



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI



CRESCIMENTO DE MUDAS DE JATOBÁ (*Hymenaea courbaril* L.) SOB QUATRO
NÍVEIS DE SOMBREAMENTO

DANILO DOURADO DE ARAÚJO

BELÉM - PA

2009



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI



CRESCIMENTO DE MUDAS DE JATOBÁ (*Hymenaea courbaril* L.) SOB QUATRO
NÍVEIS DE SOMBREAMENTO

DANILO DOURADO DE ARAÚJO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia e ao Museu Paraense Emílio Goeldi como parte das exigências do Curso de Mestrado em Botânica, área de concentração Botânica Tropical, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Engenheiro Agrônomo Dr. Moacyr Bernardino Dias Filho

Co-orientador: Prof. Dr. Cláudio Vieira de Araújo

BELÉM - PA

2009

Araújo, Danilo Dourado de

Crescimento de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) sob quatro níveis de sombreamento/ Danilo Dourado de Araújo; Orientado por Moacyr Bernardino Dias Filho; Co-orientação de Cláudio Vieira de Araújo – Belém, 2009.

65 fl : il.

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia e ao Museu Paraense Emílio Goeldi como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre do Programa de Pós-Graduação em Botânica com área de concentração em Botânica Tropical.

1. Caesalpinaceae – Brasil - Amazônia 2. Hymenaea Courbaril 3. Jataí – Plasticidade fisiológica 4. Jatobá – Crescimento I. Dias Filho, Moacyr Bernardino, Orient. II Araújo, Cláudio Vieira, Co-orient. III. Título.

CDD 583.74909811



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI



CRESCIMENTO DE MUDAS DE JATOBÁ (*Hymenaea courbaril* L.) SOB QUATRO
NÍVEIS DE SOMBREAMENTO

DANILO DOURADO DE ARAÚJO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia e Museu Paraense Emílio Goeldi, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Botânica, área de concentração Botânica Tropical, para obtenção do título de Mestre.

Aprovada em maio de 2009

BANCA EXAMINADORA

Dr. Moacyr Bernardino Dias Filho
EMBRAPA Amazônia Oriental
Orientador

Prof. Dr. Hugo Alves Pinheiro
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA
1ª Examinador

Dr. Antônio Pedro da Silva Sousa Filho
EMBRAPA Amazônia Oriental
2º Examinador

Dr. Eniel David Cruz
EMBRAPA Amazônia Oriental
3º Examinador

Prof. Dr. Benedito Gomes dos Santos Filho
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA
Suplente

Dedicatória

Àqueles que mais amo, como forma de retribuição ao seu verdadeiro amor, e que estiveram ao meu lado nos momentos bons, e nos momentos difíceis, foram fonte de força e de inspiração. Aos meus pais Antônio Nascimento de Araújo (*in memoriam*) e Maria das Dores Dourado de Araújo, ao meu irmão Delon Dourado de Araújo, ao meu filho Danúbio Holanda Dourado e à minha querida esposa Irleane Sara Holanda Dourado.

Agradecimentos

A Deus por ter me concedido a vida, saúde, força de vontade e oportunidade para lutar contra as adversidades e permitir-me galgar os caminhos da investigação científica em favor de nossa tão bela e rica flora.

Ao Museu Paraense Emílio Goeldi, à Universidade Federal Rural da Amazônia e à Embrapa da Amazônia Oriental por terem me acolhido em seu leito de conhecimento, ter me fornecido apoio logístico e proporcionado a ampliação de meu conhecimento em uma área pela qual tenho desmedido interesse.

Aos funcionários dessas instituições, em todas as esferas, pelo profissionalismo com que conduziram suas atividades em favor do bom funcionamento das mesmas e conseqüentemente do trabalho daqueles que utilizam os seus recursos.

Ao Dr. Moacyr Bernardino Dias Filho pela orientação, interesse, dedicação e amizade na condução deste trabalho.

Ao Dr. Cláudio Vieira de Araújo pela amizade, paciência e empenho cuidadoso na co-orientação.

Aos professores do curso de botânica em especial aos doutores João Ubiratan Moreira dos Santos (Bira), Mário Jardim, Ricardo Secco, Raimunda Potyguara, Alba Lins, Maria de Nazaré Bastos, Benedito Gomes dos Santos Filho, Maria Aparecida Lopes e Manoela Ferreira pelos conhecimentos fornecidos com entusiasmo e rigor, mas ao mesmo tempo com simpatia e bom humor.

Às secretárias Dagmar Mariano e Patrícia que prontamente nos atenderam com eficiência e simpatia.

A todos os amigos do Mestrado em Botânica Tropical, em especial ao Narcísio Costa Bígio, Pedro Paulo dos Santos, Mônica Cibelle, Josiane Santana, Darley Leal, Bernardo Maués, Denise Andrade, Rivaldo Júnior, Raimunda Alves, Juçara Freitas e Emília Nazaré.

Ao Antônio Elielson do herbário do Museu e Eunice Gonçalves da anatomia pelas dúvidas esclarecidas e pelo apoio fornecido em suas áreas.

Ao Dr. Eniel David Cruz do Laboratório de Ecofisiologia Vegetal da Embrapa da Amazônia Oriental pelo auxílio na produção das mudas e na coleta de dados.

À Nilza Araújo Pacheco do Departamento de Climatologia da Embrapa da Amazônia Oriental pelas informações prestadas sobre o clima local.

Ao amigo professor Saulo Cardoso pela amizade e contribuição na área de informática.

Ao pessoal do herbário da Embrapa da Amazônia Oriental, especialmente à dra. Regina Célia Viana responsável pela identificação da espécie e aos funcionários João Carlos Lima de Oliveira, Jair da Costa Freitas, Martins da Silva, Sebastião Ribeiro, Nilo Sérgio e Orlando Santa Brígida por seu auxílio na identificação da espécie.

RESUMO

A acentuada destruição das florestas tropicais requer que se tenha conhecimento sobre o comportamento de suas espécies em relação às condições ambientais para que se implemente sua recuperação de forma satisfatória, tanto para fins ambientais como econômicos. Entre os fatores ambientais de importância, a luz é um dos que exercem efeitos mais drásticos sobre o desenvolvimento e sobrevivência das plantas. O objetivo deste trabalho foi verificar a influência do sombreamento sobre o crescimento de mudas de *Hymenaea courbaril*. O experimento foi realizado em viveiro, no laboratório de Ecofisiologia Vegetal da Embrapa Amazônia Oriental, em Belém, PA. As mudas foram submetidas a condições de 0, 27, 67 e 73% de interceptação da luz solar, sendo as coletas de dados realizadas aos 50, 110, 170 e 230 dias de experimento. Para cada nível de luz foram coletadas informações de sete plantas por época. Foram avaliados o número de folhas, a altura da planta, o diâmetro do coleto, a massa seca foliar, a razão de massa seca foliar, a massa seca caulinar, a razão de massa seca caulinar, a massa seca da parte aérea, a razão de massa seca da parte aérea, a massa seca de raiz, a razão de massa seca de raiz, a área foliar específica, a massa seca total, a área foliar, a razão de área foliar, o índice de qualidade de Dickson, a taxa de crescimento absoluto, a taxa de crescimento relativo, a razão entre altura da planta e o diâmetro do coleto e a razão entre massa seca de raiz pela massa seca da parte aérea. Observou-se que as mudas apresentaram plasticidade fenotípica e adaptaram-se bem aos sombreamentos testados sem haver mortalidade ou injúrias. Houve maior alocação de biomassa para parte aérea nos ambientes mais sombreados e maior alocação de biomassa para as raízes nos ambientes mais iluminados. As mudas crescidas sob os ambientes mais iluminados (0 e 27%) apresentaram maior rusticidade durante os períodos avaliados, condicionadas, sobretudo pela exposição aos ambientes mais iluminados e caracterizada pela presença de raízes mais pesadas, maior diâmetro, menor razão entre altura da planta e diâmetro do coleto e menor área foliar específica. Não houve influência dos níveis de sombreamento na massa seca total sendo que esta cresceu de forma semelhante ao longo do tempo em todos os níveis avaliados. O ritmo de crescimento das mudas não foi influenciado pelos níveis de sombreamento. A repartição de biomassa entre as diversas partes das plantas ocorreu em função da variação dos níveis de sombreamento. A biomassa total não apresentou diferença em função da variação dos sombreamentos.

Palavras chaves: luz, plasticidade fisiológica, alocação de biomassa.

ABSTRACT

The growing destruction of tropical forests calls for a thorough knowledge of the behavior of native tree species in relation to environmental conditions, so that reforestation efforts can be successfully implemented, either from an ecological as well as an economic point of view. One of the most important environmental factors is the availability of light which has the most dramatic effect upon seedlings and plays a crucial role in the survival and growth of plants. The objective of this study was to verify the influence of light upon *Hymenaea courbaril* seedlings. This experiment was carried out in Belém, PA, at a greenhouse of Embrapa Amazônia Oriental. The seedlings were subjected to the following light levels: 0, 27, 67 and 73% of interception of direct sunlight. Data were collection at 50, 110, 170, and 230 days after the beginning of the experiment. Seven plants were sampled per each light level, at each sample period. The following parameters were evaluated: number of leaves, plant height, stem diameter, dry leaf mass, dry stem mass, dry shoot mass, dry root mass, specific leaf area, total dry mass, leaf area ratio, leaf area, leaf mass ratio, Dickson quality index, net assimilation rate, relative growth rate, height/diameter ratio, and root/shoot ratio. Seedlings showed a high phenotypic plasticity, adapting well to all light levels, without showing mortality or developing serious injuries. There was a higher biomass allocation to shoots in seedlings under the highest shaded levels and a higher biomass allocation to roots in seedlings under the least shaded levels. Seedlings that grew in the least shaded environments (0 e 27%) were considered the most adequate for planting in the field, due to their superior development.

Key words: light, physiological plasticity and biomass.

SUMÁRIO

	p.
1 INTRODUÇÃO.....	15
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.2 LUZ.....	17
2.3 PARÂMETROS QUE DETERMINAM A QUALIDADE DE MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS.....	19
2.2.1 Altura da Planta	19
2.2.2 Diâmetro do Coleto.....	21
2.2.3 Número de Folhas.....	21
2.2.4 Área Foliar.....	22
2.2.5 Área Foliar Específica.....	24
2.2.6 Massa Seca Foliar.....	25
2.2.7 Massa Seca Caulinar.....	26
2.2.8 Massa Seca da Parte Aérea.....	27
2.2.9 Massa Seca Radicular.....	28
2.2.10 Massa Seca Total.....	29
2.2.11 Razão de Área Foliar.....	30
2.2.12 Razão de Massa Foliar.....	30
2.2.13 Razão da Altura da Planta pelo Diâmetro do Caule.....	30
2.2.14 Razão Entre Massa Seca Radicular e Massa Seca da Parte Aérea.....	32
2.2.15 Índice de Qualidade de Dickson.....	33
2.2.16 Taxa de Crescimento Absoluto.....	35
2.2.17 Taxa de Crescimento Relativo.....	35
2.2.18 Parâmetros Morfológicos.....	35
2.2.19 Parâmetros Fisiológicos.....	36
2.3 ANÁLISE DE CRESCIMENTO.....	37
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
3.1 MATERIAL VEGETAL E CONDIÇÕES DE CRESCIMENTO.....	39
3.2 VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO.....	40
3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	42
4 RESULTADOS	43
4.1 ALTURA DA PLANTA PELO DIÂMETRO DO COLETO.....	43

4.2 NÚMERO DE FOLHAS, ÁREA FOLIAR TOTAL E ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA...	45
4.3 ACÚMULO DE MATÉRIA SECA	47
4.4 ANÁLISES INTEGRADAS DE CRESCIMENTO	49
5. DISCUSSÃO.....	55
5.1. ALTURA DA PLANTA PELO DIÂMETRO DO CAULE	55
5.2 NÚMERO DE FOLHAS, ÁREA FOLIAR E ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA.....	56
5.3 ACÚMULO DE MATÉRIA SECA	57
5.4 ANÁLISE INTEGRADA DE CRESCIMENTO.....	58
6 CONCLUSÕES	62
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
8 APÊNDICES E ANEXOS	68
9 GLOSSÁRIO.	70

LISTA DE TABELAS

	p.	
Tabela 1	Médias, desvios-padrão e comparação entre médias para altura da planta e diâmetro do coleto em <i>Hymenaea courbaril</i> em relação à interação entre sombreamento e épocas de avaliação.	42
Tabela 2	Número de folhas (NF), área foliar total (AFT) e área foliar específica (AFE) em plantas de <i>Hymenaea courbaril</i> sob quatro níveis de sombreamento.	44
Tabela 3	Massa seca foliar (MSF), massa seca caulinar (MSC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR) e massa seca total (MST) em plantas de <i>Hymenaea courbaril</i> sob quatro níveis de sombreamento.	46
Tabela 4	Razão de massa seca caulinar (RMC), razão de massa seca da parte aérea (RMPA), razão de massa seca radicular (RMR), razão de área foliar (RAF), razão de massa foliar (RMF), razão altura da planta pelo diâmetro do coleto (H/D), razão massa seca de raiz por massa seca da parte aérea (MSR/MSPA) e o índice de qualidade de Dickson (IQD) em plantas de <i>Hymenaea courbaril</i> sob quatro níveis de sombreamento.	49
Tabela 5	Médias, desvios-padrão e discriminação entre médias das taxas de crescimento absoluto e relativo, para cada período.	50

LISTA DE FIGURAS

	p.
Figura 1	
Variações na altura da planta (A) e no diâmetro do caule (B) de plantas de <i>Hymenaea courbaril</i> em quatro épocas de avaliação e quatro níveis de sombreamento (0, 27, 67 e 73%). Os dados referem-se às médias de sete repetições.	43
Figura 2	
Variações no número de folhas (NF), área foliar total (AFT) e área foliar específica (AFE) em plantas de <i>Hymenaea courbaril</i> sob quatro níveis de sombreamento. Os dados referem-se às médias de sete repetições.	45
Figura 3	
Variações na massa seca foliar (MSF), massa seca caulinar (MSC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR) e massa seca total (MST) em plantas de <i>Hymenaea courbaril</i> sob quatro níveis de sombreamento. Os dados referem-se às médias de sete repetições.	47
Figura 4	
Variações na massa na razão de área foliar (RAF), razão de massa foliar (RMF), razão de massa seca caulinar (RMC) e índice de qualidade de Dickson (IQD) em plantas de <i>Hymenaea courbaril</i> sob quatro níveis de sombreamento. Os dados referem-se às médias de sete repetições.	51
Figura 5	
Variações na razão da altura da planta pelo diâmetro do coleto (H/D), razão de massa seca da parte aérea (RMPA), razão de massa seca radicular (RMR), razão de massa seca foliar (RMF), taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR) e razão entre a massa seca de raiz pela massa seca da parte aérea (MSR/MSPA). Os dados referem-se às médias de sete repetições.	52

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AF = Área foliar

AFE = Área foliar específica

cm = centímetro

D = Diâmetro do coleto

dde = dias de experimento

dp = desvio-padrão

g = grama

H = Altura da planta

IQD = Índice de qualidade de Dickson

MSC = Massa seca de caule

MSF = Massa seca foliar

MSPA = Massa seca da parte aérea

MSR = Massa seca de raiz

MST = Massa seca total

N = Número de folhas

PCL = Ponto de compensação lumínico

PDF diária = densidade de fluxo de fótons incidente no dia

PDF máx = densidade de fluxo de fótons máxima do dia

PS = Ponto de saturação

R² = Coeficiente de determinação

RAF = Razão de área foliar

RFA = Radiação Fotossinteticamente Ativa

RMF = Razão de massa foliar

RMC = Razão de massa caulinar

RMR = Razão de massa radicular

s = sombreamento

sig = Significância

TCR = Taxa de crescimento relativo

TCA = Taxa de crescimento absoluto

AFF = Média das áreas foliares dos fragmentos

MFF = Média das massas secas foliares dos fragmentos

1 INTRODUÇÃO

A produção de conhecimentos sobre a ecofisiologia de mudas de espécies arbóreas constitui-se numa importante prerrogativa para se avaliar a sua sobrevivência, crescimento e aclimatação. Nesse caso a interação planta-ambiente é de fundamental importância, destacando-se dentre os fatores ambientais que influenciam diretamente na produção de mudas, as diferentes disponibilidades luminosas incidentes. Carvalho *et al.* (2006) afirmaram ser as modificações nos níveis de luminosidade, aos quais uma espécie está adaptada, as responsáveis por provocar respostas fisiológicas diferentes em suas características de crescimento, anatômicas e bioquímicas. De acordo com Carneiro (1995) os estudos com sombreamento fornecem valiosa contribuição sobre a capacidade de aclimatação que as espécies possuem.

Scalon *et al.* (2003) afirmam que, normalmente, as características de crescimento de partes das plantas são utilizadas para inferir o grau de tolerância das espécies ao sombreamento, o que conforme Almeida *et al.* (2004) pode refletir a habilidade de adaptação das espécies às condições de radiação dos ambientes onde as plantas desenvolvem-se.

Hymenaea courbaril L. (jatobá) é uma espécie arbórea neotropical que tem importância econômica, ecológica e ambiental. Pesquisas recentes (BARBOSA *et al.*, 2002; FERNANDES *et al.*, 2005; PEREIRA *et al.*, 2006; MELO & MENDES, 2005) mostram que desta espécie podem ser extraídas diversas substâncias como óleos essenciais ricos em terpenos e os xiloglucanos abundantes em suas sementes que podem ser usados na medicina, além do potencial para uso em reflorestamentos comerciais e agroflorestais.

Os estudos de Tonini *et al.* (2005) revelaram que *H. courbaril* apresenta incremento médio de volume do caule de $2,3 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ a partir do sétimo ano de idade, e por isso é espécie promissora em reflorestamentos e sistemas agroflorestais. De acordo com Lorenzi (2002), a madeira de *H. courbaril* é empregada na construção civil, como vigas, caibros, ripas, para acabamentos internos, como marcos de portas, tacos e tábuas para assoalhos, para confecção de artigos de esportes, cabos de ferramentas, peças torneadas, esquadrias e móveis.

Os estudo realizado por Alvino *et al.* (2005) em uma floresta secundária de 30 anos, na Zona Bragantina, estado do Pará, mostrou que *H. courbaril* é uma espécie de considerável valor econômico, com baixa densidade (quatro espécimes em 1,5 ha) cuja extração de madeira antes que seus indivíduos completem o ciclo reprodutivo pode levar ao seu desaparecimento local.

Esse trabalho tem como objetivo geral verificar a influência do sombreamento artificial nas características ecofisiológicas de mudas de *H. courbaril*. Os objetivos específicos são: verificar o desenvolvimento de características indicativas de rusticidade ao longo do período de experimento; a sobrevivência das mudas em função das diferentes intensidades de sombreamento durante o período avaliado; a alocação de biomassa nas diversas partes das mudas em função dos sombreamentos e o crescimento das mudas durante o período avaliado.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. LUZ

De acordo com Dias-Filho (1999), em florestas, a disponibilidade de luz, por sofrer grande variação dentro de uma mesma área, tem grande influência no crescimento e na sobrevivência de espécies arbóreas. Essa influência pode ser verificada nos órgãos-base de absorção de energia luminosa para as plantas e responsável pelo crescimento vegetal, as folhas. Taiz & Zeiger (2006) afirma que algumas plantas têm suficiente plasticidade de desenvolvimento para se adaptarem a amplitude de regimes de luz, podendo crescer como plantas de sol em áreas ensolaradas e como plantas de sombra em habitats sombrios. Afirmam também que as folhas de sombra têm mais clorofila total por centro de reação, maior razão de clorofila a/b e são geralmente mais finas do que as folhas de sol, que além de mais espessas têm células paliçádicas mais longas.

Raven (2001) cita que a formação de folhas de sol e de sombra pode ser induzida pelo cultivo de plantas sob intensidades luminosas diferentes. Para esse autor as grandes variações de intensidades luminosas nas diferentes partes das copas das árvores favorecem o aparecimento de formas extremas de folhas de sol e de sombra. Larcher (2006) afirma que as folhas de sombra aproveitam melhor a radiação em baixas intensidades que as folhas de sol e alcançam bem mais rapidamente o ponto de saturação à radiação.

De acordo com Larcher (2006) e Taiz & Zeiger (2006) há um nível de radiação sob o qual as plantas apresentam taxas iguais de CO₂ liberado pela respiração e de CO₂ fixado pela fotossíntese, não havendo, portanto, ganho fotossintético. Esse nível de radiação é o ponto de compensação luminoso (PCL). Os autores afirmam também que folhas que respiram mais intensamente necessitam de maior quantidade de radiação para atingir o ponto de compensação de luz.

De acordo com Taiz & Zeiger (2006), plantas crescendo sob ambientes sombreados apresentam menores PCL (1 a 5 $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2}\text{s}^{-1}$) do que as plantas crescendo a sol pleno (10 a 20 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e atribuem esse fato às menores taxas respiratórias.

Paiva & Oliveira (2006) atribuem às alterações na eficiência de conversão de energia solar à quantidade e, principalmente, qualidade da radiação solar incidente, ao genótipo e à idade da planta. Para esses autores, independentemente da taxa de fotossíntese, a taxa de crescimento vegetal depende, sobretudo, da relação entre o CO₂ fixado na fotossíntese e o CO₂ liberado pela respiração. Percebe-se que a produção de biomassa vegetal depende de todo um dinamismo que incluem fatores intrínsecos à espécie e fatores ambientais.

Larcher (2006) afirma que quando uma planta, sob radiação solar intensa, não apresenta mais aumento significativo de trabalho fotossintético, o processo fotossintético fica então saturado. Esse nível de radiação é chamado de ponto de saturação (PS), ponto no qual, de acordo com o autor, a velocidade de absorção de CO₂ não é mais limitada pelas reações fotoquímicas, mas sim pelas reações enzimáticas e pela disponibilidade de CO₂. O autor cita: “A posição dos pontos cardinais PCL e PS está condicionada à disponibilidade de radiação no ambiente e varia conforme o tipo de planta” (LARCHER, 2006, p. 111). De acordo com esse autor, plantas jovens de floresta tropical, em condições naturais de disponibilidade de CO₂ e sob temperaturas ótimas, apresentam baixos valores de PCL (2-5 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e baixos valores PS (50-100 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Tais valores s\u00e3o muito inferiores aos valores encontrados em outros grupos vegetais sob as mesmas condi\u00e7\u00f5es, como as \u00e1rvores adultas de floresta tropical.

“Em geral, os diferentes graus de luminosidade causam mudan\u00e7as fisiol\u00f3gicas e morfol\u00f3gicas na planta, sendo o grau desta adapta\u00e7\u00e3o ditado por caracter\u00edsticas gen\u00e9ticas da planta em intera\u00e7\u00e3o com o seu meio ambiente” (MORAES-NETO *et al.*, 2001, p.278). Reis *et al.* (1994), estudando o comportamento de plantas de *Piptadenia peregrina* Benth., *Colubrina rufa* (Mart.) Reissek, *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemao ex Benth. e *Tabebuia serratifolia* (Vahl.) G. Nicholson, sob 50% de intercepta\u00e7\u00e3o da luz notaram fragilidade nas plantas, principalmente quebra de galhos, folhas e \u00e1pices, indicando que esse n\u00edvel de intercepta\u00e7\u00e3o de luz estava muito pr\u00f3ximo ou acima do limite de toler\u00e2ncia para as esp\u00e9cies citadas.

Para sobreviverem sob grande variabilidade de intensidade de luz solar as plantas sofrem mudan\u00e7as em suas folhas, caules e ra\u00edzes. Altera\u00e7\u00f5es ecofisiol\u00f3gicas permitem-lhes adaptarem \u00e0s varia\u00e7\u00f5es na intensidade, qualidade e tempo de incid\u00eancia da luz.

De acordo com Taiz & Zeiger (2004) as plantas alongam o caule em resposta ao sombreamento como forma de evitar a baixa irradi\u00e2ncia de luz solar. Afirmaram que o sombreamento simulado de um dossel com seu alto n\u00edvel de luz vermelho-distante induz as plantas de sol a alocarem a maior parte dos seus recursos para aumentar sua altura. Os autores citam que plantas de sombra mostram pouca ou nenhuma redu\u00e7\u00e3o em sua taxa de alongamento caulinar \u00e0 medida que s\u00e3o expostas a maiores valores da raz\u00e3o vermelho/vermelho distante.

2.2 PARÂMETROS QUE DETERMINAM A QUALIDADE DE MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS

Para Fonseca *et al.* (2002), a qualidade de mudas pode ser definida como os atributos necessários para que ocorra maior sobrevivência e bom desenvolvimento após o plantio no campo. De acordo com Walters e Kozak (1965) o desempenho das mudas no campo é fortemente influenciado pela qualidade das mudas produzidas no viveiro.

Chaves & Paiva (2004) afirmaram que os parâmetros mais utilizados na determinação do padrão de qualidade das mudas de espécie arbóreas são a altura da planta (H), o diâmetro do coleto (D), a massa seca total (MST), a massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raízes (MSR). Destacaram a razão H/D, H/MSP, MSPA/MSR e o índice de qualidade de Dickson (IQD) que é obtido pela fórmula: $MST / (H / D) + (MSPA / MSR)$

Para Carneiro (1995) os parâmetros que determinam qualidade de mudas de espécies arbóreas podem ser de natureza fenotípica (parâmetros morfológicos) e de natureza interna (parâmetros fisiológicos). O autor afirmou que a alta qualidade parece aumentar a sobrevivência, por assegurar que a absorção de água pelas mudas iguale ou exceda as perdas e concluiu que deve-se considerar como parâmetro de qualidade de mudas a MST, a MSPA, a MSR e a razão MSR/MSPA. Fonseca *et al.* (2002) afirmaram que os parâmetros morfológicos não devem ser utilizados isoladamente na qualificação de mudas, para não se correr o risco, por exemplo, de se selecionar mudas mais altas, porém mais fracas por terem menor diâmetro (D). Os autores afirmam que as mudas menores podem apresentar maior vigor se tiverem caules mais espessos, pois além de serem mais resistentes à dessecação sofrem menos tombamentos.

2.2.1 Altura da Planta

Almeida L. *et al.* (2005) em estudo com mudas de *Jacaranda puberula* Cham. sob sombreamentos de 0, 30, 50 e 70% encontraram maior mortalidade a sol pleno e maiores alturas no maior sombreamento. Não consideraram a altura isolada como um parâmetro de qualidade. Para esses autores os sombreamentos de 30% e 50% foram os que proporcionaram melhor qualidade às mudas.

Fonseca *et al.* (2002) estudaram *Trema micrantha* (L.) Blume e concluíram que as mudas desenvolvidas sob maiores períodos de sombreamento, embora tenham alcançado maiores alturas da planta e áreas foliares, apresentaram as piores qualidades, com redução do diâmetro do coleto, da massa seca do sistema radicular e do índice de qualidade de Dickson,

além de aumento da razão altura da planta/diâmetro do coleto e da relação parte aérea/sistema radicular.

De acordo com Carneiro (1995) a qualidade das mudas baseia-se sobretudo no aumento da sobrevivência após o plantio. Essa característica pode ser visualizada a partir de padrões ecofisiológicos desenvolvidos pelas plantas. O autor citou vários estudos que descreveram em seus experimentos a relação da altura da planta à qualidade de mudas. Não parece haver consenso como sendo esse *per se* um determinante de qualidade, mas sua relação com outros parâmetros tem sido vista como bons indicativos de qualidade. Em experimento conduzido com *Pinus taeda* L. concluiu que mudas mais velhas, com diâmetros maiores e menores alturas apresentaram maior sobrevivência (76%). O menor percentual de sobrevivência (26%) foi verificado em mudas mais novas, de diâmetros inferiores e com alturas superiores à média.

De acordo com diversos trabalhos, maior altura nem sempre pode significar maior qualidade de mudas, pois mudas muito altas podem comprometer o reflorestamento por tombarem com mais facilidade e por apresentarem menor taxa de crescimento e menor índice de sobrevivência no campo. Muroya *et al.* (1997) afirmaram que o comportamento das mudas de espécies florestais em relação à luz pode ser avaliado por meio de vários parâmetros. Destacaram, entre eles, a altura da planta, que segundo os pesquisadores é utilizada com frequência devido à facilidade de avaliação. A maior ou menor altura da planta isoladamente nem sempre pode ser indicativo de qualidade das mudas embora seja um valioso e prático recurso para se avaliar o comportamento de espécies florestais em relação aos fatores ambientais, notadamente a luz.

Varela & Santos (1992) afirmam que as plantas apresentam diferentes padrões de respostas para altura de acordo com a capacidade adaptativa da espécie às variações na intensidade de luz. Esses pesquisadores estudaram o comportamento de mudas de *D. excelsa* sob sombreamentos de 20, 50 e 70% nos períodos de 30, 60 e 90 dias e verificaram maior altura aos 90 dias sob o sombreamento de 30%. Fairban & Neustein (1970) verificaram essas diferenças ao observarem maior crescimento de *Pseudotsuga menziesii* Mirbel, *Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg. *Abies grandis* Hook e *Picea abies*. A. Schmidt quando produzidas com pouco sombreamento, enquanto que *Picea sitchensis* (Bong.) Carri. cresceu mais sob sol pleno. Walters & Kozak (1965) elaboraram detalhada revisão sobre a qualidade de mudas e concluíram que há grande variação de altura de mudas em função da luminosidade. Para Campos & Uchida (2002), o desempenho satisfatório de *H. courbaril* à plena luz pode estar relacionado, em grande parte, às reservas de suas sementes e as mudas podem ser levadas ao

campo após 3 meses de desenvolvimento, quando atingem cerca de 30 cm de altura. Gonçalves *et al.* (2000) concluíram que mudas de boa qualidade apresentaram altura entre 20 a 35 cm e diâmetro de coleto entre 5 e 10 mm. Portela *et al.* (2001) afirmam que alturas entre 20 e 30 cm são indicadas para o plantio no campo desde que as mudas tenham um sistema radicular bem desenvolvido. Chaves & Paiva (2004) afirmaram que para *S. macranthera* a altura ideal para o plantio está entre 15 e 30 cm.

2.2.2 Diâmetro do Coleto

Gomes *et al.* (2002) afirmaram que o diâmetro do coleto é um parâmetro de fácil mensuração, cuja utilização não destrói a planta, e considerado por muitos pesquisadores um dos mais importantes itens para se estimar a sobrevivência de diferentes espécies florestais logo após o plantio. Vários trabalhos citam a importância desse parâmetro para avaliação do potencial de sobrevivência e crescimento das mudas após o plantio e a influência da luz sobre o mesmo. Ferreira *et al.* (1977) afirmaram ter sido observado em trabalhos anteriores que o maior diâmetro do coleto da muda no viveiro corresponde a maior desenvolvimento em altura no campo. Carneiro (1995) afirmaram que mudas de *P. taeda* com dimensões de diâmetro do coleto inferiores a 1,9 mm indicam que as mudas não apresentaram desenvolvimento equilibrado e que medidas técnicas devem ser tomadas para espessar o diâmetro. O autor indicou o plantio de mudas de *P. taeda* com diâmetro acima de 3,7 mm para a região dos Campos Gerais do Paraná. Afirmou ainda que as pesquisas de vários autores como Wakeley (1954), Stoeckeler & Slabaugh (1965), Schmidt-Vogt (1966), Abetz (1969), Schubert & Adams (1971), Schmidt-Vogt, Gürth & Schnurbein (1971) e Carneiro (1976) atestam existir forte correlação entre a percentagem de sobrevivência e o diâmetro de colo das mudas, medido no momento do plantio. Benincasa & Leite (2004) afirmam que o aumento do diâmetro do coleto pode resultar de uma menor atividade das giberilinas, acompanhando esse fenômeno por uma menor altura. Segundo Ferreira *et al.* (1977), em mudas sujeitas às mais altas intensidades de luz, há formação de caules mais espessos e curtos, em decorrência do aumento da transpiração.

2.2.3 Número de Folhas

Para alguns autores (Carvalho *et al.*, 2006 e Silva *et al.*, 2007) a diminuição no número de folhas tem relação direta com a menor altura da planta.

Carvalho *et al.* (2006) estudaram *S. coronata* sob sombreamentos de 0 e 70% e verificaram maior número de folhas a 70%. Campos e Uchida (2002) com *H. courbaril*

encontraram aos 150 dias, maior número de folhas nas plantas sob sol pleno, sem encontrarem diferenças estatísticas para o sombreamento de 50%. Para *J. copaia* encontraram maior número de folhas aos 173 e 145 dias no sombreamento de 30%. Segundo esses autores após 245 dias não houve alteração no número de folhas em função do sombreamento. Mossri (1997) também encontrou em *H. courbaril* maior número de folhas ao sol pleno quando comparado ao sombreamento de 70%. Lima *et al.* (2008) encontraram com *C. ferrea* maior número de folhas a sol pleno que sob sombreamentos de 50 e 70%. Estes últimos sombreamentos não apresentaram diferenças significativas entre si. Felfili *et al.* (1999) estudaram *Sclerobium paniculatum* Vogel sob sombreamentos de 0, 50, 70 e 90% e não encontraram diferenças significativas para o número de folhas aos 10, 12, 14 e 20 meses. Sob pleno sol e sombreamento de 50%, ocorreram as maiores médias aos 16 e 18 meses. Silva *et al.* (2007) estudaram *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex. Spreng.) Schum. e encontraram maior número de folhas sob 50% de sombreamento. Afirmaram que o aumento do número de folhas proporciona maior quantidade de fotoassimilados que serão translocados para aumentar a altura da planta. Carvalho *et al.* (2006) compartilham esse pensamento e com *S. coronata* encontraram menor número de folhas em plantas sob sol pleno, o que de acordo com os autores pode ter promovido alterações no processo fotossintético e ter prejudicado principalmente o crescimento em altura.

2.2.4 Área Foliar

De acordo com Dias-Filho (1997) o aumento da área foliar nos seis primeiros meses de desenvolvimento mostra a habilidade da espécie em utilizar a radiação fotossinteticamente ativa e alocar os fotoassimilados em repostas a diminuição da luminosidade. Scalon (2003) afirmam que devido à importância das folhas como órgãos fotossintetizadores e sua influência direta na produção biológica, a área foliar pode ser considerada um índice de produtividade. Ferreira *et al.* (1977) afirmaram ser a área foliar considerada por muitos autores como um índice de produtividade biológica.

Ferreira *et al.* (1977) afirmaram que, com o aumento da área foliar, a produção de matéria seca também aumenta e, a não ser que a espécie seja capaz de desenvolver-se bem à sombra, quando a área foliar atinge níveis mais elevados, pode ocorrer redução da produção de matéria seca, possivelmente em razão do sombreamento mútuo da folhagem, o que reduz a taxa fotossintética individual das folhas.

O aumento da área foliar em função do aumento do sombreamento foi verificado por diversos pesquisadores. Muroya *et al.* (1997) encontraram para *C. angulare* maior área foliar

em 70% de sombreamento aos 150 dias. Campos e Uchida (2002) encontraram maior área foliar para *J. copaia* sob 50% de sombreamento, sendo esse tratamento estatisticamente superior ao sem sombreamento. Esses autores verificaram que a área foliar cresceu com o sombreamento embora não existam diferenças significativas entre 70% e 50% de sombreamento. Pedroso & Varela (1995) verificaram que a área foliar foi estatisticamente superior em mudas de *Ceiba pentandra* (E.) GAERTN sob 70% de sombreamento que sob 30%, enquanto as mudas conduzidas a 0% e 50% de sombreamentos, não mostraram diferenças significativas. Ferreira *et al.* (1977) com *S. parahyba*, nos níveis de 0, 25, 50 e 70% de sombreamento observaram área foliar máxima a 70% e mínima a 0%. Moraes-Neto *et al.* (2001) estudaram as espécies pioneiras *C. urucurana* e *G. ulmifolia*, as secundárias iniciais *P. dubium* e *L. muehlbergians* e as climácicas *T. impetiginosa* e *G. americana* todas submetidas ao sol pleno, ao sombreamento natural (5-14% da radiação fotossinteticamente ativa, sob sombra de *M. Calabura*) e a 40% de luminosidade e observaram tendência a maiores valores de área foliar para todas as espécies com o aumento do sombreamento.

Campos & Uchida (2002) e Lima *et al.* (2008) afirmaram que expansão da folha sob baixa luminosidade é relatada frequentemente em trabalhos científicos como estratégia da planta compensar a baixa disponibilidade de luz. Baseando-se em diversos autores, Scalón *et al.* (2003) e Ferreira *et al.* (1977) afirmaram ser a área foliar um índice de produtividade biológica que aumenta com o aumento do sombreamento. Muroya *et al.* (1992) acrescentaram que essa é uma forma de a planta aumentar rapidamente sua superfície fotossintetizante para assegurar maior aproveitamento das baixas intensidades luminosas. De acordo com Campos & Uchida (2002) a expansão foliar é importante na determinação dos processos fisiológicos relativos ao crescimento e desenvolvimento como intensidade de transpiração, taxa assimilatória líquida, índice de área foliar, além de outros. Segundo Carvalho *et al.* (2006), quando a espécie tem capacidade adaptativa para compensar a deficiência de luz ocasionada pelo sombreamento, há um aumento da área foliar, o que resulta em aumento da superfície fotossintetizante, de modo que se torna possível a absorção do máximo de luz incidente para a realização da fotossíntese. Outros trabalhos não mostraram aumento da área foliar com o aumento do sombreamento. Carvalho *et al.* (2006) em estudo com 0 e 70% de sombreamento verificaram em *S. coronata* maior área foliar sob sol pleno. Ortega *et al.* (2006) observaram para a *P. cattleianum* maior área foliar a 50% de sombreamento e menor a 70%. Nos níveis de 0% e 30% os valores foram intermediários. Scalón *et al.* (2003), com *B. glabra* verificaram que os níveis de luz estudados (0%, 30% e 50% de sombreamento) não influenciaram a área foliar. Lima *et al.* (2008) observaram não haver incremento de área foliar em *C. ferrea* com o

aumento do sombreamento de 50% para 70%, sendo que os maiores valores ocorreram sob sol pleno. Ferreira *et al.* (1977) em experimentos com sombreamentos de 0, 25, 50 e 70% não encontraram diferenças significativas de área foliar para *H. stigonocarpa*, para *P. dubium* e para *E. contortisiliquum*. Almeida L. *et al.* (2005) estudaram *J. puberula* sob sombreamentos de 0, 30, 50 e 70%, avaliados aos 60, 90 e 120 dias e encontraram maior área foliar sob sombreamento de 30%, para todos os tratamentos.

2.2.5 Área Foliar Específica

De acordo com Poorter & Garnier (1999), a área foliar específica expressa a razão entre a área foliar e a massa seca foliar. Para esses pesquisadores esse é um importante parâmetro fisiológico porque mostra a alocação de biomassa da folha por unidade de área e reflete a escolha entre a rápida alocação de biomassa ou a eficiente conservação de nutrientes. É considerado um índice ecofisiológico que determina relação entre uma área de folha e o peso de sua massa seca e indica a espessura da folha.

Para Aguilera *et al.* (2004), a área foliar específica é o componente morfoanatômico de razão de área foliar que relaciona a superfície à massa seca das folhas. Franco *et al.* (2005) afirmam que a área foliar específica está, no cerrado, fortemente correlacionada à capacidade de fixação de carbono. Raven *et al.* (2001) afirmam que a maior espessura das folhas de sol é devida principalmente ao maior desenvolvimento do parênquima paliçádico. De acordo com os autores, o sistema vascular das folhas de sol é mais extenso e as paredes das células epidérmicas são mais espessas que das folhas de sombra. Bucci *et al.* (2004) citam que a diminuição da área foliar específica tem relação direta com o aumento da pressão de turgor e consequentemente à maior resistência da folha à dessecação. Larcher (2006) afirma que as folhas em ambientes mais iluminados apresentam hipoderme mais espessa e parênquima paliçádico com múltiplas camadas além de as folhas nesses ambientes serem normalmente menores e com menor área foliar específica. Em condições extremas de sombreamento esse autor afirma que as folhas são mais delgadas, apresentam poucas camadas de células e com parênquima paliçádico portador de células curtas e com grandes espaços intercelulares.

Larcher (2006) cita exemplos de duas espécies, *Zelkova serrata* (Thunb.) Maquino e *Acer campestre* L. em que um fator externo (a poda na prática do bonsai) promoveu redução da espessura foliar com a diminuição da superfície foliar. No primeiro caso, a folha de bonsai apresentou relação de 1/32 de superfície foliar em relação à folha normal com uma diminuição da espessura em 14%. No segundo caso, a relação foi de 1/44 com diminuição da

espessura em 12%. Esse exemplo mostra que a plasticidade das folhas varia de acordo com o tipo de fator ambiental ao qual a planta é submetida.

Raven *et al.* (2001) afirma que os fatores ambientais, especialmente a luz, podem ter efeitos substanciais no desenvolvimento do tamanho e espessura das folhas. Esses autores afirmam ainda que, em muitas espécies, as folhas que crescem sob altas intensidades luminosas – as chamadas folhas de sol - são menores e mais espessas que as folhas de sombras.

Franco *et al.* (2005) citam que a área foliar específica é uma característica ecofisiológica importante, pois integra vários aspectos relacionados à estrutura e fisiologia da folha em resposta às variações do meio ambiente, como a disponibilidade de água e de nutrientes no solo. De acordo com esses autores, esse parâmetro está relacionado à alocação de biomassa por unidade de área, à longevidade foliar e ao custo de construção das folhas, e pode ser utilizado para comparar possíveis estratégias adaptativas de espécies que coexistem em uma mesma comunidade.

Lima (2005), estudando as espécies leguminosas *H. courbaril* e *L. guillemianus* (semidecíduas) e *E. contortisiliquum* e *P. dubium* (decíduas), encontrou com a diminuição da área foliar específica, folhas mais longevas, maiores concentrações de fenóis e menores concentrações de taninos, nitratos, proteínas, clorofila e nitrogênio, o que segundo a autora corroboram os dados constantes nas bibliografias. Suzuki (1998), com *Sanguisorba tenuifolia* (Fisch. ex Link) verificou que folhas com baixa área foliar específica são mais esclerificadas e apresentam menor concentração de nitrogênio.

De acordo com Claussen (1996) a diminuição da área foliar específica em ambientes menos sombreados é benéfica para a planta, pois uma menor massa foliar está exposta aos eventuais danos causados pelo sol.

2.2.6 Massa Seca Foliar

Normalmente, as plantas aumentam sua massa seca foliar sob os ambientes menos iluminados por meio da alocação de fotoassimilados que iriam para as raízes. Esse aumento é uma forma da planta favorecer a absorção de energia solar quando há pouca disponibilidade de luz.

Fonseca *et al.* (2002) estudaram mudas de *T. micrantha* a 48% de sombreamento com 90, 120 e 150 dias de emergência e não observaram efeito do tempo nas três avaliações para massa seca foliar. Campos e Uchida (2002) verificaram em *H. courbaril* menor massa seca foliar em 70% de sombreamento e maiores valores a 0%. Almeida *et al.* (2004) estudaram

mudas de *C. aschersoniana* sob sombreamentos de 0, 30, 50 e 70% e encontraram maior valor de massa seca foliar em 30 e 50%, os quais não diferiram estatisticamente entre si. O menor valor foi encontrado a pleno sol. Nos sombreamentos mais intensos 45% da massa seca total foram alocadas para as folhas. Campos e Uchida (2002) verificaram maior massa seca foliar em *O. lagopus* a 30% de sombreamento. Lima *et al.* (2008) verificaram em *C. ferrea* poucas diferenças nas frações de biomassa alocadas nas folhas entre os tratamentos pleno sol, 50 e 70% de sombreamento. Aos 120 dias após a semeadura, mudas cultivadas sob pleno sol mostraram menor acúmulo de biomassa nas folhas e maior no caule, quando comparados os tratamentos de 50 e 70% de sombreamento. Carvalho *et al.* (2006) obtiveram maior massa seca foliar em *S. coronata* a 30% de luminosidade quando comparados ao sol pleno ou a maiores sombreamentos.

Taiz & Zeiger (2004) afirmam que a luz promove o desenvolvimento de longas células paliçadas e cutículas mais grossas, enquanto o sombreamento facilita a produção de parênquima lacunoso.

De acordo com Silvestrini (2000), *H. courbaril* apresenta plasticidade fenotípica incomum, com taxas fotossintéticas maiores sob baixa radiação e taxas menores sob altas intensidades luminosas. É provável que essa espécie tenha produzido maior massa seca foliar como forma de garantir altas taxas fotossintéticas sob baixa radiação.

2.2.7 Massa Seca Caulinar

A razão de massa caulinar (RMC) é a razão entre a massa seca caulinar e a massa seca total. Campos & Uchida (2002) observaram maiores valores de massa seca caulinar em *O. lagopus* a 30% de sombreamento. Para *H. courbaril*, no mesmo estudo, os autores observaram menores valores de massa seca caulinar a 70% de sombreamento. Verificaram ainda que entre os sombreamentos de 0% e 50% não houve diferenças significativas para essa espécie.

Almeida S. *et al.* (2005), para *H. courbaril* e *A. mangium*, encontraram sob 30% de sombreamento maior investimento da massa seca total em raízes que no caule. Almeida *et al.* (2004) não observaram diferenças significativas nos valores de massa seca caulinar em *C. aschersoniana* para 0, 30, 50 e 70% de sombreamento, sendo 34% da massa seca total alocada para o caule.

Fonseca *et al.* (2002), estudando mudas de *T. micrantha* a 48% de sombreamento e com 90, 120 e 150 dias de emergência, observou decréscimo linear da massa seca caulinar em função do tempo, na avaliação realizada aos 150 dias.

2.2.8 Massa Seca da Parte Aérea

Silvestrini (2000) afirma que plantas da mesma espécie crescidas sob diferentes luminosidades ao alocarem maior quantidade de biomassa para parte aérea (folhas e caules) que para as raízes em ambientes mais sombreados, apresentam a vantagem de aumentarem a proporção fotossíntese/respiração na planta inteira contribuindo para manutenção do balanço positivo de carbono e otimização do crescimento nessas condições.

De acordo com Chapin *et al.* (1987), quando a planta apresenta comportamento que prioriza a alocação de biomassa para os órgãos aéreos em condições de baixa luminosidade há aumento na eficiência do processo fotossintético por facilitar a maior captação de luz.

Alguns pesquisadores não encontraram aumento de massa seca da parte aérea com o aumento do sombreamento. Silvestrini (2000) estudou mudas de *T. micrantha* e *H. courbaril* e encontrou, sob alta radiação, maior biomassa nas raízes que na parte aérea. Ortega *et al.* (2006) observaram maior massa seca da parte aérea para *P. cattleianum* sob sol pleno. Scalon *et al.* (2003), com *B. glabra* sob sombreamentos de 0%, 30% e 50%, encontraram maior massa seca da parte aérea sob sol pleno e menor em 50% de sombreamento. Reis *et al.* (2004) não encontraram diferenças significativas de massa seca da parte aérea em *P. peregrina*, *T. serratifolia*, *D. nigra* e *C. rufa* sob 0%, 30% e 50% de sombreamento.

Outros pesquisadores verificaram o crescimento da massa seca da parte aérea com o aumento do sombreamento. Carvalho *et al.* (2006), com *S. coronata* a 0% e 70% de sombreamento, verificaram maior massa seca da parte aérea no maior sombreamento. Mossri (1997) estudou *H. courbaril* e encontrou maior alocação de biomassa para a parte aérea que para as raízes nos tratamentos de 0 e 70% de sombreamento. Almeida L. *et al.* (2005) estudaram *J. puberula* sob sombreamentos de 0, 30, 50 e 70% e encontraram maior massa seca da parte aérea do que massa seca de raiz em todos os tratamentos.

Varela & Santos (1992) estudaram o comportamento de mudas de *Dinizia excelsa* sob sombreamentos de 20, 50 e 70% nos períodos de 30, 60 e 90 dias e verificaram não haver influência da época sobre a massa seca da parte aérea. Fonseca *et al.* (2002) estudaram mudas de *T. micrantha* sob sombreamento de 48% nos períodos de 90, 120 e 150 dias de emergência e observaram que não houve efeito do tempo nas três avaliações. Chaves & Paiva (2004) encontraram aumento de massa seca da parte aérea com o aumento do período de sombreamento para as mudas de *T. micrantha*.

2.2.9 Massa Seca Radicular

Varela & Santos (1992) estudaram o comportamento de mudas de *Dinizia excelsa* Ducke sob sombreamentos de 20, 50 e 70%, nos períodos de 30, 60 e 90 dias, não verificaram influência da época sobre a massa seca de raiz.

Para Bernardino *et al.* (2005) a massa seca das raízes é um dos melhores e mais importantes parâmetros para se avaliar a sobrevivência e estabelecimento das mudas no campo. Esses autores observaram sobrevivência consideravelmente maior em mudas de *Pseudotsuga menziesii* quanto mais abundante foi o sistema radicular, independentemente da altura da planta. De acordo com Almeida L. *et al.* (2005) maior biomassa de raiz proporciona melhor desempenho das mudas no campo, especialmente em áreas degradadas, pois a probabilidade de sobrevivência da planta será maior, em razão da maior facilidade de sustentação e maior área para absorção de água e nutrientes.

Claussen (1996) afirmaram que para uma mesma espécie, indivíduos com sistemas radiculares mais desenvolvidos têm maior capacidade de aclimação que aqueles com sistemas radiculares reduzidos. Essa afirmação foi corroborada por Campos & Uchida (2002) que afirmaram que tais plantas têm maiores chances de sobrevivência no campo.

Santos & Varela (1992) afirmaram que o aumento do sombreamento estimula diminuição na translocação dos hidratos de carbono para as raízes o que explica a menor massa de raízes normalmente encontrada nesses ambientes. Ferreira *et al.* (1977) corroboraram essa afirmação e acrescentaram que a queda de produção de matéria seca para raiz pode ser explicada também com base no ponto de compensação de luz.

Almeida L *et al.* (2005) estudaram *J. puberula* e verificaram o aumento da massa seca radicular com a diminuição da luz, o que ocorreu segundo esses pesquisadores devido ao aumento na translocação de assimilados das folhas para as raízes. Os referidos pesquisadores afirmaram que isso ocorre com a maioria das espécies sob condições de alta luminosidade por haver necessidade de maior quantidade relativa de raízes para suprir as mudas com água e nutrientes. Portela *et al.* (2001) afirma que para plantio de *C. fairchildiana* deve se respeitar o tempo de 6 meses a sol pleno ou sob sombreamento de 30%, pois nessas condições suas mudas apresentam maior vigor radicular por terem maior massa seca de raiz contribuindo também para esse vigor a maior altura. Em plantios imediatos, para mudas de *P. dubium*, Portela *et al.* (2001) indicaram todos os sombreamentos testados (0, 30, 50 e 75%) uma vez que foram obtidos altos valores de massa seca de raiz e altura da planta, indicativos de mudas

vigorosas nos diversos ambientes testados. Silvestrini (2000) encontrou em *H. courbaril* sob condições de alta luminosidade maior massa seca de raiz que massa seca da parte aérea.

2.2.10 Massa Seca Total

De acordo com Larcher (2006) o carbono que não é consumido pela respiração (o saldo do balanço de CO₂) aumenta a matéria seca da planta e pode ser aplicado para o crescimento ou reserva. Segundo o autor há clara correlação entre o saldo do balanço do CO₂ e o aumento de matéria seca da planta.

De acordo com Engel & Poggiani (1990), a produção de matéria seca total é reflexo direto da fotossíntese líquida total que permite avaliar o crescimento da planta. Para Ferreira (1977), a produção de matéria seca é o melhor índice de crescimento e pode ser útil para avaliar as condições relativas de luz requeridas pelas espécies.

Ortega *et al.* (2006) afirmam que a maximização na produção de matéria seca à sombra por meio de modificações do fenótipo, é mais evidente em espécies que colonizam ambientes com maior intensidade luminosa, enquanto plantas típicas de sombra tendem a crescer lentamente e mostrar menor reação morfogenética em respostas às condições sombreadas. Esses pesquisadores afirmam que espécies tolerantes têm baixo ponto de compensação, sendo capazes de produzirem assimilados sob baixa intensidade de luz. Para espécies intolerantes, por possuírem alto ponto de compensação, à medida que diminui a intensidade de luz há redução na produção de matéria seca, pois, sob intensidade de luz abaixo do ponto de compensação, o hidrato de carbono é mais consumido pela respiração que produzido pela fotossíntese. Paiva & Oliveira (2006) afirmaram que não obstante à capacidade fotossintética da planta, a taxa de crescimento do vegetal depende da relação entre CO₂ fixado na fotossíntese e o CO₂ liberado pelos processos de respiração. Essa relação entre o CO₂ fixado e liberado é um dos grandes responsáveis pelas diferenças de produtividade entre vegetais de grande e pequeno porte. Silvestrini (2000), comparativos entre *T. micrantha* (pioneira) e *H. courbaril* (clímax) tanto sob alta como sob baixa radiação, encontrou maior assimilação diária de carbono e maior taxa de assimilação máxima de carbono para *T. micrantha* obtendo, porém, maior biomassa total sob essas condições para *H. courbaril*. Uma explicação para isso poderia ser o fato de *H. courbaril* apresentar menor taxa de respiração.

2.2.11 Razão de Área Foliar

Benincasa (1988) afirma que a razão de área foliar representa a relação entre a área foliar e a massa seca total e indica a proporção de área foliar que está sendo usada para produção de biomassa. Segundo Paiva & Oliveira (2007) a razão de área foliar expressa a dimensão relativa do aparelho fotossintético e serve como parâmetro apropriado para as avaliações dos efeitos genotípicos, climáticos e do manejo das comunidades vegetais. De acordo com Benincasa (1988) e Aguilera *et al.* (2004) a razão de área foliar é um índice morfo-fisiológico que expressa a área foliar útil para a fotossíntese. Blackman e Wilson citado por Ferreira *et al.* (1977) observaram aumento da razão de área foliar com o sombreamento, para dez espécies. Ferreira *et al.* (1977) encontraram maior razão de área foliar para *S. parahyba* em 70% de sombreamento. Os autores afirmaram que esse resultado indica que a espécie é mais favorecida pelos ambientes com maior sombreamento. Pedroso & Varela (1995) encontraram maiores valores de razão de área foliar *C. pentandra* a 70% de sombreamento não diferindo significativamente de 50%. Encontraram melhores resultados aos 30 dias que aos 60 e 90. Claussen (1996) afirmaram que a diminuição da razão de área foliar em ambientes mais iluminados leva a diminuição da demanda transpiratória.

2.2.12 Razão de Massa Foliar

De acordo com Aguilera *et al.* (2004), a razão de massa foliar é o componente fisiológico que relaciona a massa seca das folhas à massa seca total. Larcher (2006) afirmam que a proporção de massa verde fotossinteticamente ativa em relação à massa total depende da forma de crescimento do vegetal, de suas modificações durante o desenvolvimento e da influência de fatores ambientais. De acordo do Radford (1967), a razão de massa foliar indica a partição de assimilados entre o crescimento das folhas e as demais partes da planta. Segundo Benincasa (1988) a razão de massa foliar expressa a fração de matéria seca que não é exportada das folhas para o resto da planta. Aguiar-Netto (1995) afirmaram que dados encontrados em literatura são concordantes em mostrar que a razão de massa foliar decresce, à medida que as espécies vegetais se desenvolvem, pois quando as folhas atingem a fase madura, ocorre direcionamento dos assimilados para outros órgãos vegetais.

2.2.13 Razão da Altura da Planta pelo Diâmetro do Caule

De acordo com Carneiro (1995) a altura da planta combinada ao respectivo diâmetro do coleto constitui-se num dos mais importantes parâmetros morfológicos para estimar o crescimento após o plantio definitivo no campo, pois além de exprimir o grau de equilíbrio

desenvolvido pelas mudas, conjuga dois parâmetros importantes num só índice. De acordo com Campos & Uchida (2002) a razão altura da planta/diâmetro do coleto indica a qualidade de mudas a serem levadas ao campo, uma vez que se espera equilíbrio no desenvolvimento. Esses pesquisadores afirmam que mudas com menores valores para essa razão são mais resistentes às condições ambientais adversas. Com mudas de *Pinus sylvestris*, *Picea abies* e *Larix decidua*, Lokvenc *et al.* (1977) concluíram que a razão entre altura da planta e o diâmetro do coleto é um importante parâmetro morfológico indicativo de bom desenvolvimento das mudas após o plantio. Segundo Carneiro (1995), as mudas mais altas e de maiores espessuras devem ser utilizadas no reflorestamento e apesar de plantas mais altas estarem mais sujeitas ao choque do plantio, esse efeito prejudicial é atenuado pelos maiores diâmetros. Para Silva *et al.* (2007), a razão da altura da planta pelo diâmetro é uma característica importante para o sucesso de uma muda no campo, pois quanto menor essa relação, mais resistentes são as plantas às condições do ambiente em decorrência do equilíbrio entre as partes da planta. De acordo com esses pesquisadores maiores valores da razão altura da planta pelo diâmetro implicam em plantas menos resistentes no campo às condições impostas pelos fatores ambientais. Reis *et al.* (1994) verificaram que *P. peregrina* apresentou menor relação de altura da planta pelo diâmetro indicando melhor desenvolvimento das mudas. Lima *et al.* (2008) encontraram maior razão de altura da planta/diâmetro do coleto em mudas submetidas a 70% de sombreamento, seguido de mudas sob 50% e daquelas sob sol pleno.

A razão da altura da planta/diâmetro do coleto é mais importante na determinação da qualidade das mudas do que esses parâmetros isolados. Para avaliação da qualidade das mudas não se deve usar somente um parâmetro, pois é a relação entre vários parâmetros que pode dar idéia do crescimento equilibrado das plantas. A qualidade das mudas diz muito sobre a eficiência do plantio e sobre sua viabilidade econômica. Campos & Uchida (2002) estudando *Ochroma lagopus* verificaram que para sombreamentos de 30%, 50% e 70% a razão altura da planta/diâmetro do coleto foi muito alta sem haver diferenças significativas entre esses tratamentos. Para *H. courbaril* também obtiveram maior valor da razão altura da planta/diâmetro do coleto para mudas não sombreadas. Esses pesquisadores encontraram diferenças significativas na razão altura da planta/ diâmetro do coleto (H/D) aos 63, 173 e 245 dias após a repicagem com maiores valores para 70% e 50% de sombreamento. Carneiro (1995) afirma que os valores aceitáveis para razão altura da planta/diâmetro do coleto para a espécie *Pinus taeda* varia entre 5,4 e 8,1. O autor conclui que torna-se fácil evidenciar os valores ótimos de diâmetros de colo para mudas cujas alturas não se situem na faixa entre 20

e 30 cm. Almeida L. *et al.* (2005) estudaram *J. puberula* (heliófita e seletiva higrófita) sob sombreamentos de 0, 30, 50 e 70% colhendo dados aos 60, 90 e 120 dias de experimento e encontraram maior massa seca da parte aérea em relação à massa seca de raiz em todos os tratamentos.

2.2.14 Razão Entre Massa Seca Radicular e Massa Seca da Parte Aérea

De acordo com Ferreira *et al.* (1977), mudas com maior relação massa seca de raiz/massa seca da parte aérea e maior produção de massa seca total têm maior possibilidade de subsistir às condições adversas do meio. Os pesquisadores afirmam ainda que esse índice é importante na identificação dos fatores ambientais e químicos que influenciam o crescimento dessas partes das plantas.

De acordo com Silva *et al.* (2007) a diminuição da razão massa seca de raiz/massa seca da parte aérea em ambientes mais sombreados decorre da baixa atividade metabólica das folhas o que reduziria a translocação de assimilados para as raízes. Segundo esses autores o baixo investimento em raízes e o aumento de área foliar também pode ser uma forma de a planta compensar a baixa luminosidade.

Fairban & Neustein (1970) com seis espécies de coníferas encontraram menor razão massa seca de raiz/massa seca da parte aérea em 50% de sombreamento e máxima razão sob sol pleno.

Fairban & Neustein (1970) e Walters & Kozak (1965) revelam que mudas com maior razão massa seca de raiz/massa seca da parte aérea e maior massa seca total têm maiores possibilidades de sobreviverem no campo.

Gordon (1969) estudando *B. alleghaniensis* verificou aumento da razão massa seca de raiz/massa seca da parte aérea com a diminuição do sombreamento.

Ferreira *et al.* (1977) com *P. dubium*, em 0, 25, 50 e 70% de sombreamento observaram maior razão massa seca de raiz/massa seca da parte aérea a 0% e menor a 70% de sombreamento. Nesse trabalho os autores não encontram diferenças significativas para a razão massa seca de raiz/massa seca da parte aérea em *H. stigonocarpa* e encontraram diferenças altamente significativas com o aumento do sombreamento para *E. contortisiliquum* devido a redução acentuada na produção da massa seca de raiz. Os autores não verificaram diferenças significativas na razão massa seca de raiz/massa seca da parte aérea para *S. parahyba*.

Almeida *et al.* (2004) não observaram diferenças nos valores de massa seca de raiz/massa seca da parte aérea para *C. aschersoniana* em 0, 30, 50 e 70% de sombreamento. Carvalho *et al.* (2006) em estudo com 0 e 70% de sombreamento verificaram em *S. coronata*

que houve redução nos valores de massa seca de raiz/massa seca da parte aérea em maior sombreamento. Reis *et al.* (2004) não encontraram diferenças significativas para a massa seca de raiz/massa seca da parte aérea em *P. peregrina*, *T. serratifolia*, *D. nigra* e *C. rufa* em 0%, 30% e 50% de sombreamento. Pedroso & Varela (1995) não verificaram diferenças significativas entre os pesos de matéria seca da parte aérea nas mudas de sumaúma produzidas sob 0%, 30%, 50% e 70% de sombreamento.

Lima *et al.* (2008) em estudo com *C. ferrea* encontraram maior razão massa seca de raiz/massa seca da parte aérea ao pleno sol sendo que esse valor foi mais baixo a 50 e 70% de sombreamento. Esses resultados, juntamente com valores mais baixos de massa seca de raiz refletem menor acúmulo de biomassa na raiz de mudas sob sombreamento em relação a plantas mantidas a sol pleno. Um desequilíbrio nesta razão pode ser prejudicial em termos de adaptação após o plantio no local definitivo, uma vez que mudas com sistema radicular bem desenvolvido têm maiores chances de sobrevivência no campo, especialmente, sob limitação de água. Segundo esses autores esse fenômeno reflete aumento no potencial de captura de luz da espécie o que demonstra maior plasticidade ao sombreamento.

Moraes-Neto *et al.* (2001) com as espécies pioneiras *C. urucurana* e *G. ulmifolia*, com as secundárias iniciais *P. dubium* e *L. muehlbergians* e com as de clímax *T. impetiginosa* e *Guazuma americana* todas submetidas ao sol pleno, ao sombreamento natural (5-14% da RFA sob sombra de *M. calabura*) e a 40% de luminosidade, observaram maiores valores de massa seca de raiz/massa seca da parte aérea a pleno sol.

De acordo com Campos & Uchida (2002) a razão massa seca radicular/massa seca da parte aérea é indicativo de qualidade de mudas, pois pode dar noção do equilíbrio entre o desenvolvimento do sistema radicular e o desenvolvimento da parte aérea. De acordo Claussen (1996), a razão massa seca de raiz/massa seca da parte aérea mais elevada em plantas de ambientes mais iluminados indicam que há maior distribuição de biomassa para as raízes do que para os órgãos fotossintetizantes. Esse abastecimento promove maior absorção de água e nutrientes, o que garante à planta maior capacidade de suportar as taxas mais elevadas de transpiração em ambientes mais iluminados.

2.2.15 Índice de Qualidade de Dickson

Fonseca *et al.* (2002) afirmam que o índice de qualidade de Dickson é um bom indicador da qualidade das mudas, pois em seus cálculos são considerados a robustez e o equilíbrio na distribuição da biomassa de mudas e, dessa forma, pondera os resultados de vários parâmetros importantes empregados para avaliação da qualidade.

Chaves & Paiva (2004) estudaram mudas de *S. macranthera* e verificaram crescimento linear do índice de qualidade de Dickson com o aumento do período de sombreamento. Nesse trabalho em todas as avaliações o índice de qualidade de Dickson foi superior a 0,20, que segundo os autores deve ser o valor mínimo para garantir qualidade às mudas cultivadas em recipientes de 50 ou 60 cm³. Todavia os autores concluíram que as mudas não estavam boas para o plantio, pois não apresentaram altura ideal, entre 15 e 30 cm.

Em estudo com *T. micrantha*, Fonseca *et al.* (2002) observaram que as mudas com maiores índices de qualidade de Dickson apresentaram maiores valores de diâmetro do coleto, massa seca da parte aérea, do sistema radicular e total, e menores valores da relação parte aérea/sistema radicular e da relação altura da planta/diâmetro do coleto e concluíram que esse índice foi um bom indicativo de qualidade das mudas.

Melo *et al.* (2008) com *E. contortisiliquum* sob sombreamentos de 0, 20, 40, 60 e 80% e encontraram diminuição do índice de qualidade de Dickson com aumento do sombreamento. Esses autores encontraram os valores de 1,18 para plantas a pleno sol e valores de 0,39 para plantas a 80% de sombreamento. Consideraram que as mudas apresentaram qualidade necessária para serem plantadas no campo, pois apresentaram valores superiores a 0,20.

Fonseca *et al.* (2002) estudaram *T. micrantha* e encontraram comportamento linear decrescente para o índice de qualidade de Dickson em função do aumento do período sob sombreamento, para avaliação aos 90 e 120 dias, e quadrático (ponto mínimo aos 138 dias), para avaliação aos 150 dias após a emergência. De acordo com esses autores as mudas com maiores índices de qualidade de Dickson apresentaram maiores valores de diâmetro do coleto, massa seca da parte aérea, do sistema radicular e total, e menores valores da relação parte aérea/sistema radicular e da relação altura da planta/diâmetro do coleto.

2. 2.16 Taxa de Crescimento Absoluto

Aguilera *et al.* (2002) afirmam que a taxa de crescimento absoluto dá a idéia da velocidade média de crescimento das plantas ao longo do período de observação. Larcher (2006) afirmam que a taxa de crescimento absoluto aumenta quando há maior ganho de CO₂ e, portanto, está correlacionada com a capacidade fotossintética.

Lima *et al.* (2008) estudaram *Caesalpinia ferrea* e verificaram que a taxa média de crescimento absoluto, foi mais alta nas mudas submetidas a pleno sol, seguidas das mudas mantidas a 70 e 50% de sombreamento, o que indicou maior velocidade de crescimento e maior ganho de CO₂ das mudas dessa espécie sob sol pleno.

2.2.17 Taxa de Crescimento Relativo

Indica a quantidade de matéria orgânica seca total produzida por quantidade de matéria já existente por unidade de tempo.

Scalon *et al.* (2003), estudaram *B. glabra* sob sombreamentos de 0%, 30% e 50% e observaram não haver diferenças de taxa de crescimento relativo para as diferentes intensidades de luz. Muroya *et al.* (1997) observaram que para *Calophyllum angulare* a taxa de crescimento relativo não sofreu influência dos níveis de sombreamentos de 0, 30, 50 e 70%. Lima *et al.* (2008) estudaram *C. ferrea* e verificaram que a taxa média de crescimento relativo foi maior nas mudas sob sol pleno, seguida das mudas submetidas aos sombreamentos de 70 e 50%.

Para Larcher (2006) tanto a taxa de crescimento relativo como a taxa assimilatória líquida são taxas de produção de matéria seca de uma planta, a primeira considerando-se a massa vegetal inicial e a última considerando-se a área foliar total.

Benincasa (1988) afirma que a taxa de crescimento relativo (TCR) é um índice que reflete o aumento da matéria seca em gramas, de uma planta ou de qualquer órgão, num dado intervalo de tempo, em função do tamanho inicial, ou seja, de material pré-existente. Para Aguilera *et al.* (2004) a taxa de crescimento relativo é o aumento em gramas de massa seca por unidade de material presente num período de observação.

De acordo com Poorter & Garnier (1999) a taxa de crescimento relativo (TCR) expõe o aumento em massa de matéria seca por massa de matéria seca já existente, num dado intervalo de tempo ($\text{g.g}^{-1}\text{tempo}^{-1}$) e como pode ser conseguida pelo produto da taxa assimilatória líquida (TAL) pela razão de área foliar (RAF), torna-se um importante índice do crescimento vegetal, pois combina um fator fisiológico (TAL) com outro morfológico (RAF).

2.2.18 Parâmetros morfológicos

As características morfológicas são consideradas as mais importantes e baratas na avaliação da qualidade de mudas, especialmente em programas de reflorestamento. Esses parâmetros são facilmente mensuráveis e muito dizem sobre a funcionalidade e saúde das mudas.

De acordo com Ferreira *et al.* (1977) uma boa avaliação de qualidade das mudas pode ser feita por meio da análise de características morfológicas como altura da planta, diâmetro do coleto, peso seco e razão raiz/parte aérea entre outras.

Walters e Kozak (1965) afirmam que para avaliação da qualidade das mudas é importante se considerar a análise de características morfológicas como a altura da planta, a massa seca total, a razão massa seca de raiz/massa seca da parte aérea, o diâmetro do coleto entre outras.

Para Fonseca *et al.* (2002) a obtenção de mudas de qualidade antes do plantio definitivo é importante para o silvicultor e isto pode ser alcançado de forma rápida e fácil por meio da observação dos parâmetros morfológicos. Gomes *et al.* (2002) afirmam que apesar do êxito das plantações florestais depender em grande parte das mudas utilizadas, a escolha dos parâmetros que avaliam a sua qualidade ainda não está definida e, quase sempre, a sua mensuração não é operacional na maioria dos viveiros.

Larcher (2006) afirma que plantas jovens e outras plantam em estágio de desenvolvimento anterior à fase reprodutiva crescem rapidamente tanto em extensão como em diâmetro e conforme aumentam de tamanho, gradualmente assumem sua forma típica e alcançam o equilíbrio na razão parte aérea / parte subterrânea.

2.2.19 Parâmetros fisiológicos

Carneiro (1995) afirma ser os parâmetros fisiológicos são os mais complicados para mensurar de forma que para os produtores de mudas a qualidade morfológica torna-se mais intuitiva, fácil e prática. Embora a avaliação das características fisiológicas, de maneira geral não seja a mais prática na determinação da qualidade das mudas e nem a mais usual entre os viveiristas, seu estudo é importante para se analisar as características adaptativas da espécie às condições ambientais diversificadas.

Almeida S. *et al.* (2005) sugerem que estudos de mudas sob diferentes sombreamentos mostram a plasticidade fisiológica de algumas espécies e que tais estudos permitiram a elaboração de sugestões para recolonização de áreas degradadas.

Kitajima (1994) verificou altas taxas de assimilação de carbono no ponto de saturação em espécies climáticas crescidas em ambientes mais iluminados o que é um indicativo que espécies pertencentes a esse grupo sucessional podem apresentar elevada flexibilidade fisiológica.

A plasticidade fisiológica não é facilmente perceptível, demanda mais tempo e custos para ser avaliada, mas está fortemente relacionada à adaptação das plantas às mudanças de condições ambientais e influencia ao mesmo tempo em que é influenciada pela plasticidade morfológica.

Apesar de os parâmetros fisiológicos não serem tão práticos para determinação da qualidade das mudas como os parâmetros morfológicos, são importantes para avaliar o comportamento das mudas em relação à variabilidade das condições ambientais e na determinação do potencial de aclimatação das mudas.

2.3 ANÁLISE DE CRESCIMENTO

Larcher (2006) afirma que a taxa de produção de uma planta pode ser expressa pela taxa de crescimento relativo (TCR) ou pela taxa de incremento da massa seca por unidade de superfície foliar, conhecida como taxa de assimilação líquida (TAL), que segundo esse autor são termos e designações que têm origem na análise de crescimento. De acordo com Paiva & Oliveira (2006) o crescimento de uma planta pode ser determinado, em alguns casos, somente pela medição da altura da planta, mas às vezes são necessárias mais informações como o tamanho e massa seca de raízes, caules, folhas e frutos. Scalon *et al.* (2003) afirmam que as análises do crescimento de mudas são utilizadas para predizer o grau de tolerância das diferentes espécies ao sombreamento.

De acordo com Larcher (2006) o incremento de biomassa não se deve somente ao ganho de CO₂, mas também ao controle hormonal da partição dos assimilados e ao padrão específico de crescimento da planta, que segundo o autor são processos influenciados por fatores ambientais na mesma direção que as trocas gasosas, mas em intensidades diferentes. Como exemplo o autor cita que o crescimento da folha é reduzido mais cedo e mais intensamente que as trocas de CO₂ quando há deficiência hídrica e, principalmente, mineral.

Diversas taxas como a TCR e TCA são indicativas na análise de crescimento das plantas e podem mostrar como se dá esse crescimento em função das variáveis ambientais. Benincasa (1988) afirma que, apesar da complexidade que envolve o crescimento dos vegetais, a análise quantitativa de crescimento ainda é o meio mais acessível e bastante preciso para avaliar o crescimento e inferir a contribuição de diferentes processos fisiológicos sobre o comportamento vegetal.

Magalhães (1979) afirma que a análise quantitativa do crescimento fornece informações sobre as características morfo-fisiológicas das plantas ao longo do tempo e sobre aspectos da produtividade vegetal em função da fotossíntese. Benincasa (1988) afirma que por meio da análise de crescimento é possível se conhecer a dinâmica de produção de biomassa das plantas, sua distribuição entre os órgãos e eficiência ao longo da ontogenia. Larcher (2006) afirma que é durante a fase vegetativa de crescimento que se manifestam as

características da plasticidade fenotípica e, sobretudo, as adaptações modificativas em relação às condições do habitat.

Benincasa (1988) afirma ser a análise de crescimento a maneira mais simples e precisa para se deduzir como ocorre a contribuição dos diferentes processos fisiológicos para o crescimento vegetal, servindo para o estudo de plantas geneticamente distintas ou sob condições ambientais diferentes e facilitando o entendimento da cinética de produção de biomassa e a ontogenia das plantas.

Lima *et al.* (2008) afirmam que em conjunto a taxa de crescimento absoluto, a taxa de crescimento relativo e a taxa assimilatória líquida indicam que quanto maior a luminosidade, maior a velocidade de crescimento, a taxa de acúmulo de massa seca e a fotossíntese líquida das mudas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAL VEGETAL E CONDIÇÕES DE CRESCIMENTO

O estudo foi realizado no período de setembro de 2007 a setembro de 2008, no Setor de Ecofisiologia da Embrapa Amazônia Oriental, em Belém, PA (01° 24' 31,6637" S, 48° 27' 45,1786" W).

De acordo com o Programa de Geologia e Geofísica Marinha do Ministério do Meio Ambiente, a região de Belém é caracterizada por clima do tipo AWA'A, ou seja, clima úmido megatérmico com deficiência de água moderada nos períodos de julho a dezembro, temperatura anual entre 18°C (mínima) e 33°C (máxima) e média de 27°C e valores mais elevados, cerca de 42° C, nos meses de agosto a outubro.

A pluviosidade local é elevada, com média anual em torno de 2500 mm. Observam-se a existência de duas épocas com características distintas, uma época chuvosa (dezembro a junho) e outra seca (julho a dezembro).

A identificação de *H. courbaril* foi realizada pelos técnicos especializados no Herbário da Embrapa da Amazônia Oriental em Belém-PA, sob coordenação da Dra. Regina Célia Viana.

As sementes foram coletadas no dia 09/09/2007, de quatro árvores, distantes aproximadamente 2 km entre si, na zona rural do município de Imperatriz, MA.

Os frutos foram quebrados com martelo e a polpa foi removida manualmente por meio de atrito com mistura de água e areia. Foram descartadas as sementes danificadas por insetos, aquelas menos densas, de tamanho reduzido, putrefatas e que apresentaram danos mecânicos. As sementes foram agrupadas em tamanhos e pesos semelhantes para se evitar ao máximo a heterogeneidade de tamanho das mudas.

Para acelerar a germinação, as sementes foram escarificadas com esmeril, na região próxima ao hilo, para a quebra de dormência tegumentar. Foram plantadas 240 sementes manualmente no dia 16/10/2007, em bandejas plásticas com dimensões de 40 x 20 x 4 cm e preenchidas com mistura de areia lavada e serragem curtida na proporção de 1:1, até 1 cm abaixo da borda. Cerca de 180 sementes germinaram 10 dias após a semeadura.

No dia 26/10/2007 foram repicadas as 120 mudas mais vigorosas e de melhor aparência para sacos de polipropileno de cor preta com 32 cm de altura e 12 cm de diâmetro contendo terra preta típica de floresta, coletada na área da Embrapa da Amazônia Oriental em Belém-PA. A análise do solo foi feita pelo Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental (Apêndice I).

As mudas foram colocadas em viveiro, sobre mesa de madeira a cerca de 80 cm do solo, coberto com telas de nylon de cor preta, a aproximadamente 3m de altura sob 73% de sombreamento. As mudas permaneceram nesse ambiente até o dia 16/11/2007, quando foram transportadas para as condições de 0%, 23%, 67% e 73% de sombreamento em viveiro, também com as laterais cobertas com telas, sobre cavaletes de madeira com aproximadamente 80 cm de altura e espaçadas entre si o suficiente para evitar a sobreposição de folhas entre as plantas.

As mudas foram irrigadas diariamente até que a água atingisse a saturação da superfície do substrato. As plantas invasoras foram retiradas sempre que necessário. Não houve presença de parasitas nas folhas, caules ou raízes.

Os sacos contendo as mudas foram rearranjados periodicamente nas mesas mantendo-se o mesmo espaçamento entre as mudas. O tamanho dos sacos foi suficiente para os crescimentos livres das raízes, que não apresentaram embolamento ou qualquer restrição no seu crescimento.

3.2 VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO

A coleta de dados foi realizada aos 50 (época 1), 110 (época 2), 170 (época 3) e 230 (época 4) dias após a diferenciação dos tratamentos, no Laboratório de Fisiologia Vegetal da EMBRAPA Amazônia Oriental, Belém-PA.

A escolha das plantas foi realizada aleatoriamente em cada um dos sombreamentos. O método de coleta foi destrutivo, sendo retiradas em cada coleta sete mudas (repetições).

Para retirada das mudas, os sacos plásticos foram cortados lateralmente e foi feito o destorroamento cuidadoso do substrato para se evitar perda de raízes. Posteriormente, as raízes foram lavadas e peneiradas para retirada completa da terra e logo em seguida foi contado o número de folhas (N) e medidos o diâmetro do coleto (D) com paquímetro e a altura da planta (H) com régua milimetrada.

As mudas foram seccionadas em raiz (na protuberância que se desenvolve no coleto) caule e folhas e retirada um fragmento de área de 9 cm² de três folhas em idades diferentes por planta, evitando-se a nervura central e a borda foliar, para obtenção da área foliar específica. Essas partes foram colocadas em sacos separados e levadas à estufa com circulação forçada de ar a 70 °C onde permaneceram por 72 horas para obtenção da massa seca. Após esse período foram obtidos massa seca de folhas (MSF), massa seca do caule (MSC), Massa seca da parte aérea (MSPA), Massa seca de raiz (MSR) e a Massa seca total

(MST) em balança de precisão (mod. AY 120, Shimadzu, Tóquio, Japão) com sensibilidade de 0,1 mg para quantificação de biomassa.

A partir dos primeiros parâmetros coletados foram obtidos Razão de área foliar (RAF), Área foliar (AF), Razão de massa foliar (RMF), Razão de massa caulinar (RMC), Razão de massa radicular (RMR), Índice de qualidade de Dickson (IQD), Taxa de crescimento relativo (TCR), Taxa de crescimento absoluto (TCA), Razão entre altura e diâmetro (H/D) e a Razão entre massa seca de raiz pela massa seca da parte aérea (MSR/MSPA).

A Área foliar específica (AFE) foi obtida pesando-se fragmentos de folha de 9 cm² retirados do limbo foliar e dividindo-se o valor da massa desse fragmento pela área para, dessa forma, encontrar os valores em cm²/g.

Conhecendo-se a massa contida na área de 9 cm² dos diversos fragmentos foi obtida a AF utilizando-se a seguinte fórmula: $AF = AFF \times MSF / MFF$ em que:

AFF = Média das áreas foliares específica dos fragmentos.

MSF = Massa Seca Foliar.

MFF = Média das massas secas foliares dos fragmentos.

Os parâmetros utilizados para determinação da qualidade das mudas foram H, D, MSR, MST, H/D, MSR/MSPA e IQD.

Para avaliação do crescimento foram utilizados TCA, TCR e MST.

Para partição dos assimilados utilizou-se a RAF, RMF, MSF, MSC, MSR, MSPA, MST. As características ecofisiológicas utilizadas foram H, D, N, MSR, MST, MSC, MSPA, AF e AFE.

No presente trabalho o IQD foi calculado pela fórmula $IQD = MST / ((H/D) + (MSPA/MSR))$.

De acordo com Aguilera *et al.* (2004) e Larcher (2006) a taxa de crescimento absoluto foi calculada pela fórmula $TCA = (mst2 - mst1) / (t2-t1)$. Em que, mst2 e mst1 são as massas secas de duas amostragens sucessivas e t1 e t2 são os dias decorridos entre duas observações, sendo a unidade g por dia.

De acordo com Larcher (2006) a taxa de crescimento relativo expressa o aumento da matéria seca por unidade de tempo em relação ao peso inicial da planta e pode ser expressa pela fórmula: $TCR = dm/dt p$ (g /g.dia)

Onde

dm = aumento de massa seca total

dt = diferença de tempo

p = massa inicial da planta

3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Foi utilizado o delineamento experimental em inteiramente casualizados em esquema de arranjo fatorial 4x4 (quatro épocas de coletas por quatro níveis de sombreamentos), com sete repetições para cada combinação de época e sombreamento, em que, cada repetição foi constituída por uma muda de planta.

Para comparação entre níveis de sombreamento foi utilizado o teste de Tukey (níveis quantitativos) e, para estudo da influência da época, foi adotada análise de regressão linear (níveis quantitativos). Em todas as análises foi adotado como significância o valor de 5% ($\alpha=0,05$).

Para o procedimento de análise estatística foi utilizado o aplicativo SAS - System Analysis Statistical

4 RESULTADOS

4.1 ALTURA DA PARTE AÉREA E DIÂMETRO DO COLETO

Houve efeito significativo ($P < 0,05$) para a interação entre sombreamento e época sobre as variáveis aleatórias de altura da parte aérea e para o diâmetro do coleto. Considerando-se a variação do período de experimento dentro da mesma intensidade de sombreamento, verifica-se na Tabela 1 que sob sol pleno não houve diferença significativa de altura da planta em nenhuma das épocas. Sob 27% de sombreamento não ocorreram diferenças significativas de altura aos 50, 110 e 170 dias. A altura das mudas aos 230 dias foi superior àquelas equivalentes ao período 50 dias, mas não diferiu significativamente de 110 e 170 dias. Sob 67% de sombreamento as mudas apresentaram relação de significância semelhante à do sombreamento de 27%. Sob 73% de sombreamento o período de 50 dias foi significativamente inferior a todos os outros, os quais não diferiram estatisticamente entre si.

Considerando-se a variação do sombreamento dentro de cada época de coleta, verifica-se que aos 50 dias não houve diferença significativa de altura das mudas entre os sombreamentos (Tabela 1). No período de 110 dias não houve diferença de altura entre as mudas sob sol pleno e as submetidas aos sombreamentos de 27 e 67%. As mudas sob sombreamento de 73% apresentaram maior altura do que as sob sol pleno, mas sem diferir estatisticamente das mudas sob sombreamentos de 27 e 67%. Os períodos de 170 dias e de 230 dias apresentaram relação de significância semelhante à encontrada para o período de 110 dias. Houve maior altura das mudas com o aumento do sombreamento.

Sob os sombreamentos de 67% e 73% ocorreram as maiores alturas. Sob 27 e 0% de sombreamento ocorreram as menores alturas. Sob os sombreamentos de 0, 27 e 67% as funções foram polinomiais. Sob o sombreamento de 73% ocorreu função logarítmica. Para a altura da planta todas as equações foram ascendentes. Nos sombreamentos de 67 e 73% houve maior tendência à estabilização, embora sob esses níveis de sombreamentos as mudas tenham atingido os maiores valores ao final do experimento (Figura 1 A).

Na Tabela 1 observa-se o desdobramento da interação entre os níveis de sombreamentos e épocas de avaliações para o diâmetro do coleto. Considerando-se a variação do sombreamento dentro de um mesmo período de experimento, observa-se que somente houve diferença significativa para o diâmetro entre os níveis de zero e 73% de sombreamento no período de 170 dias, sem haver diferenças significativas desses dois níveis de sombreamentos para os sombreamentos de 27 e 67%. Para os demais períodos não ocorreram diferenças significativas de diâmetro do coleto em função dos sombreamentos. Considerando-

se a variação da época dentro de um mesmo nível de sombreamento verifica-se que para 0% de sombreamento o diâmetro de coleto foi estatisticamente igual nos períodos de 110 e 170 dias, cujas médias foram significativamente superiores aos 50 dias e inferiores aos 230 dias. Para os níveis de 27% e 67% de sombreamento, verificaram-se diferenças estatísticas para diâmetro somente entre as épocas de coleta referentes aos 50 (menor diâmetro) e 230 dias (maior diâmetro). O diâmetro avaliado aos 73% de sombreamento revelou que aos 50 dias de coleta o diâmetro foi menor em relação às outras épocas, as quais não diferiram estatisticamente entre si.

As variações de diâmetro do caule em função das épocas de avaliação obedeceram às equações polinomiais para todos os tratamentos (Figura 1B). As linhas de tendências equivalentes aos sombreamentos de 0 e 27% foram paralelas e próximas entre si, apresentando-se continuamente ascendentes durante e ao final do experimento apresentaram os maiores valores. Sob os sombreamentos de 67% e 73% as linhas também foram paralelas, com ascendência até aproximadamente os 150 dias, a partir do qual essas linhas foram ligeiramente descendentes até o final do experimento.

Tabela 1. Médias, desvios-padrão e comparação entre médias para altura da planta e diâmetro do coleto em *Hymenaea courbaril* em relação à interação entre sombreamento e épocas de avaliação.

Variável	Intensidade de sombreamento	Tempo (dias)			
		50	110	170	230
Altura da planta (cm)	0%	35,73 (\pm 2,43) a A	33,31 (\pm 5,27) a A	41,11 (\pm 8,33) a A	44,91 (\pm 5,08) a A
	27%	39,1 (\pm 4,25) a A	41,3 (\pm 4,75) ab AB	47,18 (\pm 6,12) ab AB	51,41 (\pm 3,92) b AB
	67%	38,64 (\pm 4,77) a A	46,16 (\pm 6,48) ab AB	55,56 (\pm 7,25) ab AB	57,69 (\pm 4,70) b AB
	73%	38,81 (\pm 2,09) a A	51,18 (\pm 8,74) b B	55,8 (\pm 7,91) b B	60,23 (\pm 2,47) b B
Diâmetro do coleto (cm)	0%	6,30 (\pm 0,75) a A	7,99 (\pm 0,91) b A	7,63 (\pm 0,41) b A	10,12 (\pm 1,36) c A
	27%	6,91 (\pm 0,73) a A	7,74 (\pm 0,8) ab A	8,34 (\pm 0,64) ab AB	9,73 (\pm 0,94) b A
	67%	6,37 (\pm 0,61) a A	7,73 (\pm 0,83) ab A	8,78 (\pm 1,40) ab AB	8,96 (\pm 1,04) b A
	73%	5,98 (\pm 0,86) a A	8,29 (\pm 0,93) b A	9,40 (\pm 0,83) b B	8,75 (\pm 0,90) b A

Os dados referem-se às médias de sete repetições (desvio padrão). Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas ou de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P 0,05).

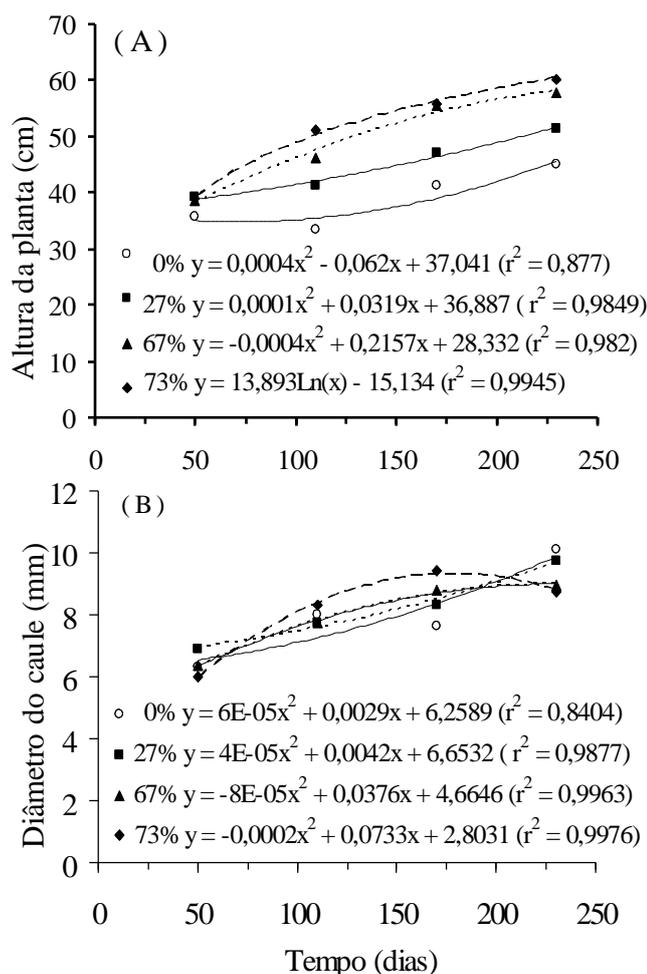


Figura 1. Variações na altura da planta (A) e no diâmetro do caule (B) de plantas de *Hymenaea courbaril* em quatro épocas de avaliação e quatro níveis de sombreamento (0, 27, 67 e 73%). Os dados referem-se às médias de sete repetições.

4.2 NÚMERO DE FOLHAS, ÁREA FOLIAR TOTAL E ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA

As variáveis número de folhas, área foliar total e área foliar específica foram influenciadas pelo efeito do sombreamento e, também, pelo efeito de época de coleta.

Verifica-se (Tabela 2) que o número médio de folhas aumentou com o aumento da intensidade de sombreamento e que de um nível de sombreamento para o seu imediato não ocorreram diferenças significativas. O número de folhas sob sombreamento de 73% foi superior ao de 0 e 27%. Sob sombreamento de 67% o número de folhas foi significativamente superior somente ao 0%. Pode-se verificar na Figura 2A que houve aumento contínuo do número de folhas ao longo do tempo.

Menores valores de área foliar foram observados sob os sombreamentos (Tabela 2) os quais não diferiram estatisticamente entre si e foram significativamente inferiores àqueles registrados sob 67% de sombreamento. Sob 73% de sombreamento as mudas apresentaram

área foliar superior a todos os demais sombreamentos. Na Figura 2B verifica-se que houve aumento da área foliar em função da época.

As diferenças de área foliar específica ocorreram apenas em função dos sombreamentos, não havendo variação significativa da mesma ao longo do tempo. Pode-se verificar na Tabela 2 que a área foliar específica aumentou com o aumento do sombreamento, mas de um nível de sombreamento para o seu próximo não ocorreram diferenças significativas. Na Figura 2C verifica-se que o crescimento da área foliar específica ao longo do tempo não foi significativo.

Tabela 2. Número de folhas (NF), área foliar total (AFT) e área foliar específica (AFE) em plantas de *Hymenaea courbaril* sob quatro níveis de sombreamento.

Sombreamento (%)	NF (Unidade)	AFT (cm ²)	AFE (cm ² /g)
0	7,11 (4,51) a	440,72 (234,42) a	124,349 (23,94) a
27	8,57 (4,42) ab	526,25 (241,46) a	131,595 (20,77) ab
67	9,71 (5,02) bc	660,88 (328,16) b	146,495 (23,11) bc
73	10,75 (5,5) c	805,73 (422,61) c	163,007 (33,59) c

Os dados referem-se às médias de sete repetições (desvio padrão). Letras minúsculas diferentes representam diferenças estatísticas (Teste de Tukey, $P = 0,05$) entre médias da mesma variável comparadas sob diferentes níveis de sombreamento.

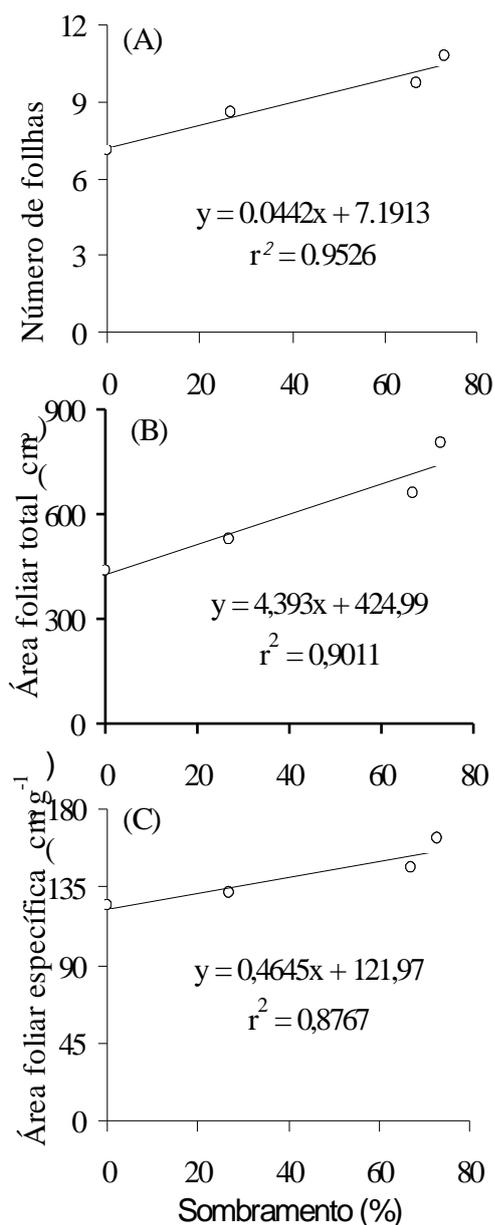


Figura 2. Variações no número de folhas (NF), área foliar total (AFT) e área foliar específica (AFE) em plantas de *Hymenaea courbaril* sob quatro níveis de sombreamento. Os dados referem-se às médias de sete repetições.

4.3 ACÚMULO DE MATÉRIA SECA

O acúmulo de matéria seca foi verificado através das avaliações de massa seca foliar, massa seca caular, massa seca da parte aérea, massa seca de raiz e massa seca total. Não houve interação entre sombreamento e época para esses parâmetros.

Conforme se verifica na Tabela 3, de uma intensidade de sombreamento para a sua imediata não ocorreram diferenças significativas e a menor massa seca foliar se deu sob sol pleno enquanto a maior sob sombreamento de 73%. Houve incremento de massa seca foliar com o aumento do sombreamento. Os sombreamentos de 27 e 67% apresentaram valores

intermediários e apesar desta diferença relativamente grande de luminosidade não diferiram significativamente entre si. Verifica-se na Figura 3A que a massa seca foliar apresentou incremento positivo linear ao longo do tempo.

Não houve diferenças significativas de massa seca caulinar para os diversos sombreamentos (Tabela 3). As diferenças de massa seca caulinar ocorreram apenas em função das épocas. Houve efeito linear crescente para massa seca caulinar apenas em função do período sob sombreamento como se pode observar na Figura 3B.

Conforme se verifica na Tabela 3, a massa seca da parte aérea cresceu com o aumento do sombreamento. Sob os maiores sombreamentos (67% e 73%) foi significativamente superior aos ambientes menos sombreados (0% e 27%). Verifica-se na Tabela 3 que houve maior biomassa na parte aérea do que nas raízes em todas as intensidades de sombreamentos. Verifica-se na Figura 3C que as mudas mantiveram crescimento positivo e linear de massa seca da parte aérea para todos os sombreamentos ao longo do tempo.

Verifica-se na Tabela 3 que o sombreamento de 27% foi superior a todos os outros não diferindo significativamente de 0%. Sob sol pleno as mudas apresentaram massa seca de raiz superior aos sombreamentos de 67 e 73% os quais não diferiram entre si. Houve efeito linear crescente para massa seca de raiz em função do período sob sombreamento como se pode observar na Figura 3 D.

Não ocorreram diferenças significativas de massa seca total em função dos sombreamentos conforme se pode verificar na Tabela 3. Verifica-se Figura 3E que a massa seca total apresentou crescimento contínuo e positivo ao longo do tempo.

Tabela 3. Massa seca foliar (MSF), massa seca caulinar (MSC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR) e massa seca total (MST) em plantas de *Hymenaea courbaril* sob quatro níveis de sombreamento.

Sombreamento (%)	MSF (g)	MSC (g)	MSPA (g)	MSR (g)	MST (g)
0	3,55 (1,73) a	4,56 (1,76) a	8,11 (3,02) a	4,03 (1,76) ab	12,03 (4,46) a
27	4,02 (1,81) ab	4,97 (1,88) a	8,99 (3,49) a	4,54 (2,87) a	13,53 (5,98) a
67	4,57 (2,28) bc	4,67 (1,75) a	9,24 (3,72) b	3,42 (1,71) b	12,67 (5,18) a
73	5,02 (2,51) c	4,83 (2,06) a	9,85 (4,02) b	3,34 (1,67) b	13,34 (5,59) a

Os dados referem-se às médias de sete repetições (desvio padrão). Letras minúsculas diferentes representam diferenças estatísticas (Teste de Tukey, $P = 0,05$) entre médias da mesma variável comparadas sob diferentes níveis de sombreamento.

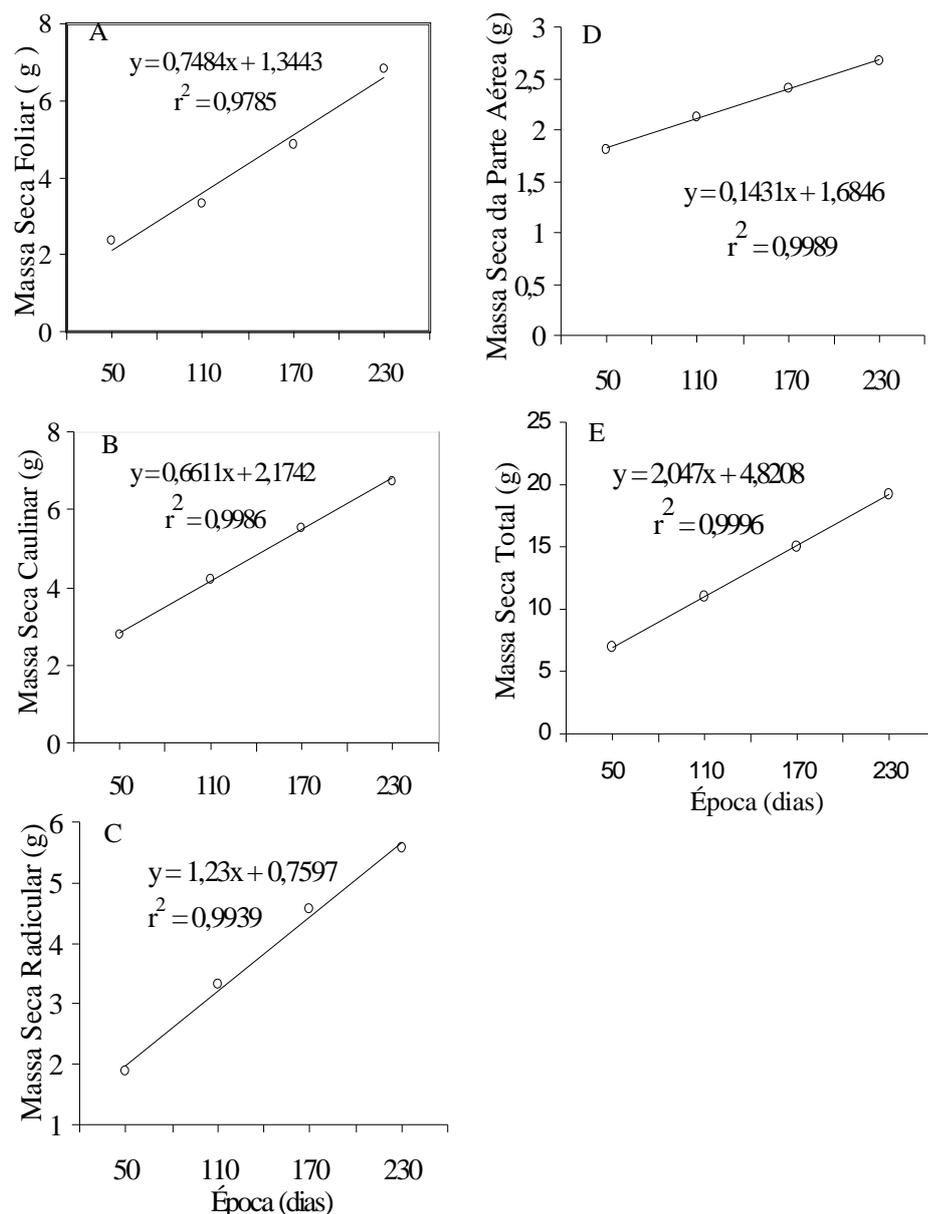


Figura 3. Variações na massa seca foliar (MSF), massa seca caulinar (MSC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR) e massa seca total (MST) em plantas de *Hymenaea courbaril* sob quatro níveis de sombreamento. Os dados referem-se às médias de sete repetições.

4.4 ANÁLISES INTEGRADAS DE CRESCIMENTO

Os parâmetros razão de massa seca caulinar (RMC), razão de massa seca da parte aérea (RMPA), razão de massa seca radicular (RMR), razão de área foliar (RAF), razão de massa foliar (RMF), razão altura da planta pelo diâmetro do coleto (H/D), razão massa seca de raiz por massa seca da parte aérea (MSR/MSPA), índice de qualidade de Dickson (IQD), taxa de crescimento absoluto (TCA) e taxa de crescimento relativo (TCR) não apresentaram efeito de interação entre níveis de sombreamento e níveis de época.

Não houve influência dos sombreamentos sobre a RMC conforme pode-se verificar na Tabela 4. Houve diminuição da RMC ao longo do tempo (Figura 4 C).

A razão de massa seca radicular (RMR) foi maior nos menores sombreamentos (Tabela 4) e não sofreu influência da época. A RMR sob os ambientes mais iluminados (0 e 27%) não diferiram significativamente entre si, o mesmo ocorrendo em relação aos ambientes mais sombreados (67 e 73%).

A razão de área foliar foi influenciada de forma independente pelo sombreamento e pelo período de avaliação. Verifica-se na Tabela 4 que houve aumento da razão de área foliar com o incremento do sombreamento. Os maiores sombreamentos (67 e 73%) foram significativamente superiores aos menores (0 e 27%) sendo que dentro de cada um destes dois grupos não ocorreram diferenças entre si. O mesmo comportamento é verificado para as variáveis razão de massa seca da parte aérea (RMPA), razão de área foliar (RAF), razão de massa foliar (RMF), razão altura da planta pelo diâmetro do coleto (H/D), razão massa seca de raiz por massa seca da parte aérea (MSR/MSPA) e índice de qualidade de Dickson (IQD).

Verifica-se na Figura 4 A que ao longo do tempo a razão de área foliar apresentou crescimento polinomial em forma de parábola, e atingiu o valor mínimo aos 137 dias e valor máximo ao final do experimento.

Conforme se verifica na Tabela 4 a razão de massa foliar também foi influenciada de forma independente pelo sombreamento e pela época. Cresceu com o aumento do sombreamento. Os ambientes menos sombreados (0 e 27%) não diferiram estatisticamente entre si e apresentaram menores valores de razão de massa seca caulinar do que os ambientes mais sombreados (67 e 73%) os quais também não diferiram estatisticamente entre si. Verifica-se na Figura 4 B a razão de massa foliar apresentou crescimento polinomial em forma de parábola. e atingiu o valor mínimo aos 132 dias. O valor máximo foi atingido ao final do experimento.

A razão da altura da planta pelo diâmetro não apresentou diferenças significativas para o período sob sombreamento (Figura 5 A). Verifica-se na Tabela 4 que houve crescimento dessa razão com o aumento do sombreamento. Os ambientes mais sombreados (67 e 73%) apresentaram valores significativamente superiores aos ambientes menos sombreados (0 e 27%).

Não ocorreram diferenças significativas da razão entre a massa seca radicular e a massa seca da parte aérea ao longo do tempo (Figura 5F). Somente as diferenças de sombreamentos promoveram alterações nessa razão. Conforme se verifica na Tabela 4 houve maior massa seca da parte aérea do que massa seca de raiz em todos os tratamentos. Os

maiores sombreamentos (67 e 73%) proporcionaram valores que não diferiram entre si e foram inferiores aos valores dos menores sombreamentos (0 e 27%) os quais também não diferiram estatisticamente entre si.

Não houve interação entre sombreamento e época para o índice de qualidade de Dickson. Conforme se verifica na Tabela 4 o índice de qualidade de Dickson foi maior nos ambientes com menor intensidade de sombreamento (0 e 27%), os quais não diferiram estatisticamente entre si, do que nos ambientes com maior sombreamento. O IQD aumentou ao longo do tempo (Figura 4 D).

Não ocorreu efeito significativo de sombreamento para a taxa de crescimento absoluto. Verifica-se na Tabela 4 que o período exerceu influência sobre essa taxa. O período 2 (entre 110 e 170 dias) foi significativamente superior aos demais. Os demais períodos não diferiram estatisticamente entre si.

Não ocorreram influências significativas do sombreamento e não ocorreram interação entre sombreamento e período para a taxa de crescimento relativo. Verifica-se na Tabela 4 que o período exerceu influência sobre essa taxa, sendo que o período 2 (entre 110 e 170 dias) foi significativamente superior aos demais. Os outros períodos não diferiram estatisticamente entre si.

Tabela 4. Razão de massa seca caulinar (RMC), razão de massa seca da parte aérea (RMPA), razão de massa seca radicular (RMR), razão de área foliar (RAF), razão de massa foliar (RMF), razão altura da planta pelo diâmetro do coleto (H/D), razão massa seca de raiz por massa seca da parte aérea (MSR/MSPA) e o índice de qualidade de Dickson (IQD) em plantas de *Hymenaea courbaril* sob quatro níveis de sombreamento.

Sombreamento (%)	RMC g.g ⁻¹	RMPA g.g ⁻¹	RMR g.g ⁻¹	RAF g.g ⁻¹
0	0,38 (0,07) a	0,68(0,07) a	0,33 (0,06) a	36,54 (9,95) b
27	0,38 (0,06) a	0,68 (0,07) a	0,32 (0,07) a	39,58 (10,69) b
67	0,38 (0,07) a	0,73 (0,06) b	0,27 (0,06) b	51,95 (15,17) a
73	0,37 (0,07) a	0,75 (0,06) b	0,25 (0,06) b	62,18 (20,54) a

Sombreamento (%)	RMF g.g ⁻¹	H/D g.g ⁻¹	MSR/MSPA g.g ⁻¹	IQD g.g ⁻¹
0	0,29 (0,06) a	49,57 (1,01) a	0,50 (0,14) a	0,290 (0,06) a
27	0,30 (0,06) a	55,26 (0,81) a	0,49 (0,17) a	0,282 (0,07) a
67	0,35 (0,07) b	62,64 (0,93) b	0,37 (0,11) b	0,225 (0,05) b
73	0,38 (0,08) b	64,53 (1,11) b	0,34 (0,1) b	0,224 (0,05) b

Os dados referem-se às médias de sete repetições (desvio padrão). Letras minúsculas diferentes representam diferenças estatísticas (Teste de Tukey, $P = 0,05$) entre médias da mesma variável comparadas sob diferentes níveis de sombreamento.

A taxa de crescimento absoluto (TCA) e a taxa de crescimento relativo (TCR) foram obtidas pelas diferenças entre os crescimentos absoluto e relativo por época i , com aqueles verificados na época $i-1$, constituindo-se três períodos dispostos como: Período 1 = crescimentos da época 50 a 110; Período 2 = crescimentos da época 110 a 170 e Período 3 = crescimento da época 170 a 230). Para todas as duas taxas de crescimento foi utilizada a transformação de dados na escala logarítmica. Não houve efeitos significativos de sombreamento e interação sombreamento com período para nenhuma das taxas, porém ambas as taxas foram influenciadas pelo período ($p < 0,05$), sendo que para ambas, o período 2 apresentou maiores valores.

Tabela 5 – Médias, desvios-padrão e discriminação entre médias das taxas de crescimento absoluto e relativo, para cada período

Período	TCA Média	LOG (TCA+10) Média
1	0,047 (0,035) a	2,31 (0,0034) a
2	0,095 (0,053) b	2,31(0,0052) b
3	0,053 (0,083) a	2,31 (0,0082) a

	TCR Média	LOG (TCR+10) Média
1	0,0028 (0,0073) a	2,30 (0,0007) a
2	0,0166 (0,0123) b	2,30 (0,0012) b
3	0,0055 (0,0114) a	2,30 (0,0011) a

Os dados referem-se às médias de sete repetições (desvio padrão). Letras Minúsculas diferentes representam diferenças estatísticas (Teste de Tukey, $P < 0,05$) entre média da mesma variável comparadas sob diferentes níveis de sombreamento.

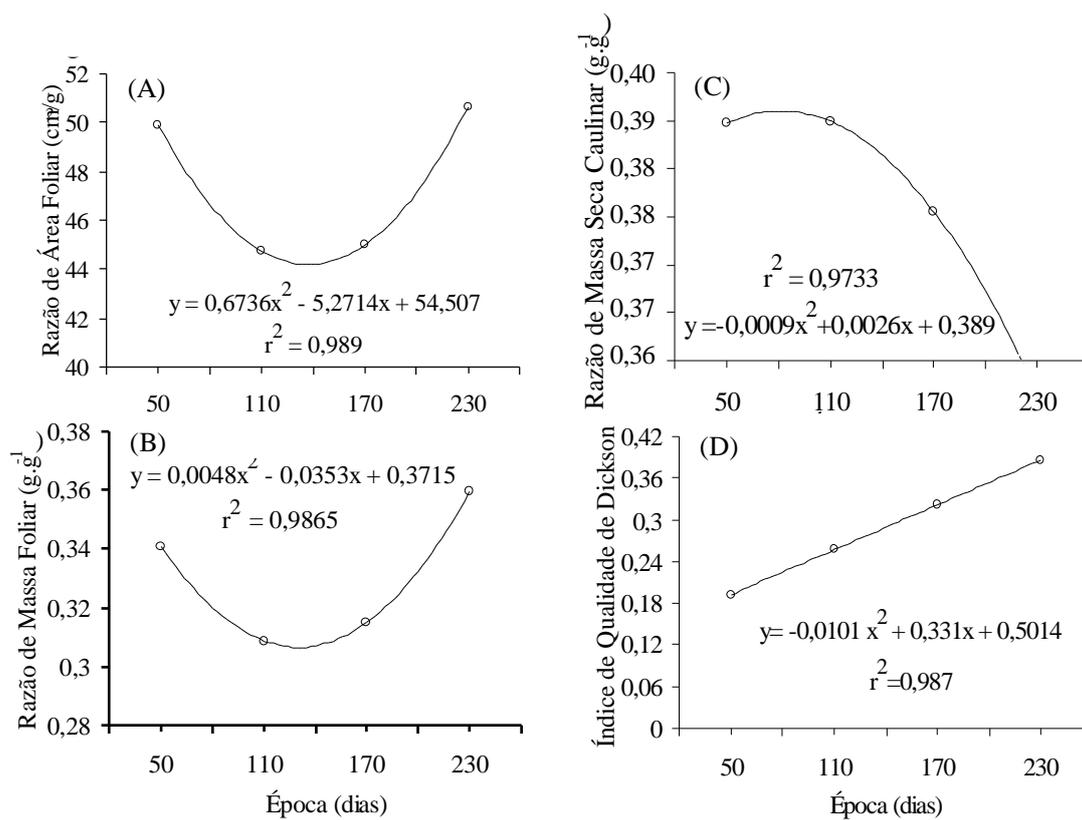


Figura 4. Variações na massa na razão de área foliar (RAF), razão de massa foliar (RMF), razão de massa seca caulinar (RMC) e índice de qualidade de Dickson (IQD) em plantas de *Hymenaea courbaril* sob quatro níveis de sombreamento. Os dados referem-se às médias de sete repetições.

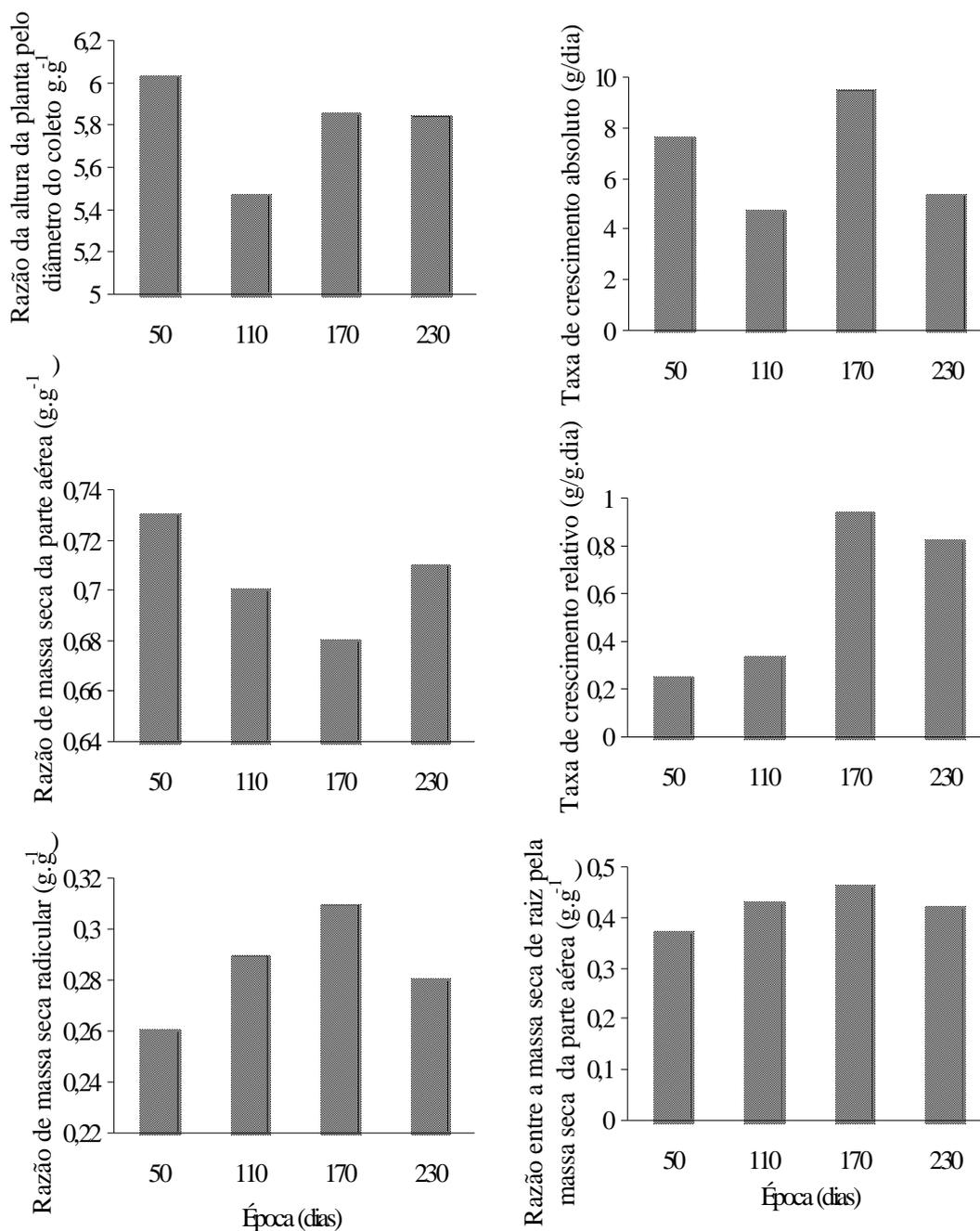


Figura 5. Variações na razão da altura da planta pelo diâmetro do coleto (H/D), razão de massa seca da parte aérea (RMPA), razão de massa seca radicular (RMR), razão de massa seca foliar (RMF), taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR) e razão entre a massa seca de raiz pela massa seca da parte aérea (MSR/MSPA) Os dados referem-se às médias de sete repetições.

5. DISCUSSÃO

5.1. ALTURA DA PLANTA E DIÂMETRO DO COLETO

A altura da planta aumentou ao longo do tempo em todos os níveis de sombreamentos (Figura 1A). Aos 50 dias as mudas não apresentaram diferenças significativas de altura em função do sombreamento provavelmente por ainda estarem em início de processo de aclimatação. Sob sol pleno as alturas das mudas foram inferiores ao longo do tempo por haver nesse ambiente uma menor competição por luz.

O alongamento caulinar (Tabela 1) pode ter ocorrido em resposta ao sombreamento como forma de evitar a baixa irradiância conforme proposto por Taiz & Zeiger (2004). Segundo Moraes-Neto (2001) a capacidade das plantas aumentarem seu crescimento em ambientes sombreados é um importante mecanismo de adaptação da espécie às condições de baixa luminosidade. De acordo com Phillips (1975) as maiores alturas das mudas sob sombreamento ocorrem em função do aumento da translocação de fotoassimilados e auxinas para o caule. Normalmente, as auxinas estão em pequenas quantidades no caule e seu aumento nesse órgão em detrimento das raízes é acompanhado por seu alongamento e pela diminuição do tamanho das raízes. A variação de altura das mudas em função da luminosidade pode ter ocorrido também pela influência da luz solar sobre a atuação das giberilinas. De acordo com Benincasa & Leite (2004) e Taiz & Zeiger (2004) sob efeito da giberelina a planta anã de uma espécie pode atingir a altura da planta mais alta da mesma espécie acompanhando esse efeito a menor espessura do caule. Os autores afirmam também que a altura das plantas está sob controle genético, mediado por giberelina e o nanismo (alteração genética para altura), resulta da presença de giberelinas inativas.

Em relação ao período sob sombreamento os resultados obtidos concordam com Varela & Santos (1992), mas discordam desses autores em relação aos níveis de sombreamento, pois os referidos pesquisadores encontraram maior altura no menor sombreamento. Esses autores atribuem a menor altura mudas sob 70% de sombreamento à menor produção de assimilados nos ambientes mais sombreados. As diferenças de altura das mudas aqui encontradas podem ter ocorrido pela influência da luz sobre a produção de massa seca foliar uma vez que o aumento desse parâmetro no sombreamento mais intenso foi acompanhado pelo maior crescimento da planta em altura.

Baseando-se em dados bibliográficos específicos sobre *H. courbaril* (CAMPOS & UCHIDA, 2002) e em dados relativos às outras espécies (CARNEIRO, 1995; GONÇALVES *et al.*, 2000; PORTELA *et al.*, 2001; CHAVES & PAIVA, 2004), verifica-se que a altura

recomendada para o plantio, neste experimento, foi atingida por volta dos 50 dias para todos os níveis de sombreamento.

Em relação à influência da época os resultados aqui encontrados discordam de Varela & Santos (1992) que estudaram *D. excelsa* sob sombreamentos de 20, 50 e 70% nos períodos de 30, 60 e 90 dias não verificaram influência do período de sombreamento; de Almeida L. *et al.* (2005) que sob sombreamento de 30%, verificaram o aumento do diâmetro em todos os períodos; e de Fonseca *et al.* (2002), que observaram decréscimo linear do diâmetro em função do tempo.

5.2 NÚMERO DE FOLHAS, ÁREA FOLIAR TOTAL E ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA

Para alguns autores (CARVALHO *et al.*, 2006; SILVA *et al.*, 2007) a diminuição no número de folhas tem relação direta com a menor altura da planta. Os resultados aqui encontrados também mostraram que o aumento no número de folhas foi acompanhado pelos aumentos de altura da planta, área foliar e área foliar específica. Conforme os autores citados é possível que a diminuição do número de folhas com a redução do sombreamento tenha afetado o crescimento em altura das plantas, por ter promovido alterações no processo fotossintético. O aumento no número de folhas foi uma forma da planta aumentar a sua área foliar e, conseqüentemente, a superfície de absorção de energia solar para produção de fotoassimilados.

As mudas de *H. courbaril* apresentaram maior área foliar nos ambientes mais sombreados, mostrando plasticidade e adaptando-se bem aos ambientes de sol pleno e aos ambientes de sombra. Essa característica permitiu ampliar a superfície de absorção de luz nos ambientes mais sombreados e diminuir os possíveis efeitos prejudiciais dos ambientes altamente iluminados.

O crescimento da área foliar específica em função do aumento do sombreamento encontrado no presente estudo concorda com os trabalhos de Carvalho *et al.* (2006), Rosa *et al.* (1998) e Lima *et al.* (2008). Segundo Rosa *et al.* (1998), que estudaram *A. roseadora*, o aumento da área foliar específica em função do sombreamento evidencia que essa espécie, na fase juvenil, encontra-se mais adaptada a ambientes sombreados... O aumento da área foliar específica com o aumento do sombreamento pode ser indicativo de plasticidade das mudas dessa espécie, pois as mesmas provavelmente sofreram ajustes na concentração foliar de nutrientes (LIMA, 2005; SUZUKI, 1998; FRANCO *et al.*, 2005), na de alocação de biomassa por unidade de área foliar (FRANCO *et al.*, 2005), em sua rusticidade (LARCHER, 2006; LIMA, 2005) e na sua maior resistência à dessecação através da variação do ponto de turgor

(BUCCI *et al.* 2004) em função dos diferentes níveis de sombreamentos. A modificação da área foliar em função da variação da luminosidade constituiu-se em plasticidade ecofisiológica que ajudou as mudas sobreviverem e apresentarem crescimento em todos os ambientes testados.

5.3 ACÚMULO DE MASSA SECA

Conforme se verifica na Figura 3A, a massa seca foliar aumentou ao longo do tempo em todos os sombreamentos o que indica que, provavelmente nenhuns dos sombreamentos exerceram efeitos considerados deletérios às plantas, o que é reforçado pelo fato de as mudas não terem apresentado nenhum tipo de injúria. As diferenças nas intensidades de sombreamento exerceram influência marcante na translocação de massa seca foliar. As pequenas diferenças de sombreamentos não provocaram diferenças significativas de massa seca foliar alocada. É provável que, sob baixa radiação, as mudas de *H. courbaril* tenham produzido maior massa seca foliar como forma de garantir altas taxas fotossintéticas.

Os resultados presentes neste trabalho discordam de Campos & Uchida (2002) que encontraram diferenças de massa seca caulinar em função dos diferentes sombreamentos testados. Para *H. courbaril* encontraram menores valores de massa seca caulinar a 70% de sombreamento sem haver diferenças entre 0% e 50%.

A massa seca foliar aumentou em função do aumento do sombreamento, assim como a altura da planta, o número de folhas, a área foliar, a área foliar específica e a massa seca foliar, evidenciando que houve priorização na alocação de biomassa para os órgãos aéreos com o aumento do sombreamento, o que segundo Chapin *et al.* (1987) favorece a eficiência do processo fotossintético, por facilitar a captação de luz.

As mudas alocaram maior quantidade de biomassa para parte aérea nos ambientes mais sombreados do que nos ambientes menos sombreados o que, de acordo com Silvestrini (2000) aumenta a proporção entre a fotossíntese e a respiração na planta inteira e contribui para manutenção de um balanço positivo de carbono e otimização do crescimento nessas condições e de acordo do Chapin *et al.* (1987) aumenta a eficiência do processo fotossintético por facilitar a captação de luz. A diminuição da massa seca de raiz com o aumento do sombreamento encontrada no presente trabalho está de acordo com os trabalhos de Campos e Uchida (2002) que encontraram maior massa seca de raiz sob sol pleno e menor a 70% de sombreamento. Almeida S. *et al.* (2005) afirmam que a menor distribuição de fotoassimilados para raízes sob baixa luminosidade provavelmente revela uma resposta a atributos que propiciam maior ganho de carbono sob irradiância reduzida, como o aumento na razão de área

foliar ou razão de massa foliar, ou que reflita estratégia na busca por luminosidade como o aumento da altura da planta. Houve aumento na produção de biomassa de raízes nos ambientes mais iluminados com diminuição dos valores de massa seca foliar nesses ambientes, o que sugere, conforme Ferreira *et al.* (1977), Santos & Varela (1992) e Almeida L *et al.* (2005), que a luz estimulou a translocação dos fotoassimilados para as raízes. Os valores baixos de massa seca radicular nos ambientes mais sombreados indicam que houve redução na disponibilidade de fotoassimilados para as raízes nesses ambientes.

Apesar das variações nos valores da massa seca foliar, massa seca da parte aérea e massa seca radicular, não ocorreu diferenças significativas de massa seca total para os diversos sombreamentos. Como a massa seca caulinar não apresentou diferenças significativas sob os diversos sombreamentos, percebe-se que houve translocação de biomassa entre raízes e as folhas em função dos níveis de sombreamentos. As variações no número de folhas em função dos sombreamentos não foram acompanhadas por alterações nos valores de massa seca total ou massa seca caulinar, o que sugere que aquele parâmetro aparentemente não exerceu influência nestas características. Os resultados aqui encontrados para massa seca total diferem dos encontrados por Mossri (1997) e Silvestrini (2000) que, para *H. courbaril*, verificaram maior massa seca total sob alta radiação do que sob baixa radiação e de Fonseca *et al.* (2002) não observaram o aumento de massa seca total ao longo do tempo.

O crescimento de massa seca foliar, massa seca da parte aérea, altura da planta, área foliar e área foliar específica com o aumento do sombreamento pode ter ocorrido em função da alocação de biomassa entre as partes das plantas e não em função do ganho global de massa seca.

Esse aumento ocorreu provavelmente por as mudas dessa espécie apresentaram baixos pontos de compensação lumínico nos ambientes menos sombreados e altos pontos de saturação nos ambientes mais sombreados.

5.4 ANÁLISE INTEGRADA DE CRESCIMENTO

Paiva & Oliveira (2006) afirmam que independentemente da capacidade fotossintética da planta a taxa de crescimento do vegetal depende da relação entre o CO₂ fixado na fotossíntese e o CO₂ liberado pelos processos de respiração. Silvestrini (2000) estudando *H. courbaril* encontrou altos pontos de saturação luminosa para essa espécie. De acordo com Ortega *et al.* (2006) espécies com baixos pontos de compensação lumínico são capazes de produzirem assimilados sob baixa intensidade luminosa. Portanto deduz-se que o aumento de

massa seca total ao longo do tempo em todos os níveis de sombreamentos testados pode ter ocorrido porque a taxa de fotossíntese foi superior à taxa de respiração sob todos os sombreamentos de maneira a favorecer o crescimento de massa seca total com ao longo do tempo para todos os sombreamentos.

A redução no tempo da razão de massa caulinar é um indicativo de que houve direcionamento preferencial de biomassa para outras partes das plantas. É provável que as folhas tenham sido o dreno preferencial de biomassa, pois a razão de massa seca foliar foi ascendente ao final do experimento enquanto a razão de massa seca radicular e a razão de massa seca da parte aérea não sofreram variações significativas ao longo do tempo.

A maior razão de massa seca radicular nos ambientes com menor sombreamento indica que houve proporcionalmente maior direcionamento de biomassa para as raízes nesses ambientes. O contrário ocorreu com a biomassa foliar que diminui nos ambientes com menor intensidade de sombreamento. Esse é um indicativo de que houve variação na translocação de biomassa entre folhas e raízes em função dos sombreamentos.

Os resultados encontrados no presente trabalho para razão de área foliar, indicam que houve aumento de área foliar proporcionalmente útil responsável por cada unidade de massa seca total, à medida que a intensidade de luz foi reduzida. As variações na razão de área foliar em função do sombreamento foram diretamente proporcionais às variações da área foliar, área foliar específica, massa seca foliar e massa seca da parte aérea e inversamente proporcionais a variação de massa seca de raiz.

O principal responsável pela variação da razão de área foliar em função do sombreamento foi a variação na área foliar uma vez que a massa seca total não apresentou diferenças significativas nos diversos sombreamentos. A variação da razão de área foliar em função da variação do sombreamento pode ser indicativo de plasticidade desta espécie, uma vez que a menor razão de área foliar em ambientes mais iluminados provoca diminuição da demanda respiratória (CLAUSSEN, 1996) e a alta razão de área foliar sob maiores sombreamentos mostrou ter havido maior alocação de biomassa para o crescimento foliar (FERREIRA *et al.*, 1977; BENINCASA, 1988; AGUILERA *et al.*, 2004).

Os resultados aqui obtidos são semelhantes aos encontrados por Lima *et al.* (2008) que para *C. ferrea* encontraram maiores valores de razão de massa foliar para os maiores sombreamentos, os quais não diferiram entre si. O principal responsável pela variação da razão de massa foliar em função da variação do sombreamento foi a variação da massa seca foliar, pois a massa seca total não foi influenciada significativamente pelos sombreamentos. A baixa variação no percentual de sombreamentos parece não ter provocado variações

significativas de razão de massa foliar. Os sombreamentos mais próximos apresentaram valores semelhantes de razão de massa foliar. A variação da razão de massa foliar em função da variação do sombreamento indicou a plasticidade desta espécie para esse parâmetro.

As mudas apresentaram maior deslocamento de fotoassimilados para as folhas em função do aumento do sombreamento indicando que massa seca foliar responsável pela produção da massa seca total aumentou com a intensificação do sombreamento. Ao longo do tempo, a razão de massa foliar e razão de área foliar decresceram, atingiram o valor mínimo e voltaram a crescer novamente. Isso pode ter ocorrido em função da duração e intensidade do brilho solar ou uma forma específica de variação da massa verde fotossinteticamente ativa responsável pela produção de massa seca total. Seriam necessários estudos mais prolongados para se verificar se esse processo é cíclico

Diversos estudos (LOKVENC *et al.*, 1977; CARNEIRO, 1995; REIS *et al.*, 1994; CAMPOS & UCHIDA, 2002; SILVA *et al.*, 2007 e LIMA *et al.*, 2008) revelam que a razão da altura da planta pelo diâmetro é um importante fator indicativo de qualidade das mudas, sendo que valores muito elevados desta relação podem apontar crescimento desequilibrado e valores menores podem ser indicadores de mudas de boa qualidade. Os valores da razão altura da planta/diâmetro do coleto aqui obtidos estão incluídos nos valores considerados aceitáveis (54 a 81) por Carneiro (1995). Os ambientes menos sombreados proporcionaram os menores valores da razão altura da planta pelo diâmetro do coleto indicando que sob esses ambientes foram formadas as mudas mais rústicas

Aparentemente, não ocorreu redução da atividade metabólica das folhas nos ambientes menos sombreados, conforme afirmação de Silva *et al.* (2007), pois a massa seca total permaneceu constante em todos os níveis de sombreamentos.

A razão entre a massa seca de raiz pela massa seca da parte aérea foi maior nos ambientes menos sombreados, indicando que houve redução na translocação de assimilados da parte aérea para as raízes nos ambientes com maior intensidade de sombreamento, como forma de a planta garantir maior absorção de energia luminosa nesses ambientes. Nos ambientes com menores intensidades de sombreamento, houve maior investimento em biomassa radicular o que pode ter favorecido a absorção de água e nutrientes.

O índice de qualidade de Dickson (IQD) é amplamente utilizado na avaliação da qualidade das mudas e considerado por diversos pesquisadores (FONSECA *et al.*, 2002; CHAVES & PAIVA, 2004 e MELO *et al.*, 2008) como indicativo do padrão de qualidade das mudas. Em todos os períodos e níveis de sombreamento avaliados os valores de IQD foram considerados adequados ao plantio (CHAVES & PAIVA, 2004 e MELO *et al.*, 2008).

Considerando-se as intensidades de sombreamentos, os parâmetros altura da planta e a massa seca da parte aérea e as razões da altura da planta pelo diâmetro do coleto e massa seca da parte aérea pela massa seca de raiz diminuíram quando houve aumento do IQD. No entanto, massa seca de raiz e o diâmetro do coleto apresentaram relação direta com o IQD. A massa seca total não apresentou correlação com o IQD, pois não variou com os níveis de sombreamento.

O IQD foi um bom parâmetro para indicar o padrão de qualidade das mudas crescidas sob diferentes sombreamentos, pois apresentou correlação positiva em relação aos parâmetros indicativos de qualidade (H, D, MSR, MST, H/D e MSR/MSPA). Serviu para confirmar que sob os menores sombreamentos as mudas apresentaram melhor qualidade para o plantio, pois além de seu valor, o valor de seus parâmetros constituintes estiveram dentro do limite considerado bom naqueles ambientes.

A maior taxa de crescimento absoluto no período 2 (110 a 170 dias) indicou que as mudas apresentaram média de crescimento mais rápida (AGUILERA *et al.*, 2002) e que houve maior ganho de CO₂ (LARCHER, 2006) durante esse período.

A ausência de diferenças para as taxas de crescimento absoluto entre os diversos sombreamentos é também confirmada pela massa seca total, que também não sofreu influência significativa do sombreamento.

A maior taxa de crescimento relativo no período 2 (110 a 170 dias) indicou que as mudas apresentaram maior produção de matéria seca em relação à matéria preexistente (BENINCASA, 1988; AGUILERA *et al.*, 2004; LARCHER, 2006; LIMA, *et al.* 2008) durante esse período.

A massa seca total assim como a taxa de crescimento relativo e taxa de crescimento absoluto não aumentaram em função dos sombreamentos testados, sendo maiores no período 2 (entre 110 e 170 dias) de observação.

6 CONCLUSÕES

Mudas de *H. courbaril* apresentam ajustes ecofisiológicos e capacidade de adaptação e sobrevivência à ampla faixa do espectro luminoso.

Diferentes níveis de sombreamento afetam a alocação de biomassa de *H. courbaril*, porém não têm influência no ganho total de biomassa.

O aumento no sombreamento diminui a rustificação de mudas de *H. courbaril*.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR-NETTO, A. O.; RODRIGUES, J. D.; BASTOS, E. A.; ONO, E. O. Desenvolvimento de plantas de ervilha (*Pisum sativum* L.), submetidas à diferentes potenciais da água no solo: índices fisiológicos. Piracicaba, SP: Sci. Agric., 1995. v.52, n.3, p.521-527.
- AGUILERA, D.B.; FERREIRA, F.A.; CECON, P.R. Crescimento de *Siegesbeckia orientalis* sob diferentes condições de luminosidade. Viçosa, MG: Planta Daninha, 2004. v.22, n.1, p.43-51.
- ALMEIDA, L. P. ; ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M.; ZANELA, S. M.; VIEIRA, C. V. Crescimento inicial de plantas de *Cryptocaria aschersoniana* Mez. submetidas a níveis de radiação solar. Santa Maria, RS: Ciência Rural, 2004. v.34, n.1, p.83-88.
- ALMEIDA, L. S. DE; MAIA, N. DA; ORTEGA, A. R.; ANGÊLO, A. C. Crescimento de mudas de *Jacaranda puberula* Cham. em viveiro submetidas A diferentes níveis de luminosidade. Santa Maria, RS: Ciência Florestal, 2005. v.15, n. 3, p. 323-329.
- ALMEIDA, S. M. Z.; SOARES, A.M.; CASTRO, E.M.; VIERA, C.V.; GAJEGO, E.B. Alterações morfológicas e alocação de biomassa em plantas jovens de espécies florestais sob diferentes condições de sombreamento. Santa Maria, RS: Ciência Rural, 2005. v.35, n.1, p.62-68.
- ALVINO, P. de O.; SILVA, M. F. F. da & RAYOL, B. P. Potencial de uso das espécies arbóreas de uma floresta secundária, na Zona Bragantina, Pará, Brasil. Manaus, AM: *Acta amazonica*, 2005. v.35, n.4, p.413 – 420.
- BARBOSA, M.P.C. MARTINS, M.C.M. AIDAR, M. CARDOSO-LOPES, E. M. YOUNG, M.C.M. BOLZANI, V.S. TORRES, L.M.B. Estudo químico e avaliação de atividade biológica de folhas de *Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa* (Heyne) Lee & Lang. Poços de Caldas, MG: 25^a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 2002.
- BENINCASA, M. M. P; LEITE, I. C. Fisiologia Vegetal. Jaboticabal, SP: FUNEP, 2004. p.2.
- BENINCASA, M.M.P. Análise de crescimento de plantas (noções básicas). Jaboticabal, SP: FUNEP, 1988. 42p.
- BERNARDINO, D. C. de S.; PAIVA, H. N. de; NEVES, J. C.de L.; GOMES, J. M. e MARQUES, V. B. Crescimento e qualidade de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan em resposta à saturação por bases do substrato. Viçosa, MG: Revista Árvore, 2005. v.29, n.6, p.863-870,
- BUCCI, S. J., GOLDSTEIN, G., MEINZER, F. C., SCHOLZ, F. G., FRANCO, A. C. AND BUSTAMANTE, M. Functional convergence in hydraulic architecture and water relations of tropical savanna trees: from leaf to whole plant. Victoria, Canadá: Tree Physiology, 2004. v.24, p.891-899.
- CAMPOS, A. A.; UCHIDA, T. Influência do sombreamento no crescimento de muda de três espécies amazônicas. Brasília, DF: Revista de Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2002. v.27, n. 3, p.281-288.

CARNEIRO, J. G. de A. Produção e controle de qualidade de mudas florestais. Curitiba, PR: UFPR/FUPEF. 1995. 451p.

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. Viçosa, MG: Revista *Árvore*, 2006. v.30, n.3, p.351-357.

CHAPIN, F.S.; BLOOM, A.J.; FIELD, C.B. Plant response to multiple environmental factors. Washington, DC: BioScience, 1987. v.37, p.49-57.

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. Piracicaba, SP: *Scientia Florestalis*, 2004. n. 65, p. 22-29.

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

DIAS-FILHO, M. B. Physiological response of *Solanum crinitum* Lam. to contrasting light environments. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 1997.v. 32, p. 789-796.

DIAS-FILHO, M.B. Respostas morfofisiológicas de espécies florestais à variações de luz. In: Congresso Nacional de Botânica, 50. Blumenau, SC: Resumos. Sociedade Botânica do Brasil, 1999. p. 311.

ENGEL, V. L.; POGGIANI F. Influência do sombreamento sobre o crescimento de mudas de algumas essências nativas e suas implicações ecológicas e silviculturais. Piracicaba, SP: IPEF, 1990. n. 43/44, p.1-10.

FAIRBAIRN, W. A.; NEUSTEIN. S. A. Study of response of certain coniferous species to light intensity. Oxford: Forestry, 1970. v. 43, n.1, p. 51-71.

FELFILI, J. M.; HILGBERT, L. F.; FRANCO, A. C.; SOUSA-SILVA, J.C.; RESENDE, A. V.; NOGUEIRA, M. V. P. Comportamento de plântulas de *Sclerolobium paniculatum* Vog. var. *rubiginosum* (Tul.) Benth. sob diferentes níveis de sombreamento, em viveiro. São Paulo, SP: Revista Brasileira de Botânica, 1999. v. 22, n.2 (suplemento), p.297-301.

FERNANDES, T.T. SANTOS, A.T.F. PIMENTA, F.C. Atividade antimicrobiana das plantas *Plathymenia reticulata*, *Hymenaea courbaril* e *Guazuma ulmifolia*. Goiânia, GO: Revista de Patologia Tropical, 2005. v.34, n.2, p.113-122.

FERREIRA, M. G. M.; CÂNDIDO, J. F.; CANO, M. A. O.; CONDÉ, A. R. Efeito do sombreamento na produção de mudas de quatro espécies florestais nativas. Viçosa, MG: Revista *Árvore*, 1977. v.1 n.2, p.121-134.

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. Viçosa, MG: Revista *Árvore*, 2002. v.26, n.4, p.515-523.

FRANCO, A. C.; BUSTAMANTE, M.; CALDAS L. S.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F. C.; KOZOVITS, A.R.; RUNDEL, P.; CORADIN, V. T. R. Leaf functional traits of neotropical savanna trees in relation to seasonal water deficit. *Trees*, 2005. n.19, p. 326-335,

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*. Viçosa, MG: Revista Árvore, 2002. v.26, n.6, p.655-664.

GONÇALVES, J.L.M.; SANTARELLI, E.G.; MORAES-NETO, S.P. *et al.* Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J.L.M; BENEDETTI, V. Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba, SP: IPEF, 2000. p. 310-350.

GORDON, J. C. Effect of shade on photosynthesis and dry weight distribution on yellow birch (*Betula alleghaniensis Britton*) seedlings. *Ecology*, 1969. v.50, n.5 p. 924-926.

KITAJIMA, K. Relative importance of photosynthetic traits and allocation patterns as correlates of seedling shade tolerance of 13 tropical trees. *Oecologia*, 1994. n.98 p. 419-428.

LARCHER W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos, SP: RIMA, 2006.

LIMA, A. L. da S. Relação entre longevidade foliar, nitrogênio e compostos secundários em folhas leguminosas arbóreas. 2005. 85 f. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia, Campinas, SP.

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, Caesalpinoideae). Manaus, AM: Acta amazonica, 2008. v. 38, n.1, p 5-10.

LOKVENC, T.; KRIGEL, H.; TEMMLOVÁ, B. Relation of the morphological characters of tree plants: their growth after the planting. Praga: Prace Vulhum, 1977. v.50, p.49-69,

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 4ª ed. Nova Odessa: Plantarum, 2002. v.1, 368p.

MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa de crescimento. In: FERRI, M.G., coord. *Fisiologia vegetal*. São Paulo, SP: E.P.U./EDUSP, 1979. p.331-50.

MELO, M. G. G.; MENDES, A. M. S., Jatobá (*Hymenaea courbaril* L). Manaus, AM: Informativo técnicos Rede de Sementes da Amazônia, n.9, Universidade do Estado do Amazonas, 2005.

MELO, R. R.; CUNHA, M. do C. L.; RODOLFO-JÚNIOR, F.; STANGERLIN, D. M. Crescimento inicial de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. Sob diferentes níveis de luminosidade. Recife, PE: Revista Brasileira de Ciências Agrárias, 2008. v.3, n.2, p.138-144.

MORAES-NETO, S. P., GONÇALVES, J. L. M., TAKAKI, M. Produção de mudas de seis espécies arbóreas, que ocorrem nos domínios da Floresta Atlântica, com diferentes substratos de cultivo e níveis de luminosidade. Viçosa, MG: Revista *Árvore*, 2001. v.25, n.3, p.277-287.

MOSSRI, B.B. Germinação e crescimento inicial de *Hymenaea courbaril* var. *Stilbocarpa* (Hayne) IEE & Lang e *Cecropia pachystachya* Trec.: duas espécies de níveis sucessionais diferentes de mata de galeria. 1997. 88 f, v.1. Dissertação (Mestrado em Ecologia). UNB, Brasília, DF.

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

ORTEGA, A. R.; ALMEIDA, L. S.; MAIA, N.; ÂNGELO, A. C. Avaliação do crescimento de mudas de *Psidium cattleianum* Sabine a diferentes níveis de sombreamento em viveiro. Lavras, MG: Revista *Cerne*, 2006. v.12, n.3, p.300-308.

PAIVA, R.; OLIVEIRA, L. M. DE; Fisiologia e produção vegetal. Lavras, MG: Editora UFLA, 2006. 104 p.

PEDROSO, S. G.; VARELA, V. P. Efeito do sombreamento no crescimento de mudas de sumaúma (*Ceiba pentandra* (E.) GAERTN). Revista Brasileira de Sementes, 1995. v. 17, n.1, p. 47-51,

PEREIRA, C.K.B. RODRIGUES, F.F.G. MOTA, M.L. SOUSA, E.O. LEITE, G. O. BARROS, A.R.C. LEMOS, T. L.G. COSTA, J.G.M. Composição química, atividade antimicrobiana e toxicidade do óleo essencial de *Hymenaea courbaril* (jatobá). São Paulo, SP: Sociedade Brasileira de Química (SBQ), 30 Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. 2006.

PHILIPPS, I.D.J. Apical dominance. *Ann. Rev. Physiology*, 1975. n.26, p. 341-367.

POOTER H. & GARNIER E. Ecological significance of inherent variation in relative growth rate and its components. In *Handbook of functional Plant Ecology*. New York . p.81-120. 1999.

PORTELA, R. C. Q.; SILVA, I. L.; PