ALMEIDA; GOMES; QUEIROZ, 2011; RIBEIRO et al., 2009; VIEIRA et al., 2011). O plantio de árvores em áreas degradadas, por exemplo, pode ter grande potencial na recuperação florestal e, assim, contribuir para a conservação da Mata Atlântica (FONSECA et al. 2009; SABBI; ÂNGELO; BOERGER, 2010).

A implantação de reflorestamentos, utilizando-se de espécies nativas, tem sido uma prática adotada em diversas regiões do país (ALMEIDA; GOMES; QUEIROZ, 2011), pois contribui para aumentar a proteção e a qualidade do solo, favorecer a retenção de água, aumentar o sequestro de carbono e a conservação da diversidade biológica e dos processos ecológicos (ALMEIDA; GOMES; QUEIROZ, 2011; CORTINA; VILAGROSA; TRUBAT, 2013).

Nos últimos anos, o maior interesse por espécies arbóreas nativas para a recuperação de áreas degradadas levou à maior produção de mudas e o êxito dos plantios está diretamente associado com a qualidade morfofisiológica das plantas produzidas

(ANTONIAZZI et al., 2013; FARIAS JUNIOR, et al., 2007; KELLER et al., 2009). O desenvolvimento de plantas mais vigorosas, ou seja, de alta qualidade permite maior chance de sucesso no campo e reduz a necessidade de replantios (FONSECA et al., 2002; LIMA et al., 2008; ROSA et al., 2009). Por esta razão, vários autores destacaram a importância de estudos de mudas em fase de viveiro (CRUZ et al., 2004; FARIAS JUNIOR et al., 2007; FONSECA et al., 2002; LIMA et al., 2008; SILVA et al., 2007), pois o conhecimento sobre as técnicas e os métodos de produção mais adequados para a atividade de um viveiro de mudas contribui para selecionar indivíduos e espécies que possam apresentar bom desempenho de crescimento em áreas degradadas (DUTRA 2010; FERREIRA; GONÇALVES; FERRAZ, 2012).

O processo de produção de mudas florestais em viveiro é, normalmente, dividido em três fases: germinação, crescimento e rustificação (aclimatação), sendo que, esta última baseia-se na aplicação de um ou mais tipos de estresse, visando simular as possíveis situações encontradas após o plantio (SCREMIN-DIAS et al., 2006; SILVA, 2003). A fase inicial do desenvolvimento das plantas é um período crítico em seu ciclo biológico, pois nesta fase as mudas mostram-se mais susceptíveis aos fatores ambientais. Se as mudas não forem capazes de tolerar os efeitos que estes estresses promovem elas não se desenvolverão, já que as suas reservas são escassas (WALTER et al., 2007). Desta forma, os danos causados por fatores bióticos e abióticos nas mudas, logo após o transplante do viveiro para o campo, podem ser minimizados ou mesmo evitados quando estas são submetidas ao processo de rustificação em viveiros florestais. A produção de mudas mais rústicas e aclimatadas (padrão de qualidade) aumentará a probabilidade dos indivíduos resistirem às condições adversas do campo, sobreviverem e crescerem satisfatoriamente (CLAUSSEN, 1996; DURYEA, 1985; GOMES et al., 2002; JACOBS; SALIFU; SEIFERT, 2005; LOPES et al., 2009).

Diversas variáveis têm sido utilizadas para analisar as respostas de crescimento das mudas e podem indicar melhores condições de sobrevivência no campo (CARVALHO et al., 2006). Na maioria dos casos, estas avaliações são feitas com base em caracteres morfológicos e índices de alocação de biomassa (CHAVES; PAIVA 2004; GOMES et al., 2002). A análise dos efeitos da aclimatação das mudas em viveiro sobre os diferentes parâmetros morfológicos, permitem aos viveiristas identificar características ou um grupo de características no crescimento inicial da espécie que indiquem maior possibilidade de sucesso no desenvolvimento em campo (CHAVES; PAIVA, 2004; COSTA et al., 2011; RAWAT; SINGH, 2000).

Os parâmetros morfológicos, como a altura da parte aérea e o diâmetro do colo, são utilizados com maior frequência para avaliação da qualidade (vigor) de mudas em viveiros florestais, uma vez que são fáceis de mensurar (DURYEA, 1985; FONSECA et al., 2002; GOMES et al., 2002). Algumas relações entre os parâmetros morfológicos têm sido usadas para avaliar a qualidade das mudas em viveiros: a relação da altura da parte aérea/diâmetro do colo (RAD), a relação da massa de matéria seca da parte aérea/massa de matéria seca de raízes (RPAR) e o índice de qualidade de Dickson (IQD), que considera a produção total de massa de matéria seca e a sua alocação na da parte aérea e nas raízes (RPAR) bem como a RAD (CHAVES; PAIVA, 2004; CLAUSSEN, 1996; FARIAS et al., 1997; GOMES et al., 2002).

Informações precisas sobre procedimentos para produção de mudas de espécies arbóreas nativas no Brasil são escassas, existindo apenas para aquelas que detêm maior interesse econômico (SCALON et al., 2006). Em geral, os viveiros estão voltados à produção de um número reduzido de espécies, mais especificamente de pinus e de eucalipto (CARVALHO, 2000), e o uso dos parâmetros morfológicos, citados na literatura, são considerados os mais adequados na determinação do padrão de qualidade das mudas destas espécies, sob diferentes condições em viveiro ou em campo (DOBNER JÚNIOR, et al. 2013; DURYEA; LANDIS, 1984; GOMES et al., 2002; GOMES, et al., 2003; LI, 1998). Para a definição de um padrão de qualidade para mudas nativas, alguns parâmetros devem ser semelhantes ao eucalipto e ao pinus, como boa sanidade, sistema radicial bem formado, caule rígido e sem sintomas de deficiência nutricional. Porém, em razão da variabilidade genética das espécies nativas e suas exigências ecológicas particulares, é um desafio estabelecer os parâmetros de qualidade (DELGADO, 2012). Desta forma, na maioria das vezes, muitos parâmetros, bem como suas relações que são utilizadas para avaliar a qualidade de uma muda, podem não expressar, adequadamente, essa qualidade, uma vez que este padrão pode variar de acordo com a espécie estudada (GOMES et al., 2002; JESUS et al., 1987).

A RAD, considerada como indicador de robustez, tem sido usada com maior frequência para avaliar a qualidade de mudas em viveiros, pois ela foi correlacionada com maior crescimento e sobrevivência de mudas, em alguns casos (FARIAS et al., 1997; GOMES et al., 2002; JACOBS; SALIFU; SEIFERT, 2005; SILVA et al., 2011; TATAGIBA et al., 2009). Mudanças com maior diâmetro de caule possuem maior armazenamento de substâncias de reserva, como carboidratos e nutrientes nos tecidos internos, que estarão disponíveis para suprir as demandas da planta até que o contanto entre as raízes e o solo seja restabelecido para explorar os recursos locais após o plantio (JACOBS; SALIFU; SEIFERT,

2005; JOHNSON; SHIFLEY; ROGERS, 2002; SCREMIN-DIAS et al., 2006). Além disso, o maior diâmetro do colo revela maior robustez da muda e pode aumentar a resistência das plantas contra possíveis danos físicos garantindo maior sustentação à planta (CLEARY; GREAVES; OWSTON, 1978; JACOBS; SALIFU; SEIFERT, 2005).

Plantas que apresentam maior crescimento em altura, nem sempre representará desenvolvimento eficiente, pois pode ser reflexo do estiolamento, ou seja, um investimento inicial pronunciado no alongamento vertical do caule em resposta ao sombreamento, característica típica de espécies intolerantes à sombra (CHIAMOLERA et al., 2011; POORTER, 2001; POORTER et al., 2012). Desta forma, deve-se ter cuidado ao utilizar somente a altura na indicação da qualidade de uma muda (MATTSSON, 1996). Mudanças com alturas excessivas, sem um correspondente espessamento no diâmetro do colo, podem ter a sustentação da parte aérea comprometida e apresentarem tombamento, resultando em alteração no padrão de qualidade da planta. Portanto, a RAD é uma variável que indica qualidade das mudas para serem levadas ao campo, uma vez que se espera um equilíbrio de desenvolvimento (AGUIAR et al., 2011; CAMPOS; UCHIDA, 2002). Desta forma, mudas com menor diâmetro e alturas elevadas podem ser, em muitos casos, consideradas de qualidade inferior às menores e com maior diâmetro (FREITAS et al., 2012; VIANA et al., 2008).

Mudas que apresentam maior acúmulo de biomassa voltado para a parte aérea, em detrimento à raiz (alto valor de RPAR), podem ter a capacidade reduzida de seu sistema radicular em suprir fornecimento de água e íons (POORTER; NAGEL, 2000) e, possivelmente, poderão ter o crescimento afetado após o plantio (MORAES et al., 2010), por apresentarem um desequilíbrio de desenvolvimento entre as diferentes partes da planta (CAMPOS; UCHIDA, 2002). Mudanças com baixo valor de RPAR demonstram um melhor desenvolvimento do sistema radicular, o que deve contribuir para aumentar as taxas de absorção de água e íons, estimulando o crescimento sob alta irradiação (POORTER; NAGEL, 2000, POORTER, 2001, POORTER et al., 2012), com maiores chances de sobrevivência em campo e, portanto, maior qualidade.

O índice de qualidade de Dickson considera diversos parâmetros morfológicos empregados na avaliação de qualidade e indica o equilíbrio da distribuição de biomassa da muda, sendo ponderados vários parâmetros considerados importantes (FONSECA et al., 2002). Este índice foi desenvolvido por Dickson; Leaf e Hosner (1960) estudando o comportamento de mudas em viveiro de *Picea glauca* (Moech) Voss (white-spruce) e *Pinus monticola* Dougl. Ex D. Don. (white-pine), a fim de obter um índice que

pudesse indicar a qualidade das mudas. Segundo os autores, quanto maior o índice obtido, melhor é a qualidade da muda. Embora este índice seja considerado uma medida morfológica promissora, precisa ser melhor explorado, pois não há na literatura valores de referência para a classificação da qualidade de mudas de diferentes espécies arbóreas nativas, o que pode dificultar a análise dos resultados obtidos (FERRAZ; ENGEL, 2011; LELES et al., 2006).

1.2 PLASTICIDADE FENOTÍPICA E ACLIMATAÇÃO

A plasticidade fenotípica é definida como a capacidade que um determinado genótipo tem de expressar diferentes fenótipos em resposta às diversas condições do ambiente (NICOTRA, et al., 2010; SULTAN, 2000). De acordo com Aranda et al. (2004), a plasticidade é a chave para entender as estratégias adaptativas das espécies florestais, pois ela proporciona o potencial para modificar os caracteres funcionais e estruturais que determinam o desenvolvimento da planta quando ocorrem mudanças na disponibilidade de recursos. Portanto, a plasticidade fenotípica é fundamental para a sobrevivência e o sucesso de desenvolvimento de uma planta crescendo em uma condição específica, como certo grau de luminosidade ou de umidade do solo (IVANCICH et al., 2012).

Segundo Chazdon et al. (1996), a aclimatação é tratada como o processo pelo qual a plasticidade pode ser expressa. Na folha, a aclimatação da planta à variação de luz no ambiente pode ser expressa por meio de ajustes fisiológicos, morfológicos e anatômicos de forma a manter ou aumentar a capacidade de ganho de carbono em um novo ambiente (HANBA; KOGAMI; TERASHIMA, 2002; WYKA; ROBAKOWSKI; ZYTKOWIAK, 2007), que resulta em alterações no padrão de crescimento e produção das plantas (BJÖRKMAN, 1981). As alterações de características, em função do nível de luminosidade, podem ser observadas em folhas maduras pré-existentes (relacionadas principalmente aos ajustes bioquímicos), porém a aclimatação, em geral, é mais pronunciada nas folhas emitidas após a submissão a uma nova condição (YAMASHITA et al., 2000). A aclimatação da planta também pode ocorrer em resposta a outros fatores ou recursos como temperatura, umidade e níveis atmosféricos de CO₂ (WALTERS, 2005).

A luz é um dos recursos ambientais mais importantes para o estabelecimento, o crescimento e a sobrevivência das plantas em florestas tropicais (POORTER, 2001) e as mudanças que ocorrem na fisiologia e/ou morfoanatomia foliar em resposta a alterações na luminosidade são essenciais para os vegetais (ROÇAS; BARROS; SCARANO, 1997; WYKA; ROBAKOWSKI; ZYTKOWIAK, 2008; XU et al., 2009).

Portanto, a aclimação parece proporcionar às plantas uma vantagem competitiva, sobretudo, em locais heterogêneos ou sujeitos a alterações ambientais; e as plantas com alto potencial de aclimação são as mais prováveis de desenvolver em ambientes variáveis (WALTERS, 2005).

A capacidade de aclimação a mudanças na luminosidade é variável de espécie para espécie e pode depender do gradiente de luz que recebem (POORTER, 1999). Espécies sucessionais iniciais ou intolerantes à sombra, têm alta plasticidade fenotípica apresentando alto potencial de aclimação à maior intensidade luminosa, enquanto que as espécies tardias ou tolerantes à sombra exibem baixo potencial de aclimação a irradiância e têm uma resposta plástica mais restrita em relação às alterações ambientais (FAVARETTO et al., 2011; GIVNISH, 1988; STRAUSS-DEBENEDETTI; BAZZAZ, 1991).

Em resposta aos diferentes níveis de luz, as plantas aclimatam-se desenvolvendo folhas de sol ou de sombra, as quais são formadas em resposta a alta ou baixa irradiância, respectivamente (YANO; TERASHIMA, 2004). Plantas que crescem em locais sombreados apresentam uma série de características distintas, tanto no aspecto fisiológico quanto no morfológico, daquelas desenvolvidas sob maior intensidade luminosa (BORGES, 2012). Em geral, folhas de sol, quando comparadas com às desenvolvidas sob sombra, são tipicamente mais espessas, menores e com parênquima paliçádico mais espesso, menor área foliar específica, maior concentração de nitrogênio por área foliar, menos clorofila por unidade de massa foliar (com empobrecimento de clorofila b), maiores concentrações de Rubisco (ribulose bisfosfato carboxilase-oxigenase) e de carregadores de transporte de elétrons por unidade de área foliar, maior ponto de compensação luminoso, mais pigmentos fotoprotetores (como carotenóides), além disso, podem ter cloroplastos menores e menos dispostos perpendicularmente à superfície foliar (GIVNISH, 1988; MAXWELL et al., 1999; NIINEMETS, 2007; WALTERS, 2005). Devido a estas características, folhas de sol são mais tolerantes à alta luminosidade, em consequência das maiores taxas de assimilação de carbono e capacidade de dissipar o excesso de energia luminosa, enquanto folhas de sombra são mais susceptíveis a sofrer danos causados pela exposição ao excesso de luz (DEMMIG-ADAMS; ADAMS, 1992). Por esta razão, as plantas de sombra não devem apresentar estabelecimento satisfatório em áreas abertas, sem antes passarem pelo processo de aclimação (MATTSSON, 1996).

1.3 TROCAS GASOSAS E ANATOMIA DA FOLHA

Em razão dos estratos encontrados nas florestas tropicais, a intensidade de luz que atinge o dossel é diferente da intensidade que chega no sub-bosque, levando a formação de gradientes de luz (VALLADARES et al., 2000; YANG et al., 2014). Dessa forma, o desenvolvimento e a sobrevivência das plantas é dependente da sua capacidade de aclimação tanto aos aumentos repentinos na irradiância, causadas por ruptura no dossel, quanto de tolerar baixos níveis de luz por longos períodos, até a formação de uma clareira, por exemplo (DELAGRANGE et al., 2004). Compreender essa capacidade de resposta às variações locais na disponibilidade de recursos é fundamental para o entendimento do equilíbrio e dinâmica das comunidades florestais (ROSSATTO et al., 2010).

Embora a luz seja um recurso indispensável para a fotossíntese, tanto a baixa disponibilidade quanto o excesso podem limitar o desempenho da planta (VALLADARES; NIINEMETS, 2008). Enquanto baixos níveis de luz podem resultar na diminuição no ganho de carbono e, conseqüentemente, no crescimento (ALERIC; KIRKMAN, 2005), o excesso muitas vezes pode causar efeitos deletérios nas plantas induzindo ao processo de fotoinibição da fotossíntese e até mesmo resultar na morte das plantas (JORDAN; DILLON; WESTON, 2005; KITAO et al., 2000; LONG; HUMPHRIES; FALKOWSKI, 1994). Contudo, no seu processo evolutivo, as plantas selecionaram estratégias que podem aumentar a interceptação de luz e otimizar o ganho de carbono e, ao mesmo tempo, desenvolveram adaptações que possibilitaram reduzir os possíveis danos ao aparelho fotossintético (LONG; HUMPHRIES; FALKOWSKI, 1994; NIINEMETS; KULL; TENHUNEN, 1998).

Quando plantas cultivadas à sombra são transferidas para sol pleno, elas podem não ser capazes de aclimatar-se rapidamente a essa nova condição, em razão do excesso de estimulação do aparelho fotossintético que leva a um declínio na atividade fotossintética e, como consequência, afeta o crescimento e produtividade da planta como resultado da fotoinibição (ALVES; MAGALHÃES; BARJA, 2002; KRAUSE et al., 2004; LONG; HUMPHRIES; FALKOWSKI, 1994). A fotoinibição é causada por danos e inativação da proteína D1 no centro de reação do fotossistema II (FSII), seguido por degradação e biossíntese desta proteína (KRAUSE et al., 2004). O dano provocado no FSII impede a oxidação de moléculas de água e as reações de transferência de elétrons, causando a redução na assimilação líquida de carbono (KITAO et al., 2000; LONG; HUMPHRIES; FALKOWSKI, 1994). Em alguns casos, as folhas maduras que a princípio sofreram

fotoinibição podem passar por uma fotoxidação dos pigmentos fotossintetizantes, seguido de abscisão parcial ou total das folhas (ALVES; MAGALHÃES; BARJA, 2002; CUZZOL; MILANEZ, 2012). No entanto, muitas espécies são capazes de se aclimatar quando submetidas a mudanças nas condições de luminosidade, sendo a resposta de aclimação variável conforme a espécie e dependente da intensidade de luz que as plantas recebem (POORTER 1999; YAMASHITA et al., 2000). Assim, se uma planta sobrevive à fotoinibição e os danos fotoxidativos causados pelo excesso de luminosidade, os aspectos fisiológicos (funcionais) e morfológicos (estruturais) começam a se modificar em direção àqueles que as plantas de sol possuem, e tais mudanças são referidas como aclimação (CLAUSSEN, 1996).

Diferentes níveis de luz afetam as estruturas foliares que reduzem a perda de água e a temperatura foliar, como cutícula mais espessa e maior frequência de tricomas; e as relacionadas com a fotossíntese, como parênquima paliçádico mais espessos e presença de estômatos mais numerosos e de menores tamanho (ROSSATTO; KOLB, 2010). Geralmente, as folhas de sol apresentam o parênquima paliçádico bem desenvolvido, o mesofilo espesso, menores área foliar e área foliar específica (AFE) e alta densidade estomática, enquanto que as folhas de sombra são maiores, mais finas, com parênquima paliçádico menos desenvolvido e menor densidade estomática (GIVNISH, 1988; KLICH, 2000; NIINEMETS; FLECK, 2002; SMITH et al., 1997; TERASHIMA et al., 2006).

A AFE está diretamente relacionada ao investimento em estruturas foliares (ROSSATTO et al., 2010) e representa a razão entre a área e a massa seca da folha (GRISI et al., 2011; POORTER; NAGEL, 2000). Geralmente, a menor AFE está associada com o aumento da espessura da lâmina foliar que ocorre principalmente em resposta ao desenvolvimento do parênquima paliçádico (SMITH et al., 1997). Normalmente, a área foliar específica é reduzida em resposta ao aumento da irradiância o que implica em menor superfície de absorção da luz, que pode contribuir para evitar a perda de água excessiva, a manutenção da taxa fotossintética, do crescimento e da sobrevivência das plantas a sol pleno (CUZZOL; MILANEZ, 2012; ROZENDAAL; HURTADO; POORTER, 2006).

Sob baixa irradiância, aumentar a área foliar é interpretada como uma maneira das plantas aumentarem a captação da luz (NIINEMETS; FLECK, 2002). Nessas condições, redução da espessura da folha e diferenças na alocação de biomassa nos tecidos foliares resulta no aumento da AFE (KWAK; LEE; WOO, 2011). Contudo, a maior área por volume foliar, devido à maior AFE, pode tornar a planta menos eficiente no controle da perda de água sob condições secas (ARANDA et al., 2005), pois temperaturas mais elevadas atingidas por folhas maiores sob alta irradiância, podem resultar em aumentos

desproporcionais na taxa de transpiração em relação à fotossíntese (MURPHY; JORDAN; BRODRIBB, 2012).

Os estômatos são responsáveis por controlar o movimento de gases entre a planta e a atmosfera. Quando o estômato está aberto, ocorre a entrada de CO₂, substrato para reações de carboxilação, nos espaços intercelulares das folhas e a saída de vapor de água (transpiração) (HETHERINGTON; WOODWARD, 2003; KUMEKAWA et al., 2013). O tamanho e a densidade dos estômatos podem mostrar plasticidade em resposta às condições ambientais, pois folhas de sol, normalmente, apresentam maior densidade estomática e menor tamanho dos estômatos (GIVNISH, 1988; ROSSATTO; KOLB, 2010). Em ambientes mais quentes e secos a maior densidade estomática, acompanhada por reduções no comprimento e largura dos estômatos, pode ser considerada uma resposta extremamente importante, pois contribuem para um melhor controle da transpiração (NAWAZISH; HAMEED; NAURIN, 2006). Além disso, o aumento no número de estômatos pode estar associado com a maior abertura estomática e aumento do influxo de carbono para a fotossíntese permitindo que a entrada de CO₂ seja mais eficiente (GALMÉS et al., 2007; PEARCE et al., 2006; ROSSATTO et al., 2010).

Embora a alta condutância estomática provoque elevadas taxas de assimilação líquida de CO₂, inevitavelmente envolve maiores perdas de água por transpiração (HANBA; KOGAMI; TERASHIMA, 2002; LEE, et al., 2000). A exposição de plantas à luz solar plena pode levar ao aumento na temperatura foliar, que resultam em elevado gradiente de pressão de vapor de água entre ar-folha que, eventualmente, pode levar à queda no potencial hídrico foliar (HANBA; KOGAMI; TERASHIMA, 2002; ZHANG et al., 2001). Isto induz o fechamento estomático e reduz a transpiração e a assimilação de carbono (KAMAKURA et al., 2011; MURAOKA et al., 1998). Contudo, ao regular a condutância estomática, as plantas são capazes de ajustar o suprimento de CO₂ para atender a demanda fotossintética minimizando a perda de água por transpiração (FARQUHAR; EHLERINGER; HUBICK, 1989).

Segundo Hanba; Kogami e Terashima (2002), sob condições de alta irradiância, aumentar a relação do ganho de carbono e a perda de água pela folha (eficiência do uso da água) pode ser uma aclimatação mais eficiente para manter o crescimento e evitar a murcha, ao invés de apenas aumentar a fotossíntese líquida. Entretanto, em espécies pioneiras, maiores taxas fotossintéticas máximas, associadas ao aumento da transpiração, contribuem para reduzir os efeitos do excesso de luz durante a exposição a altas luminosidades, devido à redução da temperatura foliar, o que minimiza o superaquecimento e fotoinibição nestas

espécies (KRAUSE et al., 2001; POORTER, 1999; ROZENDAAL; HURTADO; POORTER, 2006). Assim, alterações na condutância, na morfologia e anatomia da folha e na bioquímica fotossintética são aspectos fundamentais da aclimação da planta à alta irradiância e estão relacionadas com seu crescimento e sobrevivência (HANBA; KOGAMI; TERASHIMA, 2002).

Considerando a necessidade de plantios de espécies arbóreas nativas em áreas degradadas do Bioma Atlântico, a produção de mudas de maior qualidade (rusticidade) a fim de reduzir os custos destes reflorestamentos e o processo de aclimação em plantas, estudos ecofisiológicos das respostas de plantas relacionando-as com a intensidade luminosa podem gerar informações importantes para o sucesso dos projetos de restauração e conservação florestal (MENGARDA et al., 2009) e são fundamentais para a escolha adequada de espécies a serem utilizadas em determinados locais de plantio (SABBI; ÂNGELO; BOERGER, 2010).

Como o grau de rusticidade de mudas pode ser avaliado utilizando-se de mensurações de características relacionadas com trocas gasosas das folhas e de aspectos da morfologia e anatomia das plantas, este estudo teve como objetivo verificar a influência do processo de aclimação implementado pelo viveiro de mudas do Laboratório de Biodiversidade e Restauração de Ecossistemas da Universidade Estadual de Londrina, sobre mudas de três espécies arbóreas intolerantes à sombra utilizadas em reflorestamentos de Floresta Estacional Semidecidual.

2 ESPÉCIES ESTUDADAS

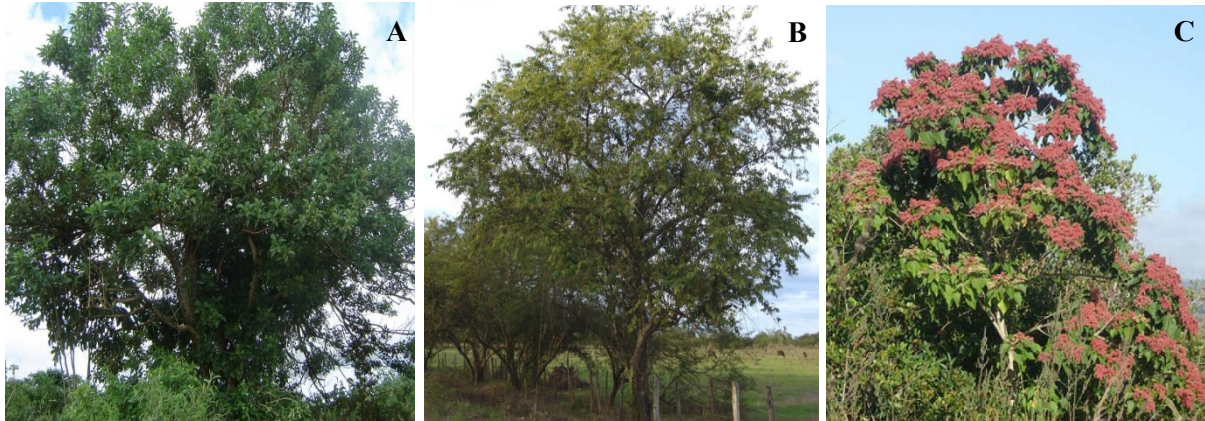
2.1 AEGIPHILA INTEGRIFOLIA (JACQ.) MOLDENKE (LAMIACEAE)

Conhecida popularmente como tamanqueiro ou pau-de-tamanco, *A. integrifolia* (Figura 1A), é uma árvore pioneira, decídua, heliófila, sendo característica de formações secundárias das florestas ombrófilas e semidecíduais, podendo ser encontrada nos biomas Amazônia, Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica (LORENZI, 2008). Espécie de pequeno porte e de rápido crescimento, *A. integrifolia*, é indicada tanto para recomposição de áreas degradadas quanto para paisagismo nas cidades (LORENZI, 2008). O período de floração ocorre nos meses de dezembro a janeiro, a maturação dos frutos ocorre nos meses de fevereiro a maio e suas sementes são dispersas principalmente pelas aves (LORENZI, 2008). Cresce bem em diferentes condições físicas do solo e é tolerante às queimadas (LORENZI, 2008). A sua madeira é leve, mole e de baixa durabilidade natural, sendo bastante empregada em obras internas, caixotaria, construção civil e confecções de tamancos (LORENZI, 2008).

2.2 GUAZUMA ULMIFOLIA LAM. (MALVACEAE)

Espécie pioneira de médio porte, *G. ulmifolia* (Figura 1B), popularmente conhecida como mutambo ou mutamba, é uma planta heliófila, que ocorre em praticamente todas as formações florestais da América tropical, especialmente na floresta estacional semidecidual, embora com distribuição descontínua e irregular (CARVALHO, 2007; DURIGAN et al., 2002; GALINA et al., 2005). É espécie de rápido crescimento e colonizadora de áreas desmatadas e, em florestas conservadas, concentra-se em clareiras e nas bordas (DURIGAN et al., 2002). Resiste a geadas fracas, mas não tolera solos encharcados (DURIGAN et al., 2002). A floração ocorre nos meses de novembro e dezembro e as sementes amadurecem em agosto e setembro, sendo dispersas pela fauna arborícola, especialmente aves (DURIGAN et al., 2002). Produz madeira leve e de baixa resistência e durabilidade, sem valor comercial significativo (DURIGAN et al., 2002). Contudo, esta espécie é de grande importância ecológica para reflorestamentos e arborização urbana, pois fornece sombreamento para espécies secundárias (DURIGAN et al., 2002).

Figura 1 – A - Indivíduo adulto de *Aegiphila integrifolia* (tamanqueiro). Disponível em: <http://www.arvores.brasil.nom.br/new/papagaio/index.htm>. Acesso em: maio de 2014. B - Árvore de *Guazuma ulmifolia* (mutambo). Disponível em: http://www.zhiwutong.com/dan_tu/138/111019.htm. Acesso em: maio de 2014. C - Exemplar adulto de *Heliocarpus popayanensis* (jangadeiro). Disponível em: <http://ibflorestas.org.br/loja/muda-40a60-pau-jangada.html>. Acesso em: maio de 2014.



2.3 HELIOCARPUS POPAYANENSIS KUNTH (MALVACEAE)

Espécie florestal pioneira, *H. popayanensis* (Figura 3C), é popularmente conhecida como jangadeiro ou jangada-brava. Tem ampla distribuição neotropical, que se estende do norte da Argentina até o sul do México e é característica de bordas florestais e de florestas secundárias (LORENZI, 2008; ROBYNS, 1964). No Brasil, é exclusiva da Floresta Estacional Semidecidual da bacia do Paraná e se caracteriza por produzir quantidade abundante de frutos indeiscentes, que são dispersos pelo vento (LORENZI 2008). O tempo de floração ocorre durante os meses de abril e julho e a maturação dos frutos no período de setembro a outubro (LAY, 1949; LORENZI, 2008). *Heliocarpus popayanensis* é uma árvore de médio a grande porte e, por ser de rápido crescimento, é frequentemente recomendada para plantios visando à restauração florestal ou a recuperação de solos degradados (LORENZI, 2008; ROBYNS, 1964). Sua madeira é leve, mole de baixa resistência mecânica e pouco durável, utilizada principalmente para caixotaria, brinquedos e pode ser usada para fazer jangadas (LORENZI, 2008).

REFERÊNCIAS

- Aguiar, F.F.A.; Kanashiro, S.; Tavares, A.R.; Nascimento, T.D.R.; Rocco, F.M. Crescimento de mudas de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.), submetidas a cinco níveis de sombreamento. **Revista Ceres**, v. 58, n. 6, p. 729-735, 2011.
- Aleric, K.M.; Kirkman, K. Growth and photosynthetic responses of the federally endangered shrub, *Lindera melissifolia* (Lauraceae), to varied light environments. **American Journal of Botany**, v. 92, n. 4, p. 682-689, 2005.
- Almeida, F.S.; Gomes, D.S.; Queiroz, J.M. Estratégias para a conservação da diversidade biológica em florestas fragmentadas. **Ambiência**, Guarapuava, v. 7, n. 2, p. 367-382, 2011.
- Alves, P.L.C.A.; Magalhães, A.C.N.; Barja, P.R. The phenomenon of photoinhibition of photosynthesis and its importance in reforestation. **The Botanical Review**, v. 68, n. 2, p., 93-208, 2002.
- Antoniazzi, A.P.; Binotto, B.; Neumann, T.L.S.; Budke, J.C. Eficiência de recipientes no desenvolvimento de mudas de *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae). **Revista Brasileira de Biociência**, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 313-317, 2013.
- Aranda, I.; Castro, L.; Pardos, M.; Gil, L.; Pardos, J.A. Effects of the interaction between drought and shade on water relations, gas exchange and morphological traits in cork oak (*Quercus suber* L.) seedlings. **Forest Ecology and Management**, v. 210, p. 117-129, 2005.
- Aranda, I.; Aldea A.; Míguez, M.P.; Puértolas, J.; Jiménez, M.D.; Carrión, J.A.P. Efecto de la luz y la sequía sobre la anatomía foliar de plantas de alcornoque (*Quercus suber* L.). **Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales**, v. 20, p. 117-12, 2004.
- Borges, V.P. **Ecofisiologia de *Tabebuia heptaphylla* (Vellozo) Toledo em ambientes contrastantes de luz**. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 73 p., 2012.
- Björkman, O. Responses to different quantum flux densities. In: Lange, O.L.; Nobel, P.S.; Osmond, C.B.; Ziegler, H. (Ed.). **Encyclopedia of Plant Physiology, New Series**. New York, Springer-Verlag, p. 57-107, 1981.
- Campos, M.A.A.; Uchida T. Influência do sombreamento n crescimento de mudas de três espécies amazônicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 3, p. 281-288, 2002.
- Carvalho, N.O.S.; Pelacani, C.R.; Rodrigues, M.O.S.; Crepaldi, I.C. Crescimento inicial de plantas de licuri (*Syagrus coronata* (Mart.) Becc.) em diferentes níveis de luminosidade. **Revista Árvore**, v. 30, n. 3, p. 351-357, 2006.
- Carvalho, P. E. R. Produção de mudas de espécies nativas por sementes e implantação de povoamentos. In: Galvão, A.P.M. (Org.). **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais**. Brasília, Embrapa, p. 151-174, 2000.
- Carvalho P.E.R. Mutamba - *Guazuma ulmifolia*. Colombo, Embrapa Florestas: **Circular Técnica** 141, p. 13, 2007.

Chaves, A.S.; Paiva, H.N. Influência de diferentes períodos de sombreamento sobre a qualidade de mudas de fedegoso (*Senna macranthera* (Collad.) Irwin et Barn.). **Scientia Forestalis**, n. 65, p. 22-29, 2004.

Chazdon, R.L.; Pearcy, R.W.; Lee, D.W.; Fetcher, N. Photosynthetic responses of tropical forest plants to contrasting light environments. In: Mulkey, S. S.; Chazdon, R. L.; Smith, A. P. (Ed.). **Tropical Forest Plant Ecophysiology**. New York, Chapman and Hall, p. 5-55, 1996.

Chiamolera, L.B.; Ângelo, A.C.; Boerger, M.R.; Araújo, F.C. Aspectos anatômicos e fisiológicos de folhas de *Mimosa scabrella* de áreas com diferentes graus de sucessão. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 3, p. 435-450, 2011.

Claussen, J.W. Acclimation abilities of three tropical rainforest seedlings to an increase in light intensity. **Forest Ecology and Management**, v. 80, p. 245-255, 1996.

Cleary, B.D.; Greaves, R.D.; Owston, P.W. Seedlings. In: Cleary, B.D.; Greaves, R.D.; Hermann, R.K. (Ed.). **Regenerating Oregon's forests**. Corvallis, Oregon State University Extension Service, p. 63-98, 1978.

Cortina, J.; Vilagrosa, A.; Trubat, R. 2013. The role of nutrients for improving seedling quality in drylands. **New Forests**, v. 44, n. 5, p. 719-732, 2013.

Costa, J.L.; Lima, R.P.; Silva, A.L.P.; Scheidt, G.N.; Erasmo, E.A.L. Crescimento inicial de plantas de pinhão manso em função do sombreamento no município de Gurupi - TO. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 2, n. 4, p. 43-47, 2011.

Cruz, C.A.F.; Paiva, H.N.; Gomes, K.C.O.; Guerrero, C.R.A. Efeito de diferentes níveis de saturação por bases no desenvolvimento e qualidade de mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standley). **Scientia Forestalis**, n. 66, p. 100-107, 2004.

Cuzzol, G.R.F.; Milanez, C.R.D. Morphological and physiological adjustments in juvenile tropical trees under contrasting sunlight irradiance. In: Najafpour M.M. (Ed.). **Advances in Photosynthesis - Fundamental Aspects**, Rijeka, InTech, p., 501-519, 2012.

Delagrange, S.; Messier, C.; Lechowicz, M.J.; Dizengremel, P. Physiological, morphological and allocational plasticity in understory deciduous trees: importance of plant size and light availability. **Tree Physiology**, v. 24, p. 775-784, 2004.

Delgado, L.G.M. **Produção de mudas nativas sob diferentes manejos hídricos**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 96 p., 2012.

Demmig-Adams, B.; Adams, W.W. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 43, p. 599-626, 1992.

Dickson, A.; Leaf, A.L.; Hosner, J.F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, v.36, n. 1, p. 10-13, 1960.

- Dobner Júnior, M.; Trazzi, P.A.; Higa, A.R.; Seitz, R.A. Influência do volume do tubete e do método de plantio no crescimento de um povoamento de *Pinus taeda* aos nove anos de idade. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 7-14, 2013.
- Durigan, G.; Figliolia, M.B.; Kawabata, M.; Garrido, M.A.O.; Baitello, J.B. **Sementes e mudas de árvores tropicais**. 2.ed. São Paulo, Páginas & Letras, 2002.
- Duryea, M.L. Evaluating seedling quality: importance to reforestation. In: Duryea, M.L. (Ed.). **Evaluating seedling quality principles, procedures, and predictive abilities of major tests**. Corvallis, Oregon State University, p. 1-4, 1985.
- Duryea, M.L.; Landis, T.D. **Forest Nursery Manual: production of bareroot seedlings**. Corvallis, Oregon State University, 386 p., 1984.
- Dutra, T. **Crescimento e nutrição de mudas de Copaíba em dois volumes de substratos e níveis de sombreamento**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 54 p., 2010.
- Farias, V.C.C.; Varela, V.P.; Costa, S.S.; Batalha, L.F. Análise de crescimento de mudas de cedrona (*Cedrelinga catenaeformis* (Ducke) Ducke) cultivadas em condições de viveiro. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 19, n. 2, p. 192-199, 1997.
- Farias-Junior, J.A.; Cunha, M.C.L.; Farias, S.G.G.; Menezes-Junior, J.C. Crescimento inicial de mudas de turco sob diferentes tipos de recipientes e níveis de luminosidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v. 2, n. 3, p. 228-232, 2007.
- Farquhar, G.D.; Ehleringer, J.R.; Hubick, K.T. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 40, p. 503-537, 1989.
- Favaretto, V.F.; Martinez, C.A.; Soriani, H.H.; Furriel, R.P.M. Differential responses of antioxidant enzymes in pioneer and late-successional tropical tree species grown under sun and shade conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 70, p. 20-28, 2011.
- Ferraz, A.V.; Engel, V.L. Efeito do tamanho de tubetes na qualidade de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang.), ipê-amarelo (*Tabebuia chrysostricha* (Mart. ex Dc.) Sandl.) e guarucaia (*Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan). **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 413-423, 2011.
- Ferreira, J.F.; Gonçalves, J.F.C.; Ferraz, J.B.S. Crescimento e eficiência do uso da água de plantas jovens de castanheira-da-amazônia em área degradada e submetidas à adubação. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 2, p. 393-401, 2012.
- Fonseca, E.P.; Valéri, S.V.; Miglioranza, E.; Fonseca, N.A.N.; Couto, L. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume. produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 515-523, 2002.
- Fonseca, C.R.; Ganade, G.; Baldissera, R.; Becker, C.G.; Boelter, C.R.; Brescovit, A.D.; Campos, L.M.; Fleck, T.; Fonseca, V.S.; Hartz, S.M.; Joner, F.; Käffer, M.I.; Leal-Zanchet, A.M.; Marcelli, M.P.; Mesquita, A.S.; Mondin, C.A.; Paz, C.P.; Petry, M.V.; Piovensan, F.N.; Putzke, J.; Stranz, A.; Vergara, M.; Vieira, E.M. Towards an ecologically sustainable forestry in the Atlantic Forest. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1209-1219, 2009.

Freitas, G.A.; Vaz-de-Melo, A.; Pereira, M.A.B.; Andrade, C.A.O.; Lucena, G.N.; Silva, R.R. Influência do sombreamento na qualidade de mudas de *Sclerolobium paniculatum* Vogel para recuperação de área degradada. **Jornal de Biotecnologia e Biodiversidade**, v. 3, n. 3, p. 5-12, 2012.

Fundação SOS Mata Atlântica; INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2011–2012**, relatório técnico. São Paulo, p. 61, 2013. Disponível em: <http://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2013/06/atlas_2011-2012_relatorio_tecnico_2013final.pdf>. Acesso em: jul. 2013.

Galina, K.J; Sakuragui, C.M; Borguezam Rocha, J.C; Lorenzetti, E.R.; Palazzo de Mello, J.C. Contribuição ao estudo farmacognóstico da mutamba (*Guazuma ulmifolia* - Sterculiaceae). **Acta Farmacéutica Bonaerense**, v. 24, n. 2, p. 225-33, 2005.

Galmés, J.; Flexas, J.; Savé, R.; Medrano, H. Water relations and stomatal characteristics of Mediterranean plants with different growth forms and leaf habits: responses to water stress and recovery. **Plant Soil**, v. 290, p. 139-155, 2007.

Gascon, C.; Williamson B.G.; Fonseca, G.A.B. Receding forest edges and vanishing reserves. **Science**, v. 288, p. 1356-1358, 2000.

Givnish, T.J. Adaptation to sun and shade: a whole plant perspective. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 15, p. 63-92, 1988.

Gomes, J.M.; Couto, L.; Leite, H.G.; Xavier, A.; Garcia, S.L.R. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 655-654, 2002.

Gomes, J.M.; Couto, L.; Leite, H.G.; Xavier, A.; Garcia, S.L.R. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização N-P-K. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 113-127, 2003.

Grisi, F.A.; Angelo, A.C.; Boeger, M.R.T.; Leitão, C.A.E.; Galvão, S.F.; Wendling, I. Morfoanatomia foliar de mudas de *Schinus terebinthifolius* sob diferentes níveis de saturação hídrica. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 4, p. 881-894, 2011.

Hanba, Y.T.; Kogami, H.; Terashima, I. The effect of growth irradiance on leaf anatomy and photosynthesis in *Acer* species differing in light demand. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, p. 1021-1030, 2002.

Hetherington, A.M.; Woodward, F.I. The role of stomata in sensing and driving environmental change. **Nature**, v. 424, p. 901-908, 2003.

Ivancich, H.S.; Lencinas, M.V.; Pastur, G.J.M.; Esteban, R.M.S.; Hernández, L.; Lonstrom, I. Foliar anatomical and morphological variation in *Nothofagus pumilio* seedlings under controlled irradiance and soil moisture levels. **Tree Physiology**, v. 32, n. 5, p. 554-564, 2012.

Jacobs, D.F.; Salifu, K.F.; Seifert, J.R. Relative contribution of initial root and shoot morphology in predicting field performance of hardwood seedlings. **New Forests**, v. 30, p. 235-251, 2005.

- Jesus, R.M.; Menandro, M.S.; Batista, J.L.F.; Couto, H.T.Z. Efeito do tamanho do recipiente, tipo de substrato e sombreamento na produção de mudas de louro (*Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab.) e gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott). **IPEF**, Piracicaba, n. 37, p. 13-19, 1987.
- Johnson, P.S.; Shifley, S.R.; Rogers, R. **The ecology and silviculture of oaks**. New York, CABI Publishing, 2002.
- Jordan, G.J.; Dillon, R.A.; Weston, P.H. Solar radiation as a factor in the evolution of scleromorphic leaf anatomy in Proteaceae. **American Journal of Botany**, v. 92, n. 5, p. 789-796, 2005.
- Kamakura, M.; Kosugi, Y.; Takanashi, S.; Matsumoto, K.; Okumura, M.; Philip, E. Patchy stomatal behavior during midday depression of leaf CO₂ exchange in tropical trees. **Tree Physiology**, v. 31, n. 2, p. 160-168, 2011.
- Keller, L.; Leles, P.S.S.; Oliveira-Neto, S.N.; Coutinho, R.P.; Nascimento, D.F. Sistema de blocos prensados para produção de mudas de três espécies arbóreas nativas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 305-314, 2009.
- Kitao, M.; Lei, T.T.; Koike, T.; Tobita, H.; Maruyama, Y. Susceptibility to photoinhibition of three deciduous broadleaf tree species with different successional traits raised under various light regimes. **Plant, Cell and Environment**, v. 23, p. 81-89, 2000.
- Klich, M.G. Leaf variations in *Elaeagnus angustifolia* related to environmental heterogeneity. **Environmental and Experimental Botany**, v. 44, p. 171-183, 2000.
- Krause, G.H.; Koroleva, O.Y.; Dalling, J.W.; Winter, K. Acclimation of tropical tree seedlings to excessive light in simulated tree-fall gaps. **Plant, Cell and Environment**, v. 24, p. 1345-1352, 2001.
- Krause, G.H.; Grube, E.; Koroleva, O.Y.; Barth, C.; Winter, K. Do mature shade leaves of tropical tree seedlings acclimate to high sunlight and UV radiation? **Functional Plant Biology**, v. 31, p. 743-756, 2004.
- Kumekawa, Y.; Miyata, H.; Ohga, K.; Hayakawa, H.; Yokoyama, J.; Ito, K.; Tebayashi, S.I.; Arakawa, R.; Fukuda, T. Comparative analyses of stomatal size and density among ecotypes of *Aster hispidus* (Asteraceae). **American Journal of Plant Sciences**, v. 4, p. 524-527, 2013.
- Kwak, M.J.; Lee, S.H.; Woo, S.Y. Growth and anatomical characteristics of different water and light intensities on cork oak (*Quercus suber* L.) seedlings. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 53, p. 10964-10979, 2011.
- Lay, K.K. A revision of the genus *Heliocarpus* L. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 36, n. 4, p. 507-41, 1949.
- Lee, D.W.; Oberbauer, S.F.; Johnson, B.K.; 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**, v. 87, n. 4, p. 447-455, 2000.

- Leles, P.S.S.; Lisboa, A.C.; Oliveira Neto, S.N.; Grugiki, M.A.; Ferreira, M.A. Qualidade de mudas de quatro espécies florestais produzidas em diferentes tubetes. **Floresta e Ambiente**, v. 13, n. 1, p. 69-78, 2006.
- Li, C. Variation of seedling traits of *Eucalyptus microtheca* origins in different watering regimes. **Silvae Genetica**, v. 47, p. 2-3, 1998.
- Lima, J.D.; Silva, B.M.S.; Moraes, W.S.; Dantas, V.A.V; Almeida, C.C. Efeitos da luminosidade no crescimento de mudas de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul (Leguminosae, Caesalpinioideae). **Acta Amazonica**, v. 38, n. 1, p. 5-10, 2008.
- Lopes, J.L.W.; Saad, J.C.C.; Guerrini, I.A.; Lopes, C.F. Influência dos fatores bióticos e abióticos na sobrevivência de eucalipto em função do solo e do manejo de viveiro. **Biotemas**, v. 22, n. 2, p. 29-38, 2009.
- Long, S.P.; Humphries, S.; Falkowski, P.G. Photoinhibition of photosynthesis in nature. **Annual Reviews Plant Physiology Plant Molecular Biology**, v. 45, p. 633-662, 1994.
- Lorenzi, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. v.1, 5.ed. São Paulo, Plantarum, 2008.
- Mattsson, A. Predicting field performance using seedling quality assessment. **New Forests**, v. 13, n. 1-3, p. 227-252, 1996.
- Maxwell, K.; Marrison, J.L.; Leech, R.M.; Griffiths, H.; Horton, P. Chloroplast acclimation in leaves of *Guzmania monostachia* in response to high light. **Plant Physiology**, v. 121, p. 89-95, 1999.
- Mengarda, L.H.G.; Souza, R.L.F.; Campostrini, E.; Reis, F.O.; Vendrame, W.A.; Cuzzol, G.R.F. Light as an indicator of ecological succession in Brazilwood (*Caesalpinia echinata* Lam.). **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 21, n. 1, p. 55-84, 2009.
- Ministério do Meio Ambiente. **Quarto relatório nacional para a convenção sobre a diversidade biológica: Brasil**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente (MMA), 248 p., 2011.
- Mittermeier, R.A.; Gil, P.R.; Hoffmann, M.; Pilgrim, J.; Brooks, T.; Mittermeier, C.G.; Lamoureaux, J.; Fonseca, G.A.B. **Hotspots Revisited – Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions**. Washington, Cemex, 2000.
- Moraes, G.A.B.K.; Chaves, A.R.M.; Martins, S.C.V.; Barros, R.S.; DaMatta, F.M. Why is it better to produce coffee seedlings in full sunlight than in the shade? A morphophysiological approach. **Photosynthetica**, v. 48, n. 2, p. 199-207, 2010.
- Muraoka, H.; Takenaka, A.; Tang, Y., Koizumi, H.; Washitani, I. Flexible leaf orientations of *Arisaema heterophyllum* maximize light capture in a forest understory and avoid excess irradiance at a deforested site. **Annals of Botany**, v. 82, p. 297-307, 1998.
- Murphy, M.R.C.; Jordan, G.J.; Brodribb, T.J. 2012. Differential leaf expansion can enable hydraulic acclimation to sun and shade. **Plant, cell and environment**, v. 35, n. 8, p. 1407-1418, 2012.

Myers, N.; Mittermeier, R.A.; Mittermeier, C.G.; Fonseca, G.A.B.; Kents, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.

Nawazish, S.; Hameed, M.; Naurin, S. Leaf anatomical adaptations of *Cenchrus ciliaris* L. from the salt range, Pakistan against drought stress. **Pakistan Journal of Botany**, v. 38, n. 5, p. 1723-1730, 2006.

Nicotra, A.B.; Atkin, O.K.; Bonser, S.P.; Davidson, A.M.; Finnegan, E.J.; Mathesius, U.; Poot, P.; Purugganan, M.D.; Richards, C.L.; Valladares, F.; Van Kleunen, M. Plant phenotypic plasticity in a changing climate. **Trends in Plant Science**, v. 15, n. 12, p. 1360-1385, 2010.

Niinemets, Ü. Photosynthesis and resource distribution through plant canopies. **Plant, Cell and Environment**, v. 30, n. 9, p. 1052-71, 2007.

Niinemets, Ü.; Fleck, S. Petiole mechanics, leaf inclination, morphology, and investment in support in relation to light availability in the canopy of *Liriodendron tulipifera*. **Oecologia**, v. 132, p. 21-33, 2002.

Niinemets, Ü.; Kull, O.; Tenhunen, J.D. An analysis of light effects on foliar morphology, physiology, and light interception in temperate deciduous woody species of contrasting shade tolerance. **Tree Physiology**, v. 18, p. 681-696, 1998.

Pearce, D.W.; Millard, S.; Bray, D.F.; Rood, S.B. Stomatal characteristics of riparian poplar species in a semi-arid environment. **Tree Physiology**, v. 26, p. 211-218, 2006.

Poorter, H. Growth responses of 15 rain-forest tree species to a light gradient: the relative importance of morphological and physiological traits. **Functional Ecology**, v. 13, p. 396-410, 1999.

Poorter, H.; Nagel, O. The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review. **Australian Journal Plant Physiology**, v. 27, p. 595-607, 2000.

Poorter, H.; Niklas, K.J.; Reich, P.B.; Oleksyn, J.; Poot, P.; Mommer, L. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. **New Phytologist**, v. 193, p. 30-50, 2012.

Poorter, L. Light-dependent changes in biomass allocation and their importance for growth of rain forest tree species. **Functional Ecology**, v. 15, p. 113-123, 2001.

Rawat, J.S.; Singh, T.P. Seedling indices of four tree species in nursery and their correlations with field growth in Tamil Nadu, India. **Agroforestry Systems**, v. 49, p. 289-300, 2000.

Ribeiro, M.C.; Metzger, J.P.; Martensen, A.C.; Ponzoni, F.J.; Hirota, M.M. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1141-1153, 2009.

Robyns, A. Flora of Panama. Part VI. Family 114. Tiliaceae. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 51, p. 1-35, 1964.

Roças, G.; Barros, C.F.; Scarano, F.R. Leaf anatomy plasticity of *Alchornea triplinervia* (Euphorbiaceae) under distinct light regimes in a Brazilian montane Atlantic rain forest. **Trees**, v. 11, p. 469-473, 1997.

Rosa, L.S.; Vieira, T.A.; Santos, D.S.; Silva, L.C.B. Emergência, crescimento e padrão de qualidade de mudas de *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke sob diferentes níveis de sombreamento e profundidades de semeadura. **Revista Ciências Agrárias**, Belém, n. 52, p. 87-98, 2009.

Rossatto, D.R.; Kolb, R.M. *Gochnatia polymorpha* (Less.) Cabrera (Asteraceae) changes in leaf structure due to differences in light and edaphic conditions. **Acta Botanica Brasilica**, v. 24, n. 3, p. 605-612, 2010.

Rossatto, D.R. Takahashi; F.S.C.; Silva, L.C.R.; Franco, A.C. Características funcionais de folhas de sol e sombra de espécies arbóreas em uma mata de galeria no Distrito Federal, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 24, n. 3, p. 640-647, 2010.

Rozendaal, D.M.A.; Hurtado, V.H.; Poorter, L. Plasticity in leaf traits of 38 tropical tree species in response to light; relationships with light demand and adult stature. **Functional Ecology**, v. 20, n. 2, p. 207-216, 2006.

Sabbi, L.B.C.; Ângelo, A.C.; Boeger, M.R. Influência da luminosidade nos aspectos morfoanatômicos e fisiológicos de folhas de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae) implantadas em duas áreas com diferentes graus de sucessão, nas margens do Reservatório Iraí, Paraná, Brasil. **Iheringia, Série Botânica**, Porto Alegre, v. 65, n. 2, p. 171-181, 2010.

Scalon, S.P.Q.; Mussury, R.M.; Scalon Filho, H.; Francelino, C.S.F. Desenvolvimento de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius*) e sombreiro (*Clitoria fairchildiana*) sob condições de sombreamento. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 1, p. 166-169, 2006.

Scremin-Dias, E.; Kalife, C.; Menegucci, Z.R.H.; Souza, P.R. **Produção de mudas de espécies florestais nativas: manual**. Campo Grande, UFMS, p. 59, 2006.

Silva, B.M.S.; Lima, J.D.; Dantas, V.A.V.; Moraes, W.S.; Sabonaro, D.Z. Efeito da luz no crescimento de mudas de *Hymenaea parvifolia* Huber. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1019-1026, 2007.

Silva, M.C.A.; Silva, A.M.; Silva, J.A.F.; Esteves, I.F.; Almeida, N.O. Análise de crescimento inicial de mudas de *Parkia decussata* Ducke sob diferentes níveis de sombreamento em viveiro. **Revista de Biologia e Farmácia**, v. 6, n. 2, p. 1-10, 2011.

Silva, M.R. **Efeito do manejo hídrico e da aplicação de potássio na qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden)**. Tese (Doutorado em Agronomia – Irrigação e Drenagem), Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 116 p., 2003.

Smith, W.K.; Vogelmann, T.C.; Delucia, E.H.; Bell, D.T.; Shepherd, K.A. Leaf form and photosynthesis: do leaf structure and orientation interact to regulate internal light and carbon dioxide? **BioScience**, v. 47, n. 11, p. 785-793, 1997.

Strauss-Debenedetti, S.; Bazzaz, F.A. Plasticity and acclimation to light in tropical Moraceae of different successional positions. **Oecologia**, v. 87, n. 3, p. 377-387, 1991.

- Sultan, S.E. Phenotypic plasticity for plant development, function and life history. **Trends in Plant Science**, v. 5, n. 12, p 537-542, 2000.
- Tatagiba, S.D.; Sntos, E.A.; Pezzopane, J.E.M.; Reis, E.F. Mudras de *Coffea canefora* cultivadas sombreadas e a pleno sol. **Revista de Engenharia na Agricultura**, v. 18, n. 3, p. 219-226, 2009.
- Terashima, I., Hanba, Y.T.; Tazoe, Y.; Vynas, P.; Yano, S. Irradiance and phenotype: comparative eco-development of sun and shade leaves in relation to photosynthetic CO₂ diffusion. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, n. 2, p. 343-354, 2006.
- Valladares, F.; Niinemets, Ü. Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. **The Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 39, p. 237-257, 2008.
- Valladares, F.; Wright, J.S.; Lasso, E.; Kitajama, K.; Pearcy, R.W. Plastic phenotypic response to light of 16 congeneric shrubs from a Panamanian rainforest. **Ecology**, v. 81, n. 7, p. 1925-1936, 2000.
- Viana, J.S.; Gonçalves E.P.; Andrade, L.A.; Oliveira, L.S.B.; Silva, E.O. Crescimento de mudras de *Bauhinia forficata* Link. em diferentes tamanhos de recipientes. **Floresta**, v. 38, n. 4, p. 663-671, 2008.
- Vieira, T.O.; Lage-Pinto, F.; Ribeiro, D.R.; Alencar, T.S.; Vitória, A.P. Estresse luminoso em plântulas de jequitibá-rosa (*Cariniana legalis*, Lecythidaceae): monitoramento da capacidade de aclimação fotossintética sob duas intensidades de luz. **Vértices**, Campos dos Goytacazes, v. 13, n. 3, p. 129-142, 2011.
- Xu, F.; Guo, W.; Xu, W.; Wei, Y.; Wang, R. Leaf morphology correlates with water and light availability: what consequences for simple and compound leaves? **Progress in Natural Science**, v. 19, p. 1789-1798, 2009.
- Walters R.G. Towards an understanding of photosynthetic acclimation. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, p. 435-447, 2005.
- Walter, A.; Scharr, H.; Gilmer, F.; Zierer, R.; Nagel, K.A.; Ernst, M.; Wiese, A.; Virnich, O.; Christ, M.M.; Uhlig, B.; Jünger, S.; Schur, U. Dynamics of seedling growth acclimation towards altered light conditions can be quantified via Growscreen: a setup and procedure designed for rapid optical phenotyping of different plant species. **New Phytologist**, v. 174, n. 2, p. 447-455, 2007.
- Wyka, T.; Robakowski, P.; Zytowskiak, R. Acclimation of leaves to contrasting irradiance in juvenile trees differing in shade tolerance. **Tree Physiology**, v. 27, p. 1293-1306, 2007.
- Wyka, T.; Robakowski, P.; Zytowskiak, R. Leaf age as a factor in anatomical and physiological acclimative response of *Taxus baccata* L. needles to contrasting irradiance environments. **Photosynthesis Research**, v. 95, p. 87-99, 2008.
- Yamashita, N.; Ishida, A.; Kushima, H.; Tanaka, N. Acclimation to sudden increase in light favoring an invasive over native trees in subtropical islands, Japan. **Oecologia**, v. 125, p. 412-419, 2000.

Yang, S.J.; Sun, M.; Zhang, Y.J.; Cochard, H.; Cao, K.F. Strong leaf morphological, anatomical, and physiological responses of a subtropical woody bamboo (*Sinarundinaria nitida*) to contrasting light environments. **Plant Ecology**, v. 215, p. 97-109, 2014.

Yano, S.; Terashima, I. Developmental process of sun and shade leaves in *Chenopodium album* L. **Plant, Cell and Environment**, v. 27, p. 781-793, 2004.

Zhang, S.; Li, Q.; Ma, K.; Chen L. Temperature-dependent gas exchange and stomatal/non-stomatal limitation to CO₂ assimilation of *Quercus liaotungensis* under midday high irradiance. **Photosynthetica**, v. 39, n. 3, p. 383-388, 2001.

**MORFOANATOMIA E ECOFISIOLOGIA DE MUDAS ACLIMATADAS EM
VIVEIRO DE TRÊS ESPÉCIES ARBÓREAS DE FLORESTA ESTACIONAL
SEMIDECIDUAL UTILIZADAS EM REFLORESTAMENTOS**

Thaís Mazzanatti^{1*}, Moacyr Eurípedes Medri², Anderson Kikuchi Calzavara¹, José Antonio Pimenta² e Edmilson Bianchini²

RESUMO - Morfoanatomia e ecofisiologia de mudas aclimatadas em viveiro de três espécies arbóreas de Floresta Estacional Semidecidual utilizadas em reflorestamentos. Objetivou-se avaliar a influência do processo de aclimação, implementado por viveiristas, sobre as trocas gasosas, a morfologia e a anatomia de mudas de *Aegiphila integrifolia* (Jacq.) Moldenke, *Guazuma ulmifolia* Lam. e *Heliocarpus popayanensis* Kunth e analisar os índices de qualidade das mesmas. As mudas foram cultivadas em viveiro sob 40% de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (sombreado) e sol pleno (aclimatado), durante 168 dias. Com a aclimação, as mudas de *H. popayanensis* apresentaram aumentos da fotossíntese (Amax) e eficiência do uso da água, menor condutância estomática (gs) e transpiração (E). As folhas formadas durante o experimento apresentaram menor área foliar e parênquimas clorofilianos mais espessos. O índice de qualidade de Dickson (IQD), a relação altura/diâmetro do colo (RAD) e a relação massa de matéria seca da parte aérea/massa de matéria seca de raízes (RPAR) indicaram qualidade superior nas mudas aclimatadas. Sob sol pleno, as folhas de *G. ulmifolia* desenvolveram-se menos e apresentaram espessamento do parênquima paliádico e maior densidade estomática. Não foi observada alteração na Amax. A RPAR indicou qualidade superior nas mudas aclimatadas, entretanto, a RAD e o IQD indicaram o oposto. Durante a aclimação, as folhas de *A. integrifolia* desenvolveram-se com características típicas de folhas de sol e apresentaram aumentos na Amax, gs e E. Nesta espécie, a RAD e a RPAR não indicaram diferença de qualidade entre mudas aclimatadas e sombreadas. Entretanto, o IQD indicou que a aclimação diminuiu a qualidade das mudas desta espécie. Quando submetidas à aclimação, as mudas das três espécies analisadas apresentaram características de rusticidade, especialmente nas folhas, que podem favorecê-las na fase de estabelecimento em campo. Entretanto, para as espécies nativas estudadas, os índices de qualidade utilizados foram inadequados para expressar a maior rusticidade (qualidade) das mudas aclimatadas.

Palavras-chave: Aclimação. Luminosidade. Qualidade de mudas. Rustificação. Trocas gasosas.

¹ Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Londrina (UEL). Rodovia Celso Garcia Cid, PR 445 Km 380, Campus Universitário, CEP 86057-970 Londrina, PR.

² Professor do Departamento de Biologia Animal e Vegetal, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Londrina (UEL). Rodovia Celso Garcia Cid, PR 445 Km 380, Campus Universitário, CEP 86057-970 Londrina, PR.

* Autor para correspondência: Telefone (043) 3348-4350, Fax (043) 3371-4550. E-mail: thaismazzanatti@hotmail.com.

ABSTRACT - Morphoanatomy and ecophysiology of acclimated seedlings in nurseries of tree species used in Seasonal Semideciduous Forest reforestation. This study aimed to evaluate the influence of the acclimation process, implemented by nurserymen, on gas exchange, morphology and anatomy of *Aegiphila integrifolia* (Jacq.) Moldenke, *Guazuma ulmifolia* Lam and *Heliocarpus popayanensis* Kunth. seedlings and to analyze the quality indexes of the seedlings. The seedlings were grown in a nursery under 40% of total photosynthetic photon flux density (shaded) and full sun (acclimated) for 168 days. The acclimated seedlings of *H. popayanensis* showed increases photosynthesis (Amax) and the efficiency of water use and reduction in stomatal conductance (gs) and transpiration rate (E). Their leaves developed during acclimation were smaller and with thicker chlorophyllian parenchyma. The Dickson Quality Index (DQI), the ratio shoot height/stem diameter (SH/SD) and the ratio dry mass shoot/dry mass root (S/R) indicated higher quality in acclimated seedlings of this species. Under full sun, the *G. ulmifolia* leaves were smaller and there was thickening of the palisade parenchyma and higher stomatal density. There was no change in the Amax. The S/R indicated high quality in seedlings acclimated of the *G. ulmifolia*, however, the SH/SD and DQI, suggested the opposite. During acclimation, the leaves of *A. integrifolia* showed typical characteristics of sun leaves and they showed increases in Amax, gs and E. In this species, it was not possible to estimate the quality of seedlings by the SH/SD and S/R indexes. However, DQI indicated that acclimation decreased the quality of the seedlings. When submitted to acclimation the seedlings of these species showed characteristic of rusticity, especially in the leaves, which may favor them in the establishment phase in the field. However, in the native species studied, the quality indexes used were inadequate to express the more rusticity (quality) of acclimated seedlings.

Keywords: Acclimatization. Gas exchange. Light intensity. Rustification. Seedling quality.

INTRODUÇÃO

Entre os diversos recursos ambientais, a luz é imprescindível para as plantas e pode afetar o crescimento e a distribuição de espécies arbóreas nas florestas (Poorter 2001; Murchie et al. 2005). Em razão dos vários estratos que formam as florestas tropicais, a radiação que atinge o dossel é extremamente diferente da intensidade luminosa que chega ao sub-bosque, levando à formação de gradientes de luz (Valladares et al. 2002; Yang et al. 2014). A aclimação das plantas aos diferentes níveis de irradiância dessas florestas está diretamente relacionada com a maximização do acúmulo de carbono e esta diversidade de respostas é vantajosa, pois possibilita o crescimento e desenvolvimento das plantas (Delagrange et al. 2004; Athanasiou et al. 2010). A aclimação é possível devido à existência da plasticidade fenotípica, ou seja, a capacidade de um determinado genótipo se diferenciar em diferentes fenótipos sob condições ambientais contrastantes (Valladares e Niinemets 2008). A capacidade de aclimação a mudanças na luminosidade é variável de espécie para espécie e pode depender da intensidade luminosa que recebem (Poorter 1999). Compreender como as espécies se aclimatam às variações na disponibilidade desse recurso torna-se essencial para o

entendimento do equilíbrio e a dinâmica das comunidades florestais, principalmente, quando estas irão competir por espaços e recursos limitados (Krause et al. 2001; Oguchi et al. 2006; Rossatto et al. 2010). A aclimação proporciona às plantas uma vantagem competitiva, sobretudo em locais heterogêneos ou sujeitos a alterações no ambiente e as espécies com alto potencial de aclimação são mais prováveis de se estabelecerem em ambientes variáveis (Walters 2005).

Embora a luz seja um recurso indispensável, tanto a baixa disponibilidade quanto o excesso podem limitar o desempenho da planta (Valladares e Niinemets 2008). Enquanto que níveis reduzidos desse recurso podem resultar em diminuição no ganho de carbono pela planta e, conseqüentemente, no seu crescimento (Aleric e Kirkman 2005), o excesso de radiação nas folhas pode, muitas vezes, causar efeitos deletérios induzindo o processo de fotoinibição (Jordan et al. 2005). Contudo, durante o processo evolutivo, as espécies investiram em características que podem aumentar a interceptação de luz e otimizar o ganho de carbono e, ao mesmo tempo, desenvolveram estratégias que possibilitaram minimizar os possíveis danos do aparelho fotossintético decorrentes da alta irradiância (Long et al. 1994; Niinemets et al. 1998). Estes ajustes envolvem desde alterações fisiológicas e bioquímicas, e mudanças morfoanatômicas até ajustes em nível de planta inteira, resultando em modificações nos padrões de crescimento e alocação de biomassa (Chazdon et al. 1996; Hanba et al. 2002; Walters 2005; Valladares e Niinemets 2008).

Em resposta às diferentes intensidades de luz, as plantas aclimatam-se desenvolvendo folhas de sol ou de sombra, as quais são formadas em respostas a alta ou baixa irradiância, respectivamente (Yano e Terashima 2004). Plantas cultivadas sob pouca luz tendem a investir mais em folhas do que em raízes; exibem menores taxas fotossintéticas; possuem folhas maiores, mais finas e com menor frequência de estômatos (Niinemets e Fleck 2002; Vats et al. 2002; Poorter et al. 2012). Enquanto que plantas expostas a maior luminosidade apresentam altas taxas de assimilação de carbono e investem mais em biomassa de raízes; suas folhas são menores, mais espessas e exibem maior densidade estomática (Givnish 1988; Niinemets e Fleck 2002; Rossatto e Kolb 2010; Poorter et al. 2012). Devido algumas destas características, as folhas de sol têm maior tolerância à alta luminosidade e capacidade aprimorada de dissipar o excesso de energia luminosa, enquanto que folhas de sombra são mais vulneráveis a sofrer os danos causados pelo excesso de luz (Demmig-Adams e Adams 1992; Gymah e Nakao 2007).

O processo de aclimação à luz tem sido utilizado em viveiros de produção de mudas de espécies arbóreas nativas visando aumentar a rusticidade (qualidade) das mudas e, desta

forma, maximizar a sobrevivência desses indivíduos após o plantio e acelerar o desenvolvimento das mudas em campo (Duryea 1985; Fonseca et al. 2002; Jacobs et al. 2005; Câmara e Endres 2008). O conhecimento sobre o potencial e o tempo de aclimação de uma espécie é importante, pois permitem aos operadores dos viveiros florestais tomar uma decisão mais precisa sobre quando realizar a transferência das mudas do viveiro para o campo (Claussen 1996; Close et al. 2001). Estudos sobre as respostas morfoanatômicas e ecofisiológicas das mudas de diferentes espécies, durante o processo de aclimação, podem contribuir para a definição de um padrão de qualidade das mesmas.

Em viveiros florestais, diversas variáveis têm sido utilizadas para analisar as respostas dos efeitos da aclimação das mudas que podem indicar melhores condições de sobrevivência no campo (alta qualidade) (Carvalho et al. 2006). Na maioria dos casos, estas avaliações são feitas com base em caracteres morfológicos e índices de alocação de biomassa (Duryea 1985; Fonseca et al. 2002; Gomes et al. 2002). Algumas relações entre os parâmetros morfológicos têm sido usadas para avaliar a qualidade das mudas em viveiros: a relação da altura da parte aérea/diâmetro do colo (RAD), a relação da massa de matéria seca da parte aérea/massa de matéria seca de raízes (RPAR) e o índice de qualidade de Dickson (IQD), que considera a produção total de massa de matéria seca e a sua alocação na parte aérea e nas raízes (RPAR) bem como a RAD (Dickson et al. 1960; Claussen 1996; Gomes et al. 2002). No entanto, definir um padrão de qualidade de mudas nativas em viveiro torna-se um desafio (Delgado 2012), em razão da variabilidade genética das espécies nativas e suas exigências ecológicas particulares.

Como o grau de rusticidade de mudas pode ser avaliado utilizando-se de mensurações de características relacionadas com trocas gasosas das folhas e aspectos da morfologia e anatomia das plantas, este estudo teve como objetivo analisar a influência do processo de aclimação implementado por viveiros sobre mudas de três espécies arbóreas intolerantes à sombra. Foram levantadas as seguintes questões: i - com o processo de aclimação, implementado por viveiristas, se produz mudas com maior rusticidade, quando se considera as espécies heliófilas? ii - para as espécies heliófilas nativas, os índices de qualidade, citados na literatura, são bons indicadores da qualidade das mudas?

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo, Espécies e Instalação do Experimento

O experimento foi desenvolvido no viveiro de mudas do Laboratório de Biodiversidade e Restauração de Ecossistemas (LABRE), Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Londrina, no município de Londrina, Paraná, Brasil; adotando-se o método usual de produção de mudas do viveiro. Foram selecionadas três espécies arbóreas intolerantes à sombra nativas da região com base na sua importância em programas de reflorestamento: *Aegiphila integrifolia* (Jacq.) Moldenke (Lamiaceae), *Guazuma ulmifolia* Lam. (Malvaceae) e *Heliocarpus popayanensis* Kunth (Malvaceae), popularmente conhecidas como tamanqueiro, mutambo e jangadeiro, respectivamente.

Para sementeira e para o crescimento das mudas destas espécies foi utilizado tubetes de polietileno de alta densidade, modelo cônico, de coloração preta, secção circular, contendo seis estrias internas longitudinais e equidistantes, com dimensões de 2,65 cm de diâmetro interno, 12,5 cm de altura e 50 cm³ de volume total. O substrato usado para o preenchimento dos tubetes foi preparado a partir de uma combinação de composto orgânico peneirado (esterco bovino e restos de vegetais), casca de arroz carbonizada e areia lavada, enriquecido com grânulos de Osmocote[®], adubo de liberação lenta (15% de N, 10% de P₂O₅ e 10% de K₂O).

No setor de germinação do viveiro foi feita a sementeira em 1000 recipientes, para cada espécie. Em seguida, as bandejas, portando os tubetes, foram transferidas para a área de crescimento, onde ocorreu o processo de emergência das plântulas. As mudas permaneceram neste setor até que atingissem altura aproximada de 20 cm. Neste momento (início do experimento - dia 0), cerca de 1000 plantas de cada espécie foram divididas, aleatoriamente, em dois lotes: 40% das mudas foram mantidas no setor de crescimento (tela sombreada), sob 40% de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) constituindo o grupo sombreado e 60% foram transferidas para o setor de aclimação ou rustificação sob sol pleno, compondo o tratamento aclimatado.

As mudas foram irrigadas por meio de sistema automático de aspersão em quatro períodos distintos do dia, com tempo de irrigação de 30 minutos cada, tanto no setor de crescimento (40% de DFFF) quanto no setor de aclimação (0% sombreado).

As mudas permaneceram nos setores por 168 dias após a separação dos lotes; a esquematização do experimento está ilustrada no Apêndice I. Fotos das espécies de mudas

produzidas no viveiro do LABRE que foram selecionadas para este estudo estão no Apêndice II.

Análises de Trocas Gasosas Foliaves

As quantificações de trocas gasosas foram realizadas a cada 14 dias, para isto selecionou-se a penúltima folha completamente madura e expandida por planta, em nove indivíduos aclimatados ou sombreado de cada espécie, até 168 dias após o início do experimento.

Para cada folha foram mensuradas: a assimilação líquida máxima de CO₂ (A_{max}, μmol m⁻²s⁻¹), a condutância estomática (g_s, mol m⁻²s⁻¹), a taxa de transpiração (E, mmol m⁻²s⁻¹) e a eficiência do uso da água (EUA, μmol mmol⁻¹), expressa pela razão A_{max}/E. Essas medidas foram realizadas em sistema fechado com um analisador portátil de gás infravermelho (IRGA, LI-6400XT, LI-COR) entre às 8:00 e 10:00 horas da manhã. Durante as medições, estabeleceu-se a densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) de 1.900 μmol m⁻² s⁻¹ gerada pela câmara (6 cm²) com fonte de luz de LED suficiente para saturar a A_{max} das mudas das três espécies (Apêndice III).

Análises Anatômicas

As características anatômicas foram avaliadas aos 168 dias de experimento em nove indivíduos aclimatados ou sombreado de cada espécie. Para isto, foram coletados segmentos da região basal do caule e dos terços medianos do pecíolo e do limbo da penúltima folha plenamente desenvolvida antes da gema apical. As amostras foram fixadas por 72 horas em FAA 70% (formaldeído, ácido acético e etanol) em seguida foram lavadas em água destilada, submetidas a desidratação em série etílica crescente, diafanizadas em xilol, infiltradas em parafina e seccionadas transversalmente a 14 μm em micrótomo de deslizamento (Leica, modelo SM2010 R). As secções foram aderidas em lâminas com adesivo de Haupt (Johansen 1940), colocadas em placa aquecedora até a distensão dos cortes. Em seguida, as lâminas foram imersas em xilol para a retirada da parafina, hidratadas em série etílica decrescente, lavadas em água destilada, coradas com solução aquosa de azul de astra e fucsina básica, desidratadas em série etílica progressiva e finalmente montadas em bálsamo do Canadá sintético (Macêdo 1997).

Segmentos do limbo de 0,5 cm², foram imersos em solução de Jeffrey (ácido crômico e ácido nítrico, ambos a 10%) (Macêdo 1997) para análise da epiderme foliar. As faces epidérmicas dissociadas foram submetidas ao processo de dupla coloração (azul de astra e fucsina básica) e montadas em lâminas com glicerina (Macêdo 1997).

As lâminas permanentes e semipermanentes foram depositadas no Laboratório de Anatomia Vegetal da UEL. As observações e documentações fotográficas foram realizadas com auxílio do microscópio óptico Axioplan Zeiss. Usando o programa Motic Images Plus versão 2.0 (Motic 2007), foram inseridas escalas nas imagens e foram quantificados a espessura do sistema vascular e do córtex de caule e do pecíolo; a espessura da lâmina foliar, da epiderme (faces adaxial e abaxial) e do mesofilo (parênquimas paliçádico e esponjoso) e a densidade estomática (estômatos por mm²).

Análises Morfológicas, de Crescimento e Índices de Qualidade de Mudas

Mensurou-se, no fim do experimento (168 dias), em nove indivíduos aclimatados ou sombreado de cada espécie, o diâmetro do colo (D) e a altura da parte aérea (APA). Fez-se a contagem do número de folhas total completamente expandidas (NFT) e o número de folhas desenvolvidas (NFD), a cada 14 dias, após a separação das mudas. Para a avaliação de NFD fez-se uma marcação na inserção da última folha formada no início do experimento e este parâmetro foi avaliado por 56 dias.

No final do experimento (168 dias) foram avaliadas a área foliar total (AF) e a específica (AFE), as massas de matéria secas das diferentes partes das plantas e os índices de qualidade de mudas. Para determinação da AF (cm²), as folhas coletadas foram digitalizadas em formato monocromático com auxílio de scanner de mesa e as leituras das imagens foram obtidas pelo software DDA (determinador digital de áreas), versão 1.2.0.0 (Ferreira et al. 2008).

Para obtenção da massa de matéria seca, as folhas, o caule e as raízes de cada planta foram armazenados em embalagens de papel etiquetadas para secagem em estufa a 70°C até atingirem a massa constante (aproximadamente 72 horas). Após este processo, pesou-se em balança analítica as massas de matéria secas foliar (MSF), caulinar (MSC) e radicial (MSR). Calculou-se a massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), obtida pela soma da MSF e MSC e massa de matéria seca total (MST) obtida pela soma da MSPA e MSR. A AFE foi obtida pela relação AF/MSF (cm² g⁻¹). Quanto aos índices que avaliam a qualidade de mudas foram calculados: RPAR - relação da massa de matéria seca da parte aérea pela massa de matéria

seca do sistema radicial (MSPA/MSR); RAD - relação altura da parte aérea pelo diâmetro do colo (APA/D); e IQD - Índice de qualidade de Dickson, (Dickson et al. 1960), obtida pela expressão: $IQD = MST/(RAD + RPAR)$.

Análise dos Dados

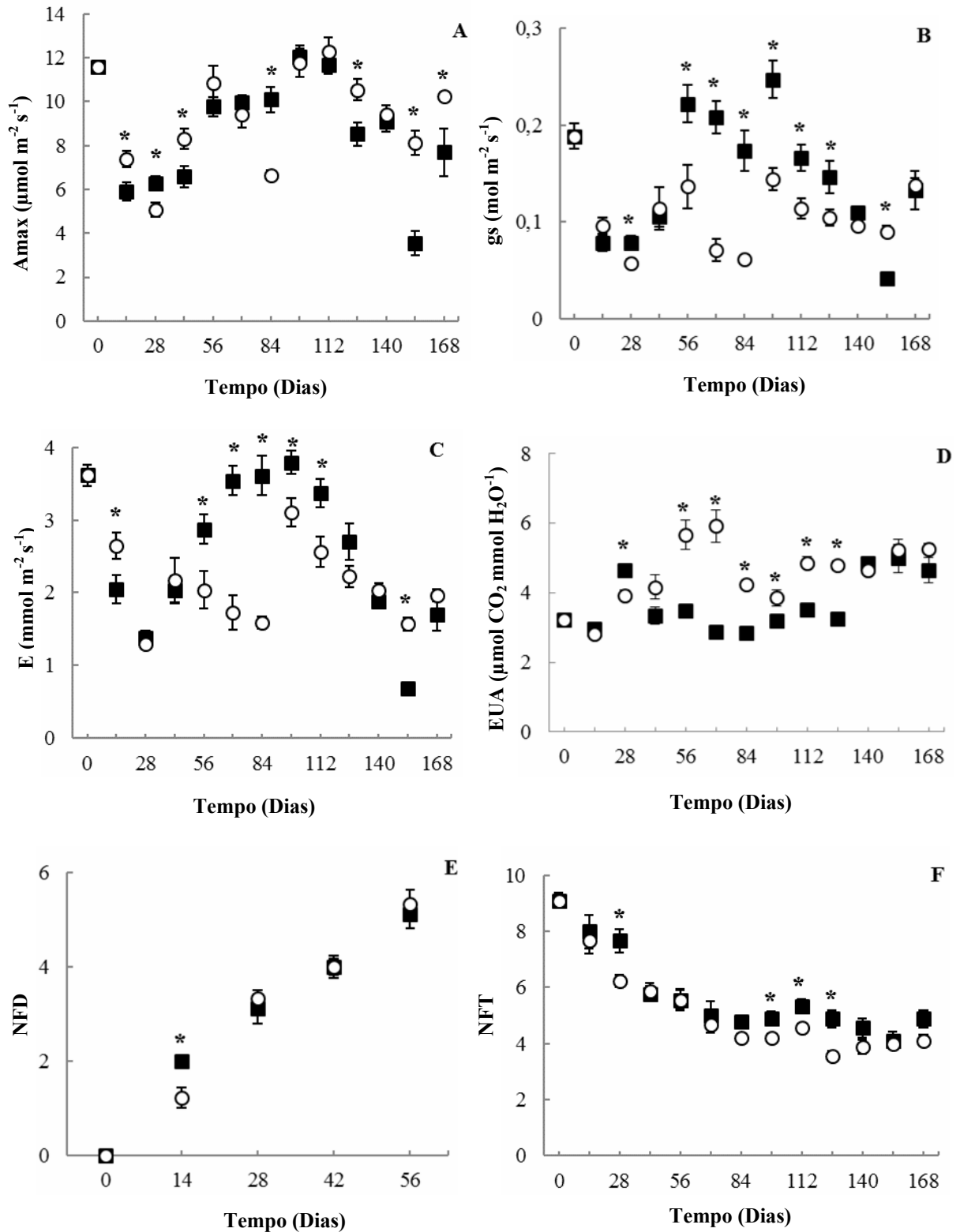
Os dados das variáveis estudadas foram submetidos à análise de variância de um fator (ANOVA one-way) a 5% de significância. Os resultados expressos em porcentagem (proporção de tecidos que compõe o caule ou pecíolo) foram previamente transformados em arco-seno $\sqrt{(x/100)}$. As análises estatísticas foram realizadas no programa Statistica versão 10.0 (Statsoft 2011).

RESULTADOS

Após a separação dos lotes, foi observado que as mudas transferidas para o setor de aclimação do viveiro apresentaram alguns sinais de injúria, como amarelecimento e senescência das folhas maduras nas primeiras semanas após o início do experimento. Contudo, ocorreu a formação de folhas novas em mudas de *H. popayanensis* após a transferência das plantas para o tratamento aclimatado (Figura 1E), enquanto que em *G. ulmifolia* e *A. integrifolia* a abscisão e a emissão de folhas novas ocorreu mais tardiamente (Figuras 2E e 3E).

Durante o período de análise, foi verificado que as mudas das três espécies mantidas no grupo sombreado e as que foram transferidas para o setor de aclimação a sol pleno sobreviveram.

Figura 1 – Trocas gasosas foliares e número de folhas de mudas de *Heliocarpus popayanensis* cultivadas sob 40% de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (■ - sombreado) e sob pleno sol (○ - aclimatado). A - assimilação líquida de CO₂ (Amax), B - condutância estomática (gs), C - taxa de transpiração (E), D - eficiência do uso da água (EUA), ao longo de 168 dias de experimento. E - número de folhas desenvolvidas (NFD) e F - número de folhas total (NFT), ao longo de 56 e 168 dias de experimento, respectivamente. Diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo teste F (ANOVA) são indicadas com asteriscos (*). Barras verticais indicam o erro padrão ($n = 9$).



Em *H. popayanensis*, de forma geral, não houve diferenças quanto ao NFD (Figura 1E) e o NFT (Figura 1F) durante todo o período do experimento, exceto aos 14, 28, 98, 112 e 126 dias em que as mudas de *H. popayanensis* do tratamento aclimatado apresentaram redução de uma destas variáveis.

Tabela 1 – Características morfoanatômicas da folha (média \pm erro padrão, n = 9) das três espécies de mudas cultivadas sob 40% de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (sombreado) e sob pleno sol (aclimatado). AFE = área foliar específica.

Características da folha	Espécies	Tratamento	
		Sombreado	Aclimatado
Epiderme da face adaxial (μm)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	17,0 \pm 0,76	18,0 \pm 0,87
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	37,2 \pm 2,81	33,9 \pm 2,20
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	15,9 \pm 0,73	18,7 \pm 0,89 *
Parênquima paliçádico (μm)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	46,2 \pm 5,11	63,7 \pm 5,53 *
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	22,8 \pm 2,22	37,4 \pm 4,56 *
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	42,6 \pm 2,09	66,3 \pm 4,42 *
Parênquima esponjoso (μm)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	79,6 \pm 3,59	99,6 \pm 6,00 *
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	32,1 \pm 1,76	35,4 \pm 2,50
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	47,2 \pm 1,86	60,5 \pm 2,09 *
Epiderme da face abaxial (μm)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	10,9 \pm 0,48	12,8 \pm 0,49 *
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	15,4 \pm 1,07	15,0 \pm 0,90
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	13,3 \pm 0,89	14,8 \pm 0,82
Espessura total do limbo (μm)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	153,8 \pm 6,84	194,1 \pm 9,87 *
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	107,5 \pm 4,60	121,7 \pm 5,22
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	119,1 \pm 3,45	160,4 \pm 4,78 *
Densidade estomática (n mm ²)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	251,3 \pm 23,6	375,9 \pm 15,1 *
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	329,1 \pm 21,2	494,8 \pm 18,6 *
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	288,8 \pm 23,0	272,2 \pm 23,7
Área foliar (cm ²)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	45,7 \pm 6,83	14,7 \pm 1,54 *
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	119,8 \pm 7,69	29,3 \pm 2,83 *
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	72,7 \pm 4,82	28,9 \pm 1,66 *
AFE (cm ² g ⁻¹)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	279,1 \pm 7,83	238,9 \pm 11,6 *
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	260,8 \pm 7,16	242,1 \pm 11,8
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	355,7 \pm 11,9	269,5 \pm 4,33 *

Diferenças significativas (p<0,05) pelo teste F (ANOVA) são indicadas com asteriscos.

Durante o período de avaliação, observou-se que mudas de *H. popayanensis* cultivadas no setor de aclimação apresentaram maiores taxas de Amax no início (14 e 42 dias) e no final (126, 154 e 168 dias) do experimento em relação às plantas sombreadas (Figura 1A). Verificou-se que as plantas aclimatadas, em relação às sombreadas, apresentaram redução na gs durante a maior parte (28, 56 - 126 dias) do período de experimento (Figura 1B) e também exibiram menor E na parte intermediária do período experimental (56 - 112 dias), sendo que apenas aos 14 e 154 dias esta taxa foi maior em relação às mudas sombreadas (Figura 1C).

Quanto à EUA, observou-se que as mudas aclimatadas apresentaram os maiores valores entre as avaliações dos dias 56 a 126, com as plantas sob sombreamento apresentando maior EUA apenas aos 28 dias de análise (Figura 1D).

Tabela 2 – Porcentagem de área do pecíolo (média \pm erro padrão, n = 9) das três espécies de mudas cultivadas sob 40% de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (sombreado) e sob pleno sol (aclimatado).

Características	Espécies	Tratamento	
		Sombreado	Aclimatado
Medula (%)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	19,8 \pm 1,90	15,6 \pm 0,84
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	8,69 \pm 1,52	5,82 \pm 0,99
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	15,8 \pm 0,605	8,97 \pm 1,30 *
Córtex (%)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	58,2 \pm 2,35	59,4 \pm 1,65
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	57,1 \pm 2,37	68,8 \pm 1,83 *
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	54,3 \pm 2,81	58,8 \pm 2,46
Colênquima (%)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	11,2 \pm 1,01	12,5 \pm 0,67
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	12,5 \pm 0,95	10,4 \pm 0,95
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	17,1 \pm 2,24	20,1 \pm 1,21
Xilema (%)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	7,41 \pm 0,88	8,27 \pm 0,64
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	11,6 \pm 0,59	8,36 \pm 0,20 *
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	9,26 \pm 0,68	8,00 \pm 0,52
Floema (%)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	3,41 \pm 0,35	4,31 \pm 0,42
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	6,04 \pm 0,31	5,96 \pm 0,23
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	3,56 \pm 0,29	4,13 \pm 0,34
Esclerênquima (%)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	-	-
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	4,14 \pm 0,58	0,66 \pm 0,46 *
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	-	-

Diferenças significativas (p<0,05) pelo teste F (ANOVA) são indicadas com asteriscos.

Anatomicamente, as folhas das mudas de *H. popayanensis* são hipoestomáticas e não apresentaram diferenças na densidade de estômatos entre as duas condições de luz (Tabela 1). As espessuras dos parênquimas clorofilianos (paliçádico e esponjoso), total do limbo e face adaxial da epiderme aumentaram nestas mudas durante a aclimação (Tabela 1). Quanto à proporção dos tecidos que compõe o pecíolo, observou-se que houve redução de medula sob sol pleno (Tabela 2). Enquanto que no caule, não houve alterações nas porcentagens de tecidos durante o processo de aclimação (Tabela 3).

Tabela 3 – Porcentagem de área do caule (média \pm erro padrão, n = 9) das três espécies de mudas cultivadas sob 40% de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (sombreado) e sob pleno sol (aclimatado).

Características	Espécies	Tratamento	
		Sombreado	Aclimatado
Medula (%)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	10,4 \pm 1,15	11,2 \pm 0,71
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	1,96 \pm 0,29	2,76 \pm 0,26
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	0,55 \pm 0,15	0,29 \pm 0,07
Córtex (%)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	29,5 \pm 2,25	27,9 \pm 1,47
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	30,4 \pm 0,94	29,7 \pm 1,34
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	41,0 \pm 1,14	40,6 \pm 1,57
Xilema (%)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	30,3 \pm 1,95	29,8 \pm 1,55
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	36,0 \pm 0,56	34,1 \pm 0,77
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	33,0 \pm 0,92	34,4 \pm 0,89
Floema (%)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	11,8 \pm 0,93	10,4 \pm 0,89
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	13,7 \pm 0,91	12,9 \pm 0,81
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	13,9 \pm 0,39	11,3 \pm 1,39
Esclerênquima (%)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	0,74 \pm 0,09	1,47 \pm 0,22 *
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	5,99 \pm 0,73	6,59 \pm 0,33
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	4,36 \pm 0,39	5,30 \pm 0,38
Periderme (%)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	17,2 \pm 1,05	19,2 \pm 1,29
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	6,06 \pm 0,32	6,90 \pm 0,45
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	7,22 \pm 0,41	8,07 \pm 0,26
Colênquima (%)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	-	-
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	5,83 \pm 0,31	7,08 \pm 0,27 *
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	-	-

Diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo teste F (ANOVA) são indicadas com asteriscos.

Não houve diferença no diâmetro do colo entre as mudas aclimatadas e as não aclimatadas (Tabela 4), contudo sob sol pleno, a altura da parte aérea das mudas de *H. popayanensis* foi menor, em relação às mudas cultivadas sob sombreamento (Tabela 4). A área foliar total, a AFE e a massa de matéria seca foliar foram reduzidas durante o período de aclimação (Tabelas 1 e 4).

Ao comparar as mudas do grupo sombreado e aclimatado, verificou-se que não houve alteração nas massas de matéria seca em nenhum dos outros órgãos vegetativos (Tabela 4).

Com relação aos índices morfológicos que estimam a qualidade de mudas, as plantas aclimatadas de *H. popayanensis* apresentaram IQD mais alto e menores RAD e RPAR (Tabela 4), indicando qualidade superior nas mudas aclimatadas.

Em *G. ulmifolia* observou-se que o NFT foi menor nas mudas do tratamento aclimatado a partir de 28 dias de análise (Figura 2F) e houve redução no NFD aos 56 dias em relação às mudas sob sombreamento (Figura 2E).

Na fase inicial do experimento (até 70 dias) e aos 112 dias, as mudas em aclimação de *G. ulmifolia* apresentaram redução na Amax em relação ao grupo sombreado, entretanto aos 84 dias e aos 140 dias apresentaram maiores taxas de Amax (Figura 2A). Quanto a gs e a E, em geral, observou-se que as mudas aclimatadas apresentaram redução destas taxas na fase inicial do experimento (14, 28 e 42 dias), enquanto que na fase final verificou-se que houve aumento destas variáveis em relação às mudas sombreadas (Figuras 2B, C). Em geral, as mudas cultivadas a pleno sol apresentaram os menores valores da EUA ao longo do experimento (Figura 2D).

Com relação a análise anatômica, as folhas das mudas de *G. ulmifolia* são hipostomáticas e apresentaram aumento da densidade de estômatos durante a aclimação (Tabela 1). As mudas aclimatadas desenvolveram parênquima paliçádico mais espesso, mas não houve espessamento total do limbo (Tabela 1). A área foliar sofreu redução com o processo de aclimação, contudo não houve alteração na AFE (Tabela 1). Dos tecidos mensurados no pecíolo, verificou-se aumento da proporção de parênquima cortical e menor proporção de xilema e de esclerênquima em mudas aclimatadas de *G. ulmifolia* em relação às não aclimatadas (Tabela 2). Sob sol pleno, a proporção de colênquima aumentou no caule (Tabela 3).

A massas de matéria secas das folhas, caule, da parte aérea e total foram menores nas plantas aclimatadas, enquanto que a massa de matéria seca da raiz permaneceu inalterada (Tabela 4). A altura da parte aérea não diferiu entre as mudas sombreadas e aclimatadas, contudo verificou-se redução no diâmetro do colo quando as mudas foram cultivadas sob sol

pleno (Tabela 4). Quanto aos índices de avaliação das mudas, a RAD foi maior nas plantas aclimatadas, enquanto a RPAR e IQD diminuíram com a aclimação (Tabela 4).

Tabela 4 – Características morfológicas (média \pm erro padrão, n = 9) das três espécies de mudas cultivadas sob 40% de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (sombreado) e sob pleno sol (aclimatado). Relação altura da parte aérea/diâmetro do colo (RAD), relação massa de matéria seca da parte aérea/massa de matéria seca de raízes (RPAR) e índice de qualidade de Dickson (IQD).

Características morfológicas	Espécies	Tratamento	
		Sombreado	Aclimatado
Altura da parte aérea (cm)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	25,4 \pm 0,58	25,6 \pm 0,37
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	30,7 \pm 0,77	29,0 \pm 0,76
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	48,1 \pm 0,52	37,1 \pm 0,17 *
Diâmetro do colo (mm)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	3,99 \pm 0,14	3,68 \pm 0,19
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	4,04 \pm 0,08	3,36 \pm 0,07 *
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	5,36 \pm 0,15	5,34 \pm 0,17
RAD (cm mm ⁻¹)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	6,44 \pm 0,306	7,09 \pm 0,348
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	7,62 \pm 0,278	8,65 \pm 0,227 *
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	9,04 \pm 0,262	7,01 \pm 0,207 *
Massa de matéria seca da folha (g)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	0,168 \pm 0,029	0,064 \pm 0,009 *
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	0,459 \pm 0,025	0,126 \pm 0,016 *
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	0,204 \pm 0,010	0,107 \pm 0,006 *
Massa de matéria seca do caule (g)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	0,335 \pm 0,028	0,236 \pm 0,017 *
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	0,533 \pm 0,040	0,341 \pm 0,011 *
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	0,861 \pm 0,076	0,826 \pm 0,051
Massa de matéria seca da parte aérea (g)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	0,503 \pm 0,054	0,301 \pm 0,023 *
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	0,992 \pm 0,055	0,467 \pm 0,187 *
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	1,070 \pm 0,077	0,933 \pm 0,054
Massa de matéria seca da raiz (g)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	1,060 \pm 0,162	0,491 \pm 0,067 *
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	0,764 \pm 0,087	0,706 \pm 0,056
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	0,589 \pm 0,044	0,622 \pm 0,025
Massa de matéria seca total (g)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	1,57 \pm 0,213	0,792 \pm 0,083 *
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	1,76 \pm 0,112	1,170 \pm 0,067 *
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	1,65 \pm 0,108	1,560 \pm 0,068
RPAR (g g ⁻¹)	<i>Aegiphila integrifolia</i>	0,543 \pm 0,808	0,688 \pm 0,091
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	1,470 \pm 0,196	0,687 \pm 0,044 *
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	1,840 \pm 0,121	1,510 \pm 0,081 *
IQD	<i>Aegiphila integrifolia</i>	0,225 \pm 0,028	0,105 \pm 0,012 *
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	0,196 \pm 0,015	0,127 \pm 0,010 *
	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	0,153 \pm 0,011	0,183 \pm 0,007 *

Diferenças significativas (p<0,05) pelo teste F (ANOVA) são indicadas com asteriscos.

Figura 2 – Trocas gasosas foliares e número de folhas de mudas de *Guazuma ulmifolia* cultivadas sob 40% de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (■ - sombreado) e sob pleno sol (○ - aclimatado). A - assimilação líquida de CO₂ (A_{max}), B - condutância estomática (g_s), C - taxa de transpiração (E), D - eficiência do uso da água (EUA), ao longo de 168 dias de experimento. E - número de folhas desenvolvidas (NFD) e F - número de folhas total (NFT), ao longo de 56 e 168 dias de experimento, respectivamente. Diferenças significativas (p<0,05) pelo teste F (ANOVA) são indicadas com asteriscos (*). Barras verticais indicam o erro padrão (n = 9).

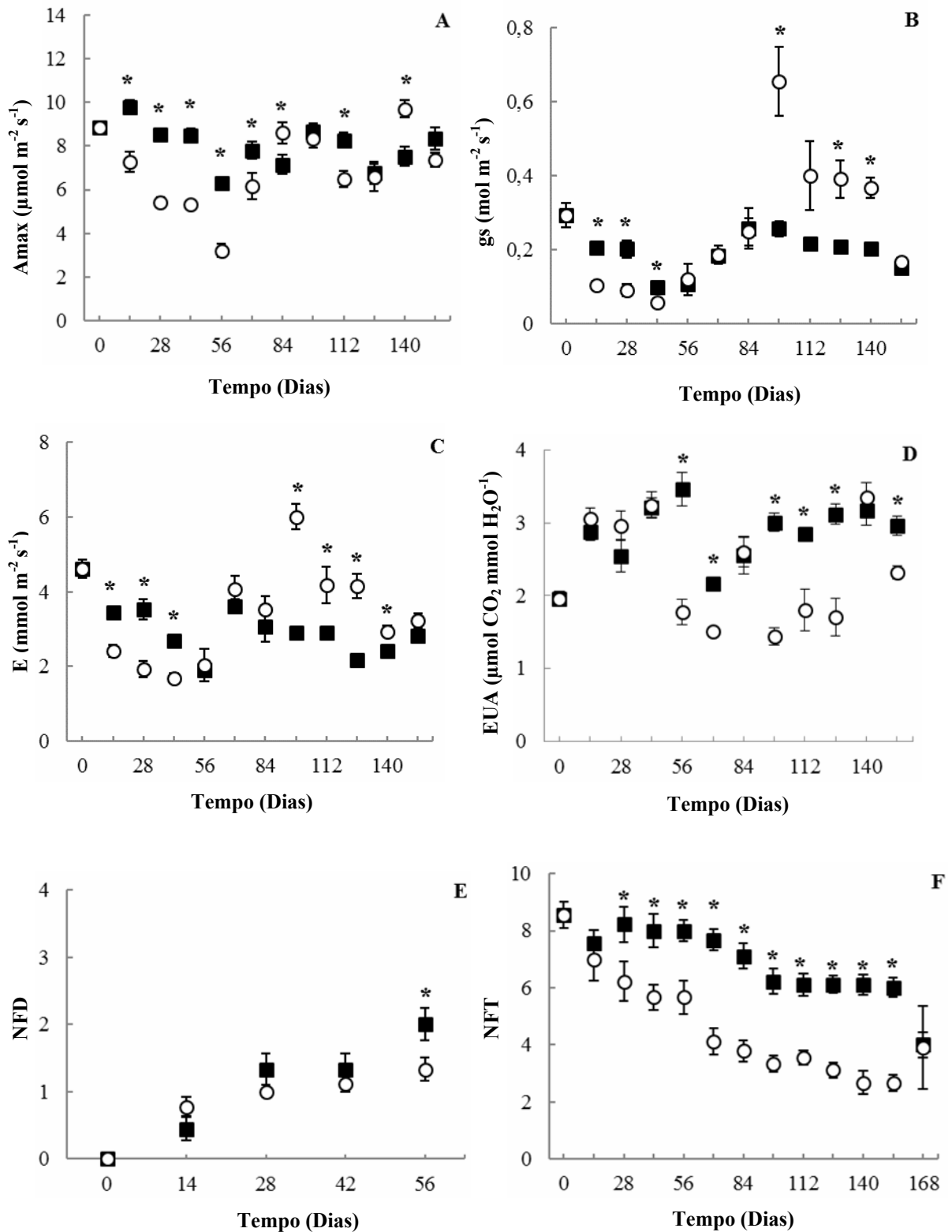
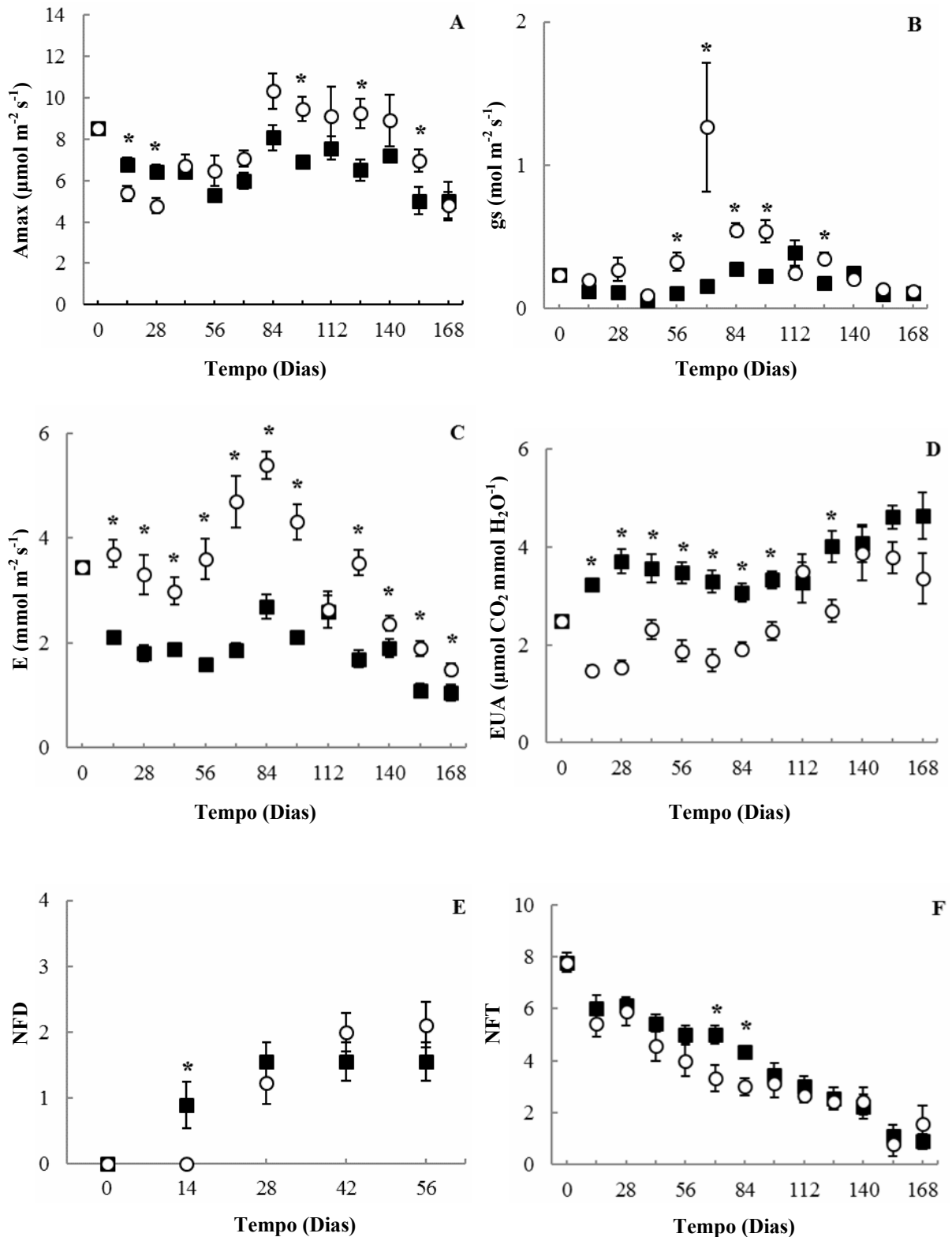


Figura 3 – Trocas gasosas foliares e número de folhas de mudas de *Aegiphila integrifolia* cultivadas sob 40% de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (■ - sombreado) e sob pleno sol (○ - aclimatado). A - assimilação líquida de CO₂ (A_{max}), B - condutância estomática (gs), C - taxa de transpiração (E), D - eficiência do uso da água (EUA), ao longo de 168 dias de experimento. E - número de folhas desenvolvidas (NFD) e F - número de folhas total (NFT), ao longo de 56 e 168 dias de experimento, respectivamente. Diferenças significativas (p<0,05) pelo teste F (ANOVA) são indicadas com asteriscos (*). Barras verticais indicam o erro padrão (n = 9).



Mudas de *A. integrifolia* apresentaram apenas alterações pontuais quanto ao NFT aos 70 e 84 dias (Figura 3F), respectivamente, e o NFD aos 14 dias (Figura 3E) de análises.

Em mudas aclimatadas de *A. integrifolia*, verificou-se redução na Amax apenas aos 14 e 28 dias e maiores aos 98, 126 e 154 dias (Figura 3A). As mudas aclimatadas exibiram maiores valores da gs (56 - 98 e 126 dias) ou valores similares aos das plantas sob sombreamento (Figura 3B). Durante o processo de aclimação, também foi verificado que as mudas apresentaram maiores valores da E e redução na EUA (exceto dos 140 aos 168 dias) em relação às mudas do grupo sombreado (Figuras 3C e D).

Anatomicamente, as folhas são hipoestomáticas e as mudas sob sol pleno apresentaram maior densidade estomática em relação às plantas sob sombreamento (Tabela 1). Sob sol pleno, observou-se que houve redução da área foliar e AFE nas mudas de *A. integrifolia* (Tabela 1). A face epidérmica abaxial, os parênquimas clorofilianos (palicádico e esponjoso) e o limbo sofreram espessamento com o processo de aclimação (Tabela 1). Quanto à proporção dos tecidos que compõe o pecíolo, não houve diferença entre as mudas aclimatadas e as não aclimatadas (Tabela 2). Já no caule observou-se apenas aumento na proporção de esclerênquima nas mudas aclimatadas de *A. integrifolia* (Tabela 3).

As mudas aclimatadas de *A. integrifolia* apresentaram menores massas de matéria secas de todas as partes consideradas (Tabela 4). Não houve alteração na altura da parte aérea tampouco no diâmetro do colo comparando-se as mudas sombreadas e às aclimatadas (Tabela 4). Quanto aos índices de qualidade, a RAD e a RPAR não diferiram entre as plantas sob sombreamento e aclimatadas, porém o IQD foi menor nas mudas aclimatadas (Tabela 4).

DISCUSSÃO

Neste estudo, a partir das respostas apresentadas pelas mudas de *H. popayanensis*, *G. ulmifolia* e *A. integrifolia* ao processo de aclimação implementado por viveiros, foi possível determinar que houve o desenvolvimento de características que tornaram mais rústicas as mudas dessas espécies. Entretanto, o uso de índices de qualidade de mudas, citados na literatura, precisam ser reavaliados.

Heliocarpus popayanensis

Assim que as mudas de *H. popayanensis* foram transferidas para o setor de aclimação, a maior intensidade de luz estimulou o desenvolvimento de novas folhas. Enquanto estas se desenvolviam, as folhas já expandidas, formadas sob sombreamento, se

aclimataram à maior intensidade de luz, pois apresentaram aumento da Amax aos 14 e 42 dias após a transferência das mudas. Yamashita et al. (2000) e Oguchi et al. (2006) também verificaram aumento na taxa fotossintética em folhas maduras já expandidas quando submetidas à maior intensidade luminosa nas espécies por eles estudadas. De acordo com Hanba et al. (2002) e Kursar e Coley (1999), tal característica pode propiciar o rápido crescimento das plantas quando submetidas à elevada intensidade luminosa.

A menor gs observada em mudas aclimatadas de *H. popayanensis*, durante a maior parte das análises, foi o principal fator que implicou na redução da E e propiciou o aumento da EUA nesta condição em relação ao grupo sombreado, sugerindo que esta espécie foi capaz de assimilar carbono com menor perda de água pelas folhas, assim como verificado por Hanba et al. (2002) em plantas de *Acer rufinerve* Sieb. et Zucc. desenvolvidas sob sol pleno. De acordo com Nogueira et al. (2004), espécies pioneiras de florestas semidecíduais brasileiras apresentam maior EUA devido a sua taxa fotossintética superior em relação às espécies tardias tolerantes à sombra. Desta forma, o aumento na EUA, como a observada em mudas aclimatadas de *H. popayanensis*, é essencial em plantas crescendo em ambientes sob altas luminosidade e temperatura, onde estão frequentemente sujeitas à menor quantidade de água disponível no solo (Lee et al. 2000; Hanba et al. 2002; Endres et al. 2010). Assim, o maior controle sob a perda de água, ou seja, maior EUA pode aumentar a probabilidade de sobrevivência e de desenvolvimento destas plantas quando a disponibilidade de água se torna um fator limitante (Vance e Zaerr 1991; Delpérée et al. 2003).

Em *H. popayanensis*, a aclimação também foi dependente de formação de folhas novas, sob maior luminosidade. Sob alta intensidade luminosa, estas folhas expandiram-se menos e foram acompanhadas do aumento na espessura do limbo, em consequência do desenvolvimento dos parênquimas clorofilianos, aumento na espessura da face epidérmica adaxial e, apresentaram diminuição da AFE, assim como observado em outras espécies por Klich (2000), Lee et al. (2000), Evans e Poorter (2001), Aranda et al. (2004), Avramov e Tucić (2006), Zhou et al. (2010), Kwak et al. (2011) e Cuzzol e Milanez (2012). Em alguns casos, o aumento na espessura da folha, em resposta à maior irradiância, está relacionada, a formação de camadas extras ou ao alongamento das células do parênquima paliçádico (Tsukaya 2005; Terashima et al. 2006). Contudo, em *H. popayanensis*, o espessamento sofrido pelo parênquima paliçádico foi resultado do alongamento celular e não da diferenciação de uma camada adicional de células, assim como o observado por Matos et al. (2009), na espécie por eles estudada. O desenvolvimento de folhas mais espessas, sob maior intensidade de luz, pode estimular a produção de cloroplastos que deve proporcionar aumento

do potencial de absorção de luz e, portanto, da Amax por unidade de área foliar (Evans e Poorter 2001; Terashima et al. 2001). Desta forma, o alto potencial de absorção de luz das novas folhas formadas deve ter possibilitado as maiores Amax em folhas aclimatadas das mudas de *H. popayanensis*, verificadas na segunda metade do experimento e, de acordo com Hanba et al. (2002), este aumento da Amax pode contribuir para o crescimento mais rápido em espécies exigentes de luz em relação as tolerantes à sombra. Em condições semelhantes, Cuzzol e Milanez (2012) verificaram que em folhas de *Minquartia guianensis* Aubl. e *Caesalpinia echinata* Lam. a diminuição na AFE foi associada com o aumento da assimilação líquida de CO₂ sob luz direta. O aumento da AFE em folhas de sombra, devido à sua menor espessura, pode contribuir para aumentar a área de absorção de luz em ambientes de baixa irradiância (Poorter 1999; Niinemets e Fleck 2002). No entanto, devido à maior área de superfície por volume foliar, pode tornar a planta menos eficiente em controlar a perda de água em condições de seca (Aranda et al. 2005) e, que rapidamente poderão se desidratar (Tsukaya 2005).

Durante o processo de aclimação, verificou-se que as mudas aclimatadas de *H. popayanensis* não sofreram espessamento no diâmetro do colo, mas foram influenciadas pela maior luminosidade, cessando o crescimento em altura da parte aérea e tais respostas refletiram diretamente na redução da RAD, índice que sugere, portanto, qualidade superior nas mudas aclimatadas, assim como verificado por Gratzer et al. (2004), Aguiar et al. (2011), Silva et al. (2011) e Freitas et al. (2012), nas espécies por eles estudadas. Portanto, em resposta a aclimação a RAD indicou que estas plantas apresentaram maior equilíbrio de desenvolvimento entre as diferentes partes da planta e o diâmetro do colo foi compatível com a altura (Campos e Uchida 2002; Câmara e Endres 2008; Aguiar et al. 2011), e pode implicar em mudas mais resistentes às condições impostas pelos fatores ambientais (Campos e Uchida 2002; Silva et al. 2007). As mudas sombreadas de *H. popayanensis* não investiram no espessamento proporcional do diâmetro do colo, o que resultou em mudas de menor qualidade, estioladas, que, possivelmente, terão dificuldades em sustentar a parte aérea após o plantio (Chiamolera et al. 2010; Freitas et al. 2012; Pacheco et al. 2013).

Apesar da massa de matéria seca total não ter sido alterada durante o processo de aclimação, o IQD e a RPAR, por serem relacionados ao acúmulo de biomassa, foram maiores e menores, respectivamente e indicaram qualidade superior nos indivíduos aclimatados, em relação às mudas cultivadas sob sombreamento. Assim, a menor RPAR observada em mudas de *H. popayanensis* durante o processo de aclimação, sugere que houve alocação de biomassa preferencialmente para raiz em relação a parte aérea. Segundo

Poorter e Nagel (2000), Poorter (2001) e Mielke e Schaffler (2010), sob alta irradiância, este tipo de resposta deve favorecer a absorção de água e íons pelas plantas, além de ter uma menor taxa de transpiração total (menor área foliar), o que pode contribuir para o sucesso na fase inicial de desenvolvimento das mudas após o plantio (Moraes et al. 2010; Freitas et al. 2012).

As respostas à aclimação em mudas de *H. popayanensis*, devem favorecer o sucesso dessas mudas em campo se consideradas as alterações ocorridas nas trocas gasosas das folhas (aumentos da Amax e da EUA), às modificações estruturais foliares, além dos índices de qualidades das mudas (redução da RAD e RPAR e maior IQD).

Guazuma ulmifolia

Ao contrário do observado em *H. popayanensis*, o estímulo ao desenvolvimento de novas folhas em mudas de *G. ulmifolia*, durante a aclimação ocorreu mais tardiamente. Neste período de aclimação, as folhas maduras e formadas sob sombreamento não foram capazes de manter a mesma Amax em relação às plantas sombreadas, pois foram afetadas pelo excesso de luz e temperatura. Segundo Valladares e Pearcy (1997), a exposição de plantas sob maior irradiância pode causar maior restrição estomática à transpiração, como o observado em *G. ulmifolia* no início da aclimação, e, eventualmente, pode intensificar os efeitos do estresse luminoso (Jordan et al. 2005; Valladares e Niinemets 2008). Resultados similares também foram encontrados por Gonçalves et al. (2013) em mudas de *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S. Moore expostas à luz direta. Segundo os autores, isto ocorreu porque as plantas de *T. aurea* que se desenvolveram na sombra não estavam aclimatadas às condições de alta irradiância, indicando sinais de fotoinibição e, conseqüente, queda na assimilação líquida de CO₂, similarmente ao observado em mudas de *G. ulmifolia*.

O excesso de irradiância para a assimilação de carbono, associado com altas temperaturas, pode resultar em danos às plantas, que podem ser expressos pela redução da taxa fotossintética (fotoinibição) e levar à uma perda parcial da capacidade de converter a energia radiante em biomassa seca, pela destruição dos pigmentos fotossintéticos (fotooxidação), o que pode afetar o crescimento e o desenvolvimento da planta e levá-la à morte (Long et al. 1994; Claussen 1996; Laisk et al. 1998; Kitao et al. 2000). Desta forma, o declínio observado na Amax e na gs em mudas aclimatadas de *G. ulmifolia* na primeira metade do experimento, possivelmente, pode ser um indicativo da ocorrência da fotoinibição e dano no aparelho fotossintético das folhas após a transferência das plantas para aclimação pela incapacidade destas mudas em dissipar o excesso de energia absorvida (Claussen 1996;

Kitao et al. 2000), assim como o verificado por Endres et al. (2010), Kitao et al. (2000) e Matsuki et al. (2003) em mudas de *Tabebuia chrysotricha* (Mart. Ex DC.) Standl., *Betula platyphylla* Sukachev var. *japonica* (Miq.) e *Quercus crispula* Blume, respectivamente.

Entretanto, os efeitos da fotoinibição podem ser minimizados pela produção de folhas novas, com características morfológicas e fisiológicas aclimatadas ao novo ambiente de luz (Mulkey e Pearcy 1992; Kitao et al. 2000; Yamashita et al. 2000). Desta forma, provavelmente a emissão de folhas novas de *G. ulmifolia*, estruturalmente aclimatadas à maior irradiância, pode ter mantido a Amax com valores próximos às mudas do grupo sombreado na segunda metade do experimento. De acordo com Gymah e Nakao (2007), a capacidade das mudas cultivadas a pleno sol em se ajustar fisiologicamente em níveis de alta luminosidade pode aumentar a probabilidade de sobrevivência destas plantas.

Ao final do processo de aclimação, as novas folhas desenvolvidas e completamente expandidas de *G. ulmifolia*, apresentaram características estruturais típicas de folhas de sol, tais como maior densidade estomática, redução da área foliar e espessamento do parênquima paliçádico (Givnish 1988; Klich 2000; Aranda et al. 2004; Craven et al. 2010; Ivancich et al. 2012).

Apesar das mudas aclimatadas de *G. ulmifolia* apresentarem parênquima paliçádico mais desenvolvido, maior densidade estomática e maior gs (na parte final do experimento), em relação às mudas não aclimatadas, não foi verificado aumento da Amax, de maneira geral, na segunda metade das análises, o que sugere que suas folhas não foram capazes de utilizar a alta radiação para aumentar a assimilação de carbono (Matos et al. 2009; Fini et al. 2010). Desta forma, assim como sugerido por Hanba et al. (2002), Warren (2008) e Zhou et al. (2010), é possível que processos de difusão do CO₂ da atmosfera para os sítios de carboxilação no interior do cloroplasto tenham limitado o aumento esperado da Amax nas mudas de *G. ulmifolia* em aclimação.

Segundo Lee et al. (2000) e Hanba et al. (2002), a maior gs pode propiciar o aumento na Amax, mas causa inevitavelmente maiores perdas de água quando as plantas são expostas aos altos níveis de irradiação, associados a altas temperaturas e elevado déficit de pressão de vapor entre a folha e atmosfera circundante. Desta forma, durante a segunda metade do processo de aclimação, provavelmente, o aumento na E, em conjunto com a maior gs, causou redução na EUA em mudas aclimatadas de *G. ulmifolia*. Contudo, Krause et al. (2001) citam que alta taxa de E pode contribuir para diminuir os riscos da fotoinibição em plantas pioneiras pelo resfriamento das folhas e por manter a taxa fotossintética sob maior irradiância.

Ao final do processo de aclimação, o decréscimo no acúmulo de biomassa observado em *G. ulmifolia*, em relação às mudas sombreadas, pode estar associado com os danos causados pela fotoinibição crônica, observada no início das análises, que danificou o aparelho fotossintético destas folhas e comprometeu o crescimento e desenvolvimento das mudas a pleno sol. Similarmente a estes resultados em plantas de *Aniba rosaeodora* Ducke, Gonçalves et al. (2005) observaram baixa eficiência fotossintética sob alta irradiância resultando no menor investimento em biomassa, que pode estar associado com o excesso de luz. Segundo os autores, uma atividade fotossintética eficiente é necessária para a alta produção de biomassa nas plantas.

Quanto a anatomia do pecíolo, a maior proporção de tecidos de sustentação (esclerênquima) e condutores (xilema) em pecíolos de sombra pode ter sido um investimento necessário para suportar o peso da folha, relacionados com a maior área e massa foliar encontrados sob sombreamento, corroborando com as observações de Leeflang et al. (1998) e Espindola Junior et al. (2009) em condições similares a este estudo nas espécies por eles estudadas. Murphy et al. (2012), citam que a construção de folhas maiores se torna dispendiosa, principalmente quando água ou carbono são escassos, pois requerem maior investimento em suporte e em tecidos condutores, enquanto que a porção de biomassa disponível para o tecido fotossintético é relativamente menor (Niinemets et al. 2007).

Em mudas de *G. ulmifolia* houve aumento da RAD durante o processo de aclimação, indicando qualidade inferior nas mudas aclimatadas, contrariando em parte a literatura (Siebeneichler et al. 2008; Aguiar et al. 2011; Pacheco et al. 2013). Apesar da aclimação ter afetado a biomassa total das mudas, a massa de matéria seca de raiz permaneceu similar entre as duas condições de luz, conseqüentemente a RPAR foi menor e indicou qualidade superior nas mudas aclimatadas de *G. ulmifolia*. No entanto, o IQD indicou o contrário, pois ele é relacionado ao acúmulo de massa de matéria seca total. A redução da RPAR obtida durante o processo de aclimação, pode favorecer o crescimento inicial das mudas de *G. ulmifolia* após o plantio, pois o maior desenvolvimento do sistema radicular deve favorecer à maior absorção de água e íons do solo, estimulando o crescimento (Claussen 1996; Poorter e Nagel 2000).

Similar às mudas aclimatadas de *H. popayanensis*, as mudas aclimatadas de *G. ulmifolia* apresentaram características indicadoras de rusticidade na folha, como menor área foliar e parênquima clorofiliano mais espesso. Entretanto, a RAD e o IQD não indicaram este aumento de rusticidade nas mudas aclimatadas. No caso da RAD, embora as mudas apresentaram variação de desenvolvimento (altura e diâmetro) do caule, o aumento de luminosidade não interferiu no desenvolvimento médio do mesmo. Portanto, o uso da RAD

deve ser feito com parcimônia, pois seus resultados foram contraditórios para duas espécies intolerantes à sombra. Como a RAD é usada no cálculo do IQD, provavelmente afetou o resultado do mesmo.

Ao final do processo de aclimação, embora a Amax não tenha aumentado proeminentemente, o desenvolvimento de novas folhas aclimatadas de *G. ulmifolia* não apresentaram sinais de fotoinibição e exibiram características estruturais de rusticidade, e tais características, em conjunto, devem favorecer o estabelecimento desta espécie após o plantio, em relação às não aclimatadas.

Aegiphila integrifolia

Assim como em *G. ulmifolia*, a formação de folhas novas de *A. integrifolia* durante o processo de aclimação ocorreu mais tardiamente e, por isto o início da aclimação de *A. integrifolia*, caracterizou-se pela redução da Amax. Neste período, isto ocorreu porque as análises de trocas gasosas correspondiam às folhas de *A. integrifolia* formadas sob sombreamento. De acordo com Yamashita et al. (2000), algumas espécies não apresentam aumento da Amax nas folhas maduras, após ocorrer elevação da intensidade luminosa. Ainda assim, as mudas de *A. integrifolia* foram capazes de investir no desenvolvimento de folhas novas, com características morfológicas e fisiológicas adequadas à essa nova situação, similarmente ao observado por Yamashita et al. (2000) e Cuzzol e Milanez (2012), nas espécies por eles estudadas.

Após a completa formação e expansão de novas folhas em mudas de *A. integrifolia*, durante o processo de aclimação, estas eram menores e mais espessas, em consequência, principalmente, da maior espessura dos parênquimas paliçádico e esponjoso. A relação direta entre a radiação e o aumento na espessura do mesófilo é consistente com outros estudos (Lee et al. 2000; Aranda et al. 2004; Robakowski et al. 2004; Wyka et al. 2008; Craven et al. 2010). O aumento na espessura de parênquimas clorofilianos acompanhado pela diminuição da área foliar tem como consequência a redução da AFE (Poorter 1999), como foi observado nas mudas aclimatadas de *A. integrifolia*.

Segundo Boardman (1977), Oguchi et al. (2005) e Ivancich et al. (2012), sob níveis elevados de luz, a lâmina foliar mais espessa é um mecanismo estrutural que pode aumentar a taxa fotossintética por unidade de área foliar, em comparação com folhas de sombra. Desta forma, o incremento da espessura do limbo, a redução da AFE e a maior densidade estomática pode ter contribuído para o aumento da Amax, na segunda metade do experimento, nas plantas aclimatadas de *A. integrifolia*.

Sob maior irradiância, valores mais altos de g_s implica no aumento da taxa fotossintética, mas inevitavelmente, também pode estar relacionada com grande perda de água por transpiração (Hanba et al. 2002). Assim como verificado por Medina et al. (2002), Matsuki et al. (2003) e Endres et al. (2010) nas espécies por eles estudadas, as taxas mais elevadas de E observadas durante o processo de aclimação de *A. integrifolia* pode ter ocorrido, principalmente, devido às temperaturas mais altas sob pleno sol, provocada pelo aumento da demanda evaporativa. No entanto, o aumento da E está associado com a redução da temperatura foliar, desta forma os riscos de superaquecimento e fotoinibição em tais plantas sob alta irradiância podem ser minimizados (Krause et al. 2001). Quando submetidas a maiores intensidades de luz, as mudas de *A. integrifolia*, apresentaram redução da EUA durante o processo de aclimação. Possivelmente, isto ocorreu porque as mudas aclimatadas de *A. integrifolia* apresentaram aumento da A_{max} , que associada ao aumento da taxa de transpiração, contribuíram para reduzir os efeitos do excesso de luz durante a exposição a altas intensidades luminosas, devido à manutenção de uma alta eficiência fotoquímica do fotossistema II e à diminuição da temperatura foliar, como já indicado por alguns autores (Kitajima 1994; Poorter 1999; Krause et al. 2001).

A menor área foliar observada ao final do experimento em mudas aclimatadas de *A. integrifolia*, possivelmente, contribuiu para explicar a redução na biomassa total destas plantas ao final do experimento, em relação às mudas sob sombreamento. Resultados similares foram observados por Pons e Anten (2004), Cordeiro et al. (2009) e Mohamed (2013), nas espécies por eles estudadas, e os autores atribuíram a redução no acúmulo de biomassa e, conseqüentemente, no crescimento da planta à menor área foliar, que limitou o ganho de carbono pela planta inteira. Sabe-se que acúmulo de biomassa da planta é dependente de vários fatores, incluindo entre outros, o número de folhas ou da área foliar, a eficiência fotossintética e a disponibilidade de água e íons no solo (Dalling et al. 1999; Marengo et al. 2001; Costa e Marengo 2007). Desta forma, o aumento da área foliar, quer seja a partir do maior número de folhas e/ou um aumento no tamanho foliar, pode promover maior superfície de interceptação da luz permitindo maior ganho de carbono foliar e, assim, implicar no aumento da taxa fotossintética, o que por sua vez pode levar ao maior acúmulo de biomassa pela planta (Marengo et al. 2001; Santos Jr. et al. 2006), desde que as condições ambientais sejam propícias para isto.

Como não houve alteração na altura da parte aérea tampouco no diâmetro do colo comparando-se as mudas não aclimatadas e às aclimatadas, conseqüentemente a RAD também não diferiu entre os grupos avaliados. No entanto, a análise anatômica do caule

revelou que houve aumento na proporção de esclerênquima durante o processo de aclimação em mudas de *A. integrifolia*, o que pode fornecer maior proteção mecânica, rigidez e sustentação a este órgão (Niklas 1999; Boeger e Wisniewski 2003; Appezzato-da-Glória e Carmello-Guerreiro 2012) favorecendo o estabelecimento inicial destas mudas após o plantio.

Apesar da aclimação ter afetado a massa de matéria seca total das plantas, a RPAR permaneceu inalterada e o IQD indicou qualidade inferior de mudas aclimatadas de *A. integrifolia*. No entanto, este último índice, precisa ser melhor estudado, pois não há na literatura valores de referência para a classificação da qualidade de mudas de diferentes espécies arbóreas nativas, o que dificulta a análise dos índices obtidos (Leles et al. 2006; Ferraz e Engel 2011).

Ao contrário do observado em mudas aclimatadas de *H. popayanensis* e *G. ulmifolia*, os índices RAD e RPAR não diferiram entre as mudas aclimatadas e não aclimatadas de *A. integrifolia*, indicando que não houve diferença de qualidade entre as mesmas. Portanto, o uso destes índices não foi adequado para prever o futuro desempenho das mudas de *A. integrifolia* em campo.

Além, disso as folhas das mudas cultivadas em maiores níveis de radiação desenvolveram-se com características de rusticidade com maior potencial para a fotossíntese, se considerados os maiores valores de Amax na parte final do experimento, o que deve possibilitar a essas plantas melhores condições de desenvolvimento em campo, em relação às não aclimatadas.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos evidenciam que as mudas de *Heliocarpus popayanensis*, *Guazuma ulmifolia* e *Aegiphila integrifolia* apresentaram diferentes respostas à aclimação, em relação aos parâmetros avaliados. Entretanto, as mudas dessas três espécies heliófilas, após serem submetidas ao processo de aclimação em viveiro, adquiriram características de rusticidade, especialmente nas folhas, que devem favorecê-las na fase inicial de estabelecimento, após o plantio.

Os índices de qualidade utilizados foram, em geral, inadequados para expressar a maior rusticidade das mudas aclimatadas das espécies heliófilas nativas analisadas, pois seus resultados foram contraditórios entre as espécies. Portanto, os índices de qualidade de mudas, citados na literatura, precisam ser melhor estudados, antes de indicar o uso dos mesmos para as espécies arbóreas nativas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Biodiversidade e Restauração de Ecossistemas da Universidade Estadual de Londrina por disponibilizarem as sementes, o espaço físico e os equipamentos necessários para o desenvolvimento deste trabalho. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de pós-graduação concedida ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- Aguiar FFA, Kanashiro S, Tavares AR, Nascimento TD, Rocco FM (2011) Crescimento de mudas de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.), submetidas a cinco níveis de sombreamento. *Rev. Ceres* 58:729-734.
- Aleric KM, Kirkman K (2005) Growth and photosynthetic responses of the federally endangered shrub, *Lindera melissifolia* (Lauraceae), to varied light environments. *Am. J. Bot.* 92:682-689.
- Appezato-da-Glória B, Carmello-Guerreiro SM (2012) Anatomia Vegetal. UFV, Viçosa.
- Aranda I, Castro L, Pardos M, Gil L, Pardos JA (2005) Effects of the interaction between drought and shade on water relations, gas exchange and morphological traits in cork oak (*Quercus suber* L.) seedlings. *Forest Ecol. Manag.* 210:117-129.
- Aranda I, Aldea A, Míguez MP, Puértolas J, Jiménez MD, Carrión JAP (2004) Efecto de la luz y la sequía sobre la anatomía foliar de plantas de alcornoque (*Quercus suber* L.). *Cuad. Soc. Esp. de Cienc. For.* 20:117-121.
- Athanasiou K, Dyson BC, Webster RE, Johnson GN (2010) Dynamic acclimation of photosynthesis increases plant fitness in changing environments. *Plant Physiol.* 152:366-373.
- Avramov S, Tucić B (2006) Plasticity to an irradiance gradient in foliage attributes of a perennial monocot *Iris pumila* (L): comparison of populations from habitats of contrasting light conditions. *Pol. J. Ecol.* 54:403-416.
- Boeger MRT, Wisniewski C (2003) Comparação da morfologia foliar de espécies arbóreas de três estádios sucessionais distintos de floresta ombrófila densa (Floresta Atlântica) no Sul do Brasil. *Rev. Bras. Bot.* 26:61-72.
- Boardman NK (1977) Comparative photosynthesis of sun and shade plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 28:355-377.
- Câmara CA, Endres L (2008) Desenvolvimento de mudas de duas espécies arbóreas: *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. e *Sterculia foetida* L. sob diferentes níveis de sombreamento em viveiro. *Rev. Floresta* 38:43-51.

Campos MAA, Uchida T (2002) Influência do sombreamento no crescimento de mudas de três espécies amazônicas. *Pesq. Agropec. Bras.* 37:281-288.

Carvalho NOS, Pelacani CR, Rodrigues MOS, Crepaldi IC (2006) Crescimento inicial de plantas de licuri (*Syagrus coronata* (Mart.) Becc.) em diferentes níveis de luminosidade. *Rev. Árvore* 30:351-357.

Chazdon RL, Pearcy RW, Lee DW, Fetcher N (1996) Photosynthetic responses of tropical forest plants to contrasting light environments. In: Mulkey SS, Chazdon RL, Smith AP (eds.) *Tropical Forest Plant Ecophysiology*. Chapman and Hall, New York, pp. 5-55.

Chiamolera LB, Ângelo AC, Boeger MR (2010) Resposta morfoanatômica da folha de *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl (Podocarpaceae) implantado em duas áreas com diferentes graus de sucessão às margens do Reservatório Iraí - PR. *Rev. Biotemas* 23:1-11.

Claussen JW (1996) Acclimation abilities of three tropical rainforest seedlings to an increase in light intensity. *Forest Ecol. Manag.* 80:245-255.

Close DC, Beadle CL, Hovenden MJ (2001) Cold-induced photoinhibition and foliar pigment dynamics of *Eucalyptus nitens* seedlings during establishment. *Aust. J. Plant Physiol.* 28:1133-1141.

Cordeiro YEM, Pinheiro HA, Santos Filho BG, Corrêa SS, Silva JRR, Dias-Filho MB (2009) Physiological and morphological responses of young mahogany (*Swietenia macrophylla* King) plants to drought. *Forest Ecol. Manag.* 258:1449-1455.

Costa GF, Marengo R (2007) Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). *Acta Amaz.* 37:229-234.

Craven D, Gulamhussein S, Berlyn GP (2010) Physiological and anatomical responses of *Acacia koa* (Gray) seedlings to varying light and drought conditions. *Environ. Exp. Bot.* 69:205-213.

Cuzzol GRF, Milanez CRD (2012) Morphological and physiological adjustments in juvenile tropical trees under contrasting sunlight irradiance. In: Najafpour MM (ed.) *Advances in Photosynthesis - Fundamental Aspects*. InTech, Rijeka, pp. 501-519.

Dalling JW, Lovelock CE, Hubbell SP (1999) Growth responses of seedlings of two neotropical pioneer species to simulated forest gap environments. *J. Trop. Ecol.* 15:827-839.

Delagrange S, Messier C, Lechowicz MJ, Dizengremel P (2004) Physiological, morphological and allocational plasticity in understory deciduous trees: importance of plant size and light availability. *Tree Physiol.* 24:775-784.

Delgado LGM (2012) Produção de mudas nativas sob diferentes manejos hídricos. Dissertação, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

Delpérée C, Kinet JM, Lutts S (2003) Low irradiance modifies the effect of water stress on survival and growth-related parameters during the early developmental stages of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). *Physiol. Plant.* 119:211-220.

Demmig-Adams B, Adams WW (1992) Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 43:599-626.

Dickson A, Leaf, AL, Hosner JF (1960) Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forest. Chron.* 36:10-13.

Duryea ML (1985) Evaluating seedling quality: importance to reforestation. In: Duryea ML (ed.), *Evaluating seedling quality principles, procedures, and predictive abilities of major tests.* Corvallis, Oregon State University, pp. 1-6.

Endres L, Câmara CA, Ferreira VM, Silva JV (2010) Morphological and photosynthetic alterations in the yellow-ipe, *Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Standl., under nursery shading and gas exchange after being transferred to full sunlight. *Agroforest. Syst.* 78:287-298.

Espindola-Junior A, Boeger MRT, Maccari-Júnior A, Reissmann B, Rickle FL (2009) Variação na estrutura foliar de *Mikania glomerata* Spreng. (Asteraceae) sob diferentes condições de luminosidade. *Rev. Bras. Bot.* 32:749-758.

Evans JR, Poorter H (2001) Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. *Plant Cell Environ.* 24:755-767.

Ferraz AV, Engel VL (2011) Efeito do tamanho de tubetes na qualidade de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang.), ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex Dc.) Sandl.) e guarucaia (*Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan). *Rev. Árvore* 35:413-423.

Ferreira OGL, Rossi FD, Andrighetto C (2008) DDA: software para determinação de área foliar, índice de área foliar e área de olho de lombo versão 1.2. Santo Augusto.

Fini A, Ferrini F, Frangi P, Amoroso G, Giordano C (2010) Growth, leaf gas exchange and leaf anatomy of three ornamental shrubs grown under different light intensities. *Eur. J. Hortic. Sci.* 75:111-117.

Fonseca EP, Valéri SV, Miglioranza E, Fonseca NAN, Couto L (2002) Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume. produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. *Rev. Árvore* 26:515-523.

Freitas GA, Vaz-de-Melo A, Pereira MAB, Andrade CAO, Lucena GN, Silva RR (2012) Influência do sombreamento na qualidade de mudas de *Sclerolobium paniculatum* Vogel para recuperação de área degradada. *J. Biotec. Biodivers.* 3:5-12.

Givnish TJ (1988) Adaptation to sun and shade: a whole plant perspective. *Aust. J. Plant Physiol.* 15:63-92.

Gomes JM, Couto L, Leite HG, Xavier A, Garcia SLR (2002) Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. *Rev. Árvore* 26:655-664.

Gonçalves ER, Souza FC, Santos LN, Silva JV, Ferreira, VM, Endres L (2013) Morphological and photosynthetic adaptations of *Tabebuia aurea* seedlings in the nursery. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.* 17:1201-1209.

- Gonçalves JFC, Barreto DCS, Santos-Junior UM, Fernandes AV, Sampaio PTB, Buckeridge MS (2005) Growth, photosynthesis and stress indicators in young rosewood plants (*Aniba rosaeodora* Ducke) under different light intensities. *Braz. J. Plant Physiol.* 17:325-334.
- Gratzer G, Darabent A, Chhetri PB, Rai PB, Eckmüllner (2004) Interspecific variation in the response of growth, crown morphology, and survivorship to light of six tree species in the conifer belt of the Bhutan Himalayas. *Can. J. For. Res.* 34:1093-1107.
- Gymah R, Nakao T (2007) Early growth and photosynthetic responses to light in seedlings of three tropical species differing in successional strategies. *New Forest.* 33:217-236.
- Hanba YT, Kogami H, Terashima I (2002) The effect of growth irradiance on leaf anatomy and photosynthesis in *Acer* species differing in light demand. *Plant Cell Environ.* 25:1021-1030.
- Ivancich HS, Lencinas MV, Pastur GJM, Esteban RMS, Hernández L, Lidstrom I (2012) Foliar anatomical and morphological variation in *Nothofagus pumilio* seedlings under controlled irradiance and soil moisture levels. *Tree Physiol.* 32:554-564.
- Jacobs DF, Salifu KF, Seifert JR (2005) Relative contribution of initial root and shoot morphology in predicting field performance of hardwood seedlings. *New Forest.* 30:235-251.
- Johansen DA (1940) *Plant Microtechnique*. McGraw-Hill, New York.
- Jordan GJ, Dillon RA, Weston PH (2005) Solar radiation as a factor in the evolution of scleromorphic leaf anatomy in Proteaceae. *Am. J. Bot.* 92:789-796.
- Kitajima K (1994) Relative importance of photosynthetic traits and allocation patterns as correlates of seedling shade tolerance of 13 tropical trees. *Oecologia* 98:419-428.
- Kitao M, Lei TT, Koike T, Tobita H, Maruyama Y (2000) Susceptibility to photoinhibition of three deciduous broadleaf tree species with different successional traits raised under various light regimes. *Plant Cell Environ.* 23:81-89.
- Klich MG (2000) Leaf variations in *Elaeagnus angustifolia* related to environmental heterogeneity. *Environ. Exp. Bot.* 44:171-183.
- Krause GH, Koroleva OY, Dalling JW, Winter K (2001) Acclimation of tropical tree seedlings to excessive light in simulated tree-fall gaps. *Plant Cell Environ.* 24:1345-1352.
- Kursar TA, Coley PD (1999) Contrasting modes of light acclimation in two species of the rainforest understory. *Oecologia* 121:489-498.
- Kwak MJ, Lee SH, Woo SY (2011) Growth and anatomical characteristics of different water and light intensities on cork oak (*Quercus suber* L.) seedlings. *Afr. J. Biotechnol.* 10:10964-10979.
- Laisk A, Rasulov BH, Loreto F (1998) Thermoinhibition of photosynthesis as analyzed by gas exchange and chlorophyll fluorescence. *Russ. J. Plant Physiol.* 45:412-421.

- Lee DW, Oberbauer SF, Johnson P, Krishnapilay B, Mansor M, Mohamed H, Yap SK (2000) Effects of irradiance and spectral quality on leaf structure and function in seedlings of two southeast Asian *Hopea* (Dipterocarpaceae) species. *Am. J. Bot.* 87:447-455.
- Leeftang L, During HK, Werger MJA (1998) The role of petioles in light acquisition by *Hydrocotyle vulgaris* L. in vertical light gradient. *Oecologia* 117:235-238.
- Leles PSS, Lisboa AC, Oliveira Neto SN, Grugiki MA, Ferreira MA (2006) Qualidade de mudas de quatro espécies florestais produzidas em diferentes tubetes. *Floresta Ambient.* 13:69-78.
- Long SP, Humphries S, Falkowski PG (1994) Photoinhibition of photosynthesis in nature. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 45:633-662.
- Macêdo NA (1997) Manual de Técnicas em Histologia Vegetal. Editora UEFS, Feira de Santana.
- Marengo, R., Gonçalves JFC, Vieira G, (2001) Photosynthesis and leaf nutrient contents in *Ochroma pyramidale* (Bombacaceae). *Photosynthetica* 39:539-543.
- Matos FS, Wolfgramm R, Gonçalves FV, Cavatte M, Ventrella MC, DaMatta FM (2009) Phenotypic plasticity in response to light in the coffee tree. *Environ. Exp. Bot.* 67:421-427.
- Matsuki S, Ogawa K, Tanaka A, Hara T (2003) Morphological and photosynthetic responses of *Quercus crispula* seedlings to high-light conditions. *Tree Physiol.* 23:769-775.
- Medina CL, Souza RP, Machado EC, Ribeiro RV, Silva JAB (2002) Photosynthetic response of citrus grown under reflective aluminized polypropylene shading nets. *Sci. Hort.* 96:115-125.
- Mielke MS, Schaffer B (2010) Photosynthetic and growth responses of *Eugenia uniflora* L. seedlings to soil flooding and light intensity. *Environ. Exp. Bot.* 68:113-121.
- Mohamed EA (2013) Growth performance and physiological characteristics of seedlings of six tropical dry land forest tree species in the Sudan. *J. Nat. Resour. Environ. Stud.* 1:25-33.
- Moraes GABK, Chaves ARM, Martins SCV, Barros RS, DaMatta FM (2010) Why is it better to produce coffee seedlings in full sunlight than in the shade? A morphophysiological approach. *Photosynthetica* 48:199-207.
- Motic (2007) Motic Image Plus, version 2.0. Hong Kong, Motic China Group Co., Ltd.
- Mulkey SS, Pearcy RW (1992) Interactions between acclimation and photoinhibition of photosynthesis of a tropical forest understory herb, *Alocasia macrorrhiza*, during simulated canopy gap formation. *Funct. Ecol.* 6:719-729.
- Murchie EH, Hubbart S, Peng S, Horton P (2005) Acclimation of photosynthesis to high irradiance in rice: gene expression and interactions with leaf development. *J. Exp. Bot.* 56:449-460.
- Murphy MRC, Jordan GJ, Brodribb TJ (2012) Differential leaf expansion can enable hydraulic acclimation to sun and shade. *Plant Cell Environ.* 35:1407-1418.

- Niinemets Ü, Fleck S (2002) Petiole mechanics, leaf inclination, morphology, and investment in support in relation to light availability in the canopy of *Liriodendron tulipifera*. *Oecologia* 132:1-33.
- Niinemets Ü, Kull O, Tenhunen JD (1998) An analysis of light effects on foliar morphology, physiology, and light interception in temperate deciduous woody species of contrasting shade tolerance. *Tree Physiol.* 18:681-696.
- Niinemets Ü, Portsmouth A, Tena D, Tobias M, Matesanz S, Valladares F (2007) Do we underestimate the importance of leaf size in plant economics? Disproportional scaling of support costs within the spectrum of leaf physiognomy. *Ann. Bot.* 100:283-303.
- Niklas KJ (1999) A mechanical perspective on foliage leaf form and function. *New Phytol.* 143:19-31.
- Nogueira A, Matinez CA, Ferreira LL, Prado CHBA (2004) Photosynthesis and water use efficiency in twenty tropical tree species of differing succession status in a Brazilian reforestation. *Photosynthetica* 42:351-356.
- Oguchi R, Hikosaka K, Hirose T (2005) Leaf anatomy as a constraint for photosynthetic acclimation: differential responses in leaf anatomy to increasing growth irradiance among three deciduous trees. *Plant Cell Environ.* 28:916-927.
- Oguchi R, Hikosaka K, Hirura T (2006) Leaf anatomy and light acclimation in woody seedlings after gap formation in a cool-temperate deciduous forest. *Oecologia* 149:571-582.
- Pacheco FV, Pereira CR, Silva RL, Alvarenga ICA (2013) Crescimento inicial de *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex. Benth (Fabaceae) e *Chorisia speciosa* A.St.-Hill (Malvaceae) sob diferentes níveis de sombreamento. *Rev. Árvore* 37:945-953.
- Pons TL, Anten NPR (2004) Is plasticity in partitioning of photosynthetic resources between and within leaves important for whole-plant carbon gain in canopies? *Funct. Ecol.* 18:802-811.
- Poorter H (1999) Growth responses of 15 rain-forest tree species to a light gradient: the relative importance of morphological and physiological traits. *Funct. Ecol.* 13:396-410.
- Poorter H, Nagel O (2000) The role of biomass allocation in the growth response of plant to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review. *Aust. J. Plant Physiol.* 27:595-607.
- Poorter H, Niklas KJ, Reich PB, Olesksyn PP, Mommer L (2012) Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytol.* 193:30-50.
- Poorter L (2001) Light-dependent changes in biomass allocation and their importance for growth of rain forest tree species. *Funct. Ecol.* 15:113-123.
- Robakowski P, Wyka T, Samardakiewicz S, Kierzkowski D (2004) Growth, photosynthesis, and needle structure of silver fir (*Abies alba* Mill.) seedlings under different canopies. *Forest Ecol. Manag.* 201:211-227.

- Rossatto DR, Kolb RM (2010) *Gochnatia polymorpha* (Less.) Cabrera (Asteraceae) changes in leaf structure due to differences in light and edaphic conditions. *Acta Bot. Bras.* 24:605-612.
- Rossatto DR, Takahashi FSC, Silva LCR, Franco AC (2010) Características funcionais de folhas de sol e sombra de espécies arbóreas em uma mata de galeria no Distrito Federal, Brasil. *Acta Bot. Bras.* 24:640-647.
- Santos Jr UM, Gonçalves JFC, Feldpausch TR (2006) Growth, leaf nutrient concentration and photosynthetic nutrient use efficiency in tropical tree species planted in degraded areas in central Amazonia. *Forest Ecol. Manag.* 226:299-309.
- Siebeneichler SC, Freitas GA, Silva RR, Adorian GC, Capellari D (2008) Características morfofisiológicas em plantas de *Tabebuia heptaphylla* (Vell.) Tol. em condições de luminosidade. *Acta Amaz.* 38:467-472.
- Silva MCA, Silva AM, Silva JAF, Esteves IF, Almeida NO (2011) Análise de crescimento inicial de mudas de *Parkia decussata* Ducke sob diferentes níveis de sombreamento, em viveiro. *Rev. Biol. Farm.* 6:1-10.
- Silva RR, Freitas GA, Siebeneichler SC, Mata JF, Chagas JR (2007) Desenvolvimento inicial de plântulas de *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum. sob influência de sombreamento. *Acta Amaz.* 37:365-370.
- StatSoft (2011) *Statistica*, version 10. Tulsa, Statsoft Inc.
- Terashima I, Miyazawa S I, Hanba Y (2001) Why are sun leaves thicker than shade leaves? Consideration based on analyses of CO₂ diffusion in the leaf. *J. Plant Res.* 114: 93-105.
- Terashima I, Hanba YT, Tazoe Y, Vynas P, Yano S (2006) Irradiance and phenotype: comparative eco-development of sun and shade leaves in relation to photosynthetic CO₂ diffusion. *J. Exp. Bot.* 57:343-354.
- Tsukaya H (2005) Leaf shape: genetic controls and environmental factors. *Int. J. Dev. Biol.* 49:547-555.
- Valladares F, Pearcy RW (1997) Interactions between water stress, sun-shade acclimation, heat tolerance and photoinhibition in the sclerophyll *Heteromeles arbutifolia*. *Plant Cell Environ.* 20:25-36.
- Valladares F, Niinemets Ü (2008) Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. *Ann. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 39:237-257.
- Valladares F, Skillman JB, Pearcy RW (2002) Convergence in light capture efficiencies among tropical forest understory plants with contrasting crown architectures: a case of morphological compensation. *Am. J. Bot.* 89:1275-1284.
- Vance NC, Zaerr JB (1991) Influence of drought stress and low irradiance on plant water relations and structural constituents in needles of *Pinus ponderosa* seedlings. *Tree Physiol.* 8:175-184.

Vats SK, Pandey S, Nagar PK (2002) Photosynthetic response to irradiance in *Valeriana jatamansi* Jones, a threatened understory medicinal herb of Western Himalaya. *Photosynthetica* 40:625-628.

Walters RG (2005) Towards an understanding of photosynthetic acclimation. *J. Exp. Bot.* 56: 435-447.

Warren CR (2008) Stand aside stomata, another actor deserves centre stage: the forgotten role of the internal conductance to CO₂ transfer. *J. Exp. Bot.* 59:1475-1487.

Wyka T, Robakowski P, Zytowski R (2008) Leaf age as a factor in anatomical and physiological acclimative response of *Taxus baccata* L. needles to contrasting irradiance environments. *Photosynth. Res.* 95:87-99.

Yamashita N, Ishida A, Kushima H, Tanaka N (2000) Acclimation to sudden increase in light favoring an invasive over native trees in subtropical islands, Japan. *Oecologia* 125:412-419.

Yang SJ, Sun M, Zhang YJ, Cochard H, Cao KF (2014) Strong leaf morphological, anatomical, and physiological responses of a subtropical woody bamboo (*Sinarundinaria nitida*) to contrasting light environments. *Plant Ecol.* 215:97-109.

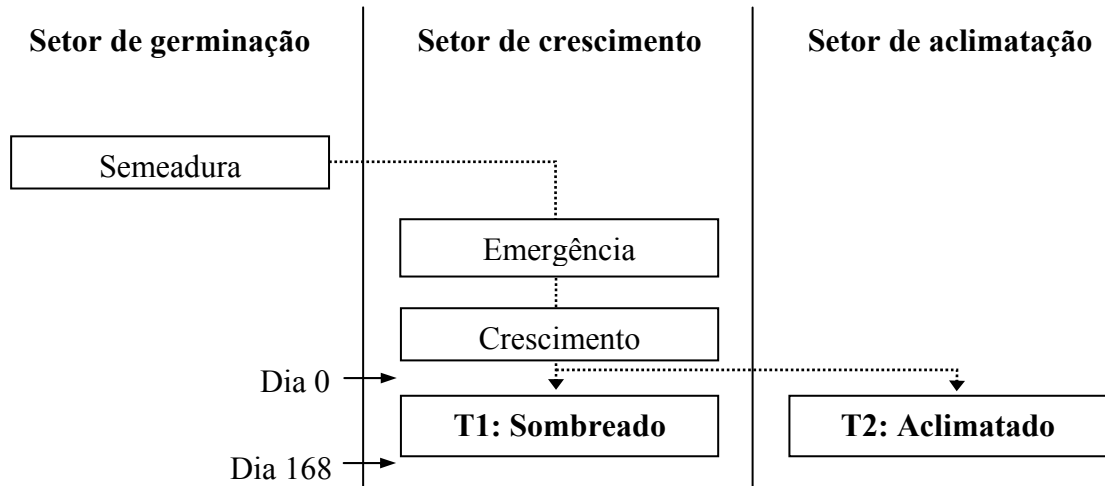
Yano S, Terashima I (2004) Developmental process of sun and shade leaves in *Chenopodium album* L. *Plant Cell Environ.* 27:781-793.

Zhou SB, Liu K, Zhang D, Li QF, Zhu GP (2010) Photosynthetic performance of *Lycoris radiata* var. *radiata* to shade treatments. *Photosynthetica* 48:241-248.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Caracterização do experimento, de acordo com o método usual de produção de mudas do viveiro do Laboratório de Biodiversidade e Restauração de Ecossistemas (LABRE) da Universidade Estadual de Londrina, Paraná. Com os respectivos setores de produção (germinação, crescimento e aclimação), a duração do experimento (em dias), T1 - representando o grupo sombreado (sob 40% de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos) e T2: representando o tratamento aclimatado (sob sol pleno).



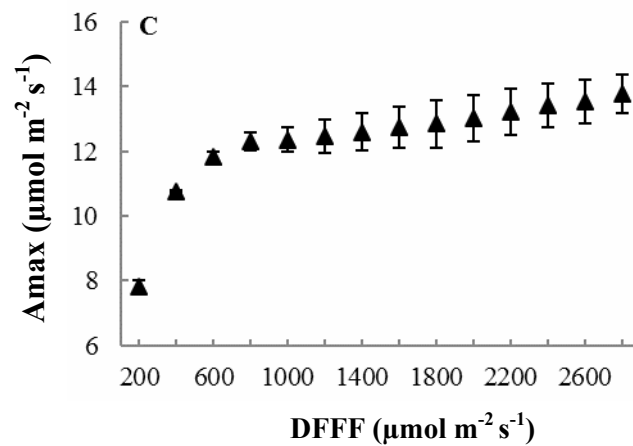
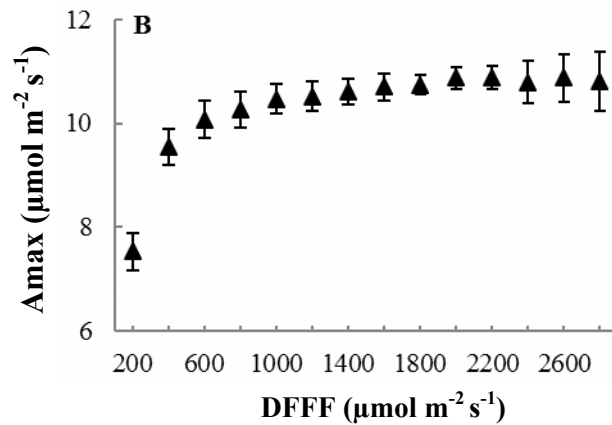
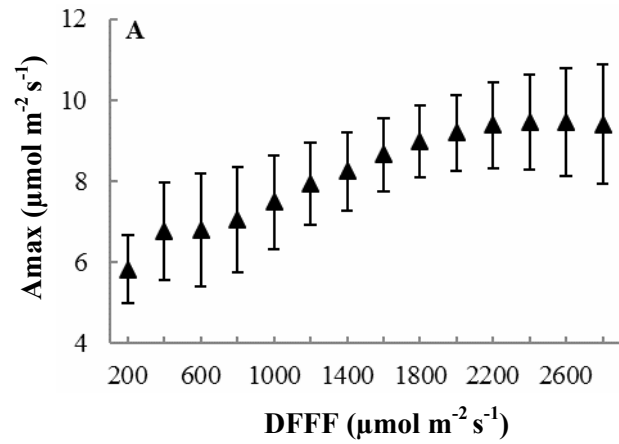
APÊNDICE B

Fotos das mudas cultivadas sob sombreamento (à direita) e sob sol pleno (à esquerda) produzidas no viveiro do Laboratório de Biodiversidade e Restauração de Ecossistemas da Universidade Estadual de Londrina, Paraná. *Heliocarpus popayanensis* Kuth (Malvaceae) (A), *Guazuma ulmifolia* Lam. (Malvaceae) (B) e *Aegiphila integrifolia* (Jacq.) Moldenke (Lamiaceae) (C). Escala = 5cm.

*Heliocarpus popayanensis***A***Guazuma ulmifolia***B***Aegiphila integrifolia***C**

APÊNDICE C

Curvas da taxa de assimilação líquida de CO₂ (Amax) em resposta à densidade de fluxo de fótons fotossintetizantes (DFFF) de mudas *Heliocarpus popayanensis* Kuth (Malvaceae) (A), *Guazuma ulmifolia* Lam. (Malvaceae) (B) e *Aegiphila integrifolia* (Jacq.) Moldenke (Lamiaceae) (C).



ANEXO

Normas da Revista – Theoretical and Experimental Plant Physiology (TxPP)

Editor-in-Chief: Ricardo Bressan-Smith
 ISSN: 2197-0025 (electronic version)
 Journal no. 40626

About this journal

An official publication of the Brazilian Society of Plant Physiology, this international journal publishes original papers spanning several domains of plant physiology.

International journal covering topics related to all domains of plant physiology

Encompasses Photobiology and Photosynthesis; Plant Signaling and Response; Stress Physiology and more

Official publication of the Brazilian Society of Plant Physiology

This international journal is devoted to original research across the domains of plant physiology. Covers Primary and Secondary Metabolism and Biochemistry; Photobiology and the Photosynthesis Process; Plant Signaling and Response; Stress Physiology and more.

Manuscript submission

Submission of a manuscript implies: that the work described has not been published before; that it is not under consideration for publication anywhere else; that its publication has been approved by all co-authors, if any, as well as by the responsible authorities – tacitly or explicitly – at the institute where the work has been carried out. The publisher will not be held legally responsible should there be any claims for compensation.

Permissions

Authors wishing to include figures, tables, or text passages that have already been published elsewhere are required to obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format and to include evidence that such permission has been granted when submitting their papers. Any material received without such evidence will be assumed to originate from the authors.

Online Submission

Authors should submit their manuscripts online. Electronic submission substantially reduces the editorial processing and reviewing times and shortens overall publication times. Please follow the hyperlink “Submit online” on the right and upload all of your manuscript files following the instructions given on the screen.

Title Page

The title page should include:

The name(s) of the author(s)

A concise and informative title

The affiliation(s) and address(es) of the author(s)

The e-mail address, telephone and fax numbers of the corresponding author

Abstract

Please provide a structured abstract of 150 to 250 words which should be divided into the following sections:

Purpose (stating the main purposes and research question)

Methods

Results

Conclusions

Keywords

Please provide 4 to 6 keywords which can be used for indexing purposes.

Text Formatting

Manuscripts should be submitted in Word.

Use a normal, plain font (e.g., 10-point Times Roman) for text.

Use italics for emphasis.

Use the automatic page numbering function to number the pages.

Do not use field functions.

Use tab stops or other commands for indents, not the space bar.

Use the table function, not spreadsheets, to make tables.

Use the equation editor or MathType for equations.

Save your file in docx format (Word 2007 or higher) or doc format (older Word versions).

Manuscripts with mathematical content can also be submitted in LaTeX.

LaTeX macro package (zip, 182 kB)

Headings

Please use no more than three levels of displayed headings.

Abbreviations

Abbreviations should be defined at first mention and used consistently thereafter.

Footnotes

Footnotes can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. They should not consist solely of a reference citation, and they should never include the bibliographic details of a reference. They should also not contain any figures or tables.

Footnotes to the text are numbered consecutively; those to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data). Footnotes to the title or the authors of the article are not given reference symbols.

Always use footnotes instead of endnotes.

Acknowledgments

Acknowledgments of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section before the reference list. The names of funding organizations should be written in full.

References

Citation

Cite references in the text by name and year in parentheses. Some examples:

Negotiation research spans many disciplines (Thompson 1990).

This result was later contradicted by Becker and Seligman (1996).

This effect has been widely studied (Abbott 1991; Barakat et al. 1995; Kelso and Smith 1998; Medvec et al. 1999).

Reference list

The list of references should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished works should only be mentioned in the text. Do not use footnotes or endnotes as a substitute for a reference list.

Reference list entries should be alphabetized by the last names of the first author of each work.

Journal article

Gamelin FX, Baquet G, Berthoin S, Thevenet D, Nourry C, Nottin S, Bosquet L (2009) Effect of high intensity intermittent training on heart rate variability in prepubescent children. *Eur J Appl Physiol* 105:731-738. doi: 10.1007/s00421-008-0955-8

Ideally, the names of all authors should be provided, but the usage of “et al” in long author lists will also be accepted:

Smith J, Jones M Jr, Houghton L et al (1999) Future of health insurance. *N Engl J Med* 341:325–329

Article by DOI

Slifka MK, Whitton JL (2000) Clinical implications of dysregulated cytokine production. *J Mol Med*. doi:10.1007/s001090000086

Book

South J, Blass B (2001) *The future of modern genomics*. Blackwell, London

Book chapter

Brown B, Aaron M (2001) The politics of nature. In: Smith J (ed) *The rise of modern genomics*, 3rd edn. Wiley, New York, pp 23057

Online document

Cartwright J (2007) Big stars have weather too. IOP Publishing PhysicsWeb. <http://physicsweb.org/articles/news/11/6/16/1>. Accessed 26 June 2007

Dissertation

Trent JW (1975) *Experimental acute renal failure*. Dissertation, University of California

Always use the standard abbreviation of a journal’s name according to the ISSN List of Title Word Abbreviations, see [ISSN.org LTWA](http://www.issn.org/LTWA)

For authors using EndNote, Springer provides an output style that supports the formatting of in-text citations and reference list. [EndNote style \(zip, 3 kB\)](#)

Tables

All tables are to be numbered using Arabic numerals.

Tables should always be cited in text in consecutive numerical order.

For each table, please supply a table caption (title) explaining the components of the table.

Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table caption.

Footnotes to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data) and included beneath the table body.

Artwork and Illustrations Guidelines

For the best quality final product, it is highly recommended that you submit all of your artwork – photographs, line drawings, etc. – in an electronic format. Your art will then be produced to the highest standards with the greatest accuracy to detail. The published work will directly reflect the quality of the artwork provided.

Electronic Figure Submission

Supply all figures electronically.

Indicate what graphics program was used to create the artwork.

For vector graphics, the preferred format is EPS; for halftones, please use TIFF format. MS Office files are also acceptable.

Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

Name your figure files with "Fig" and the figure number, e.g., Fig1.eps.

Line Art

Definition: Black and white graphic with no shading.

Do not use faint lines and/or lettering and check that all lines and lettering within the figures are legible at final size.

All lines should be at least 0.1 mm (0.3 pt) wide.

Scanned line drawings and line drawings in bitmap format should have a minimum resolution of 1200 dpi.

Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

Halftone Art

Definition: Photographs, drawings, or paintings with fine shading, etc.

If any magnification is used in the photographs, indicate this by using scale bars within the figures themselves.

Halftones should have a minimum resolution of 300 dpi.

Combination Art

Definition: a combination of halftone and line art, e.g., halftones containing line drawing, extensive lettering, color diagrams, etc.

Combination artwork should have a minimum resolution of 600 dpi.

Color Art

Color art is free of charge for online publication.

If black and white will be shown in the print version, make sure that the main information will still be visible. Many colors are not distinguishable from one another when converted to black and white. A simple way to check this is to make a xerographic copy to see if the necessary distinctions between the different colors are still apparent.

If the figures will be printed in black and white, do not refer to color in the captions.

Color illustrations should be submitted as RGB (8 bits per channel).

Figure Lettering

To add lettering, it is best to use Helvetica or Arial (sans serif fonts).

Keep lettering consistently sized throughout your final-sized artwork, usually about 2–3 mm (8–12 pt).

Variance of type size within an illustration should be minimal, e.g., do not use 8-pt type on an axis and 20-pt type for the axis label.

Avoid effects such as shading, outline letters, etc.

Do not include titles or captions within your illustrations.

Figure Numbering

All figures are to be numbered using Arabic numerals.

Figures should always be cited in text in consecutive numerical order.

Figure parts should be denoted by lowercase letters (a, b, c, etc.).

If an appendix appears in your article and it contains one or more figures, continue the consecutive numbering of the main text. Do not number the appendix figures, "A1, A2, A3, etc." Figures in online appendices (Electronic Supplementary Material) should, however, be numbered separately.

Figure Captions

Each figure should have a concise caption describing accurately what the figure depicts. Include the captions in the text file of the manuscript, not in the figure file.

Figure captions begin with the term Fig. in bold type, followed by the figure number, also in bold type.

No punctuation is to be included after the number, nor is any punctuation to be placed at the end of the caption.

Identify all elements found in the figure in the figure caption; and use boxes, circles, etc., as coordinate points in graphs.

Identify previously published material by giving the original source in the form of a reference citation at the end of the figure caption.

Figure Placement and Size

When preparing your figures, size figures to fit in the column width.

For most journals the figures should be 39 mm, 84 mm, 129 mm, or 174 mm wide and not higher than 234 mm.

For books and book-sized journals, the figures should be 80 mm or 122 mm wide and not higher than 198 mm.

Permissions

If you include figures that have already been published elsewhere, you must obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format. Please be aware that some publishers do not grant electronic rights for free and that Springer will not be able to refund any costs that may have occurred to receive these permissions. In such cases, material from other sources should be used.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your figures, please make sure that: All figures have descriptive captions (blind users could then use a text-to-speech software or a text-to-Braille hardware)

Patterns are used instead of or in addition to colors for conveying information (color-blind users would then be able to distinguish the visual elements)

Any figure lettering has a contrast ratio of at least 4.5:1

Electronic Supplementary Material

Springer accepts electronic multimedia files (animations, movies, audio, etc.) and other supplementary files to be published online along with an article or a book chapter. This feature can add dimension to the author's article, as certain information cannot be printed or is more convenient in electronic form.

Submission

Supply all supplementary material in standard file formats.

Please include in each file the following information: article title, journal name, author names; affiliation and e-mail address of the corresponding author.

To accommodate user downloads, please keep in mind that larger-sized files may require very long download times and that some users may experience other problems during downloading.

Audio, Video, and Animations

Always use MPEG-1 (.mpg) format.

Text and Presentations

Submit your material in PDF format; .doc or .ppt files are not suitable for long-term viability.

A collection of figures may also be combined in a PDF file.

Spreadsheets

Spreadsheets should be converted to PDF if no interaction with the data is intended.

If the readers should be encouraged to make their own calculations, spreadsheets should be submitted as .xls files (MS Excel).

Specialized Formats

Specialized format such as .pdb (chemical), .wrl (VRML), .nb (Mathematica notebook), and .tex can also be supplied.

Collecting Multiple Files

It is possible to collect multiple files in a .zip or .gz file.

Numbering

If supplying any supplementary material, the text must make specific mention of the material as a citation, similar to that of figures and tables.

Refer to the supplementary files as “Online Resource”, e.g., “... as shown in the animation (Online Resource 3)”, “... additional data are given in Online Resource 4”.

Name the files consecutively, e.g. “ESM_3.mpg”, “ESM_4.pdf”.

Captions

For each supplementary material, please supply a concise caption describing the content of the file.

Processing of supplementary files

Electronic supplementary material will be published as received from the author without any conversion, editing, or reformatting.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your supplementary files, please make sure that.

The manuscript contains a descriptive caption for each supplementary material.

Video files do not contain anything that flashes more than three times per second (so that users prone to seizures caused by such effects are not put at risk)

Does Springer provide English language support?

Manuscripts that are accepted for publication will be checked by our copyeditors for spelling and formal style. This may not be sufficient if English is not your native language and substantial editing would be required. In that case, you may want to have your manuscript edited by a native speaker prior to submission. A clear and concise language will help editors and reviewers concentrate on the scientific content of your paper and thus smooth the peer review process.

The following editing service provides language editing for scientific articles in all areas Springer publishes in. Use of an editing service is neither a requirement nor a guarantee of acceptance for publication.

Please contact the editing service directly to make arrangements for editing and payment.

For Authors from China

文章在投稿前进行专业的语言润色将对作者的投稿进程有所帮助。作者可自愿选择使用Springer推荐的编辑服务，使用与否并不作为判断文章是否被录用的依据。提高文章的语言质量将有助于审稿人理解文章的内容，通过对学术内容的判断来决定文章的取舍，而不会因为语言问题导致直接退稿。作者需自行联系Springer推荐的编辑服务公司，协商编辑事宜 理文编辑

For Authors from Japan

ジャーナルに論文を投稿する前に、ネイティブ・スピーカーによる英文校閲を希望されている方には、Edanz社をご紹介します。サービス内容、料金および申込方法など、日本語による詳しい説明はエダズグループジャパン株式会社の下記サイトをご覧ください。エダズグループジャパン

For Authors from Korea

영어 논문 투고에 앞서 원어민에게 영문 교정을 받고자 하시는 분들께 Edanz 회사를 소개해 드립니다. 서비스 내용, 가격 및 신청 방법 등에 대한 자세한 사항은 저희 Edanz Editing Global 웹사이트를 참조해 주시면 감사하겠습니다.

After acceptance

Upon acceptance of your article you will receive a link to the special Author Query Application at Springer’s web page where you can sign the Copyright Transfer Statement online and indicate whether you wish to order OpenChoice, offprints, or printing of figures in color.

Once the Author Query Application has been completed, your article will be processed and you will receive the proofs.

Open Choice

In addition to the normal publication process (whereby an article is submitted to the journal and access to that article is granted to customers who have purchased a subscription), Springer provides an alternative publishing option: Springer Open Choice. A Springer Open Choice article receives all the benefits of a regular subscription-based article, but in addition is made available publicly through Springer's online platform SpringerLink.

Springer Open Choice

Copyright transfer

Authors will be asked to transfer copyright of the article to the Publisher (or grant the Publisher exclusive publication and dissemination rights). This will ensure the widest possible protection and dissemination of information under copyright laws.

Open Choice articles do not require transfer of copyright as the copyright remains with the author. In opting for open access, the author(s) agree to publish the article under the Creative Commons Attribution License.

Offprints

Offprints can be ordered by the corresponding author.

Color illustrations

Online publication of color illustrations is free of charge. For color in the print version, authors will be expected to make a contribution towards the extra costs.

Proof reading

The purpose of the proof is to check for typesetting or conversion errors and the completeness and accuracy of the text, tables and figures. Substantial changes in content, e.g., new results, corrected values, title and authorship, are not allowed without the approval of the Editor.

After online publication, further changes can only be made in the form of an Erratum, which will be hyperlinked to the article.

Online First

The article will be published online after receipt of the corrected proofs. This is the official first publication citable with the DOI. After release of the printed version, the paper can also be cited by issue and page numbers.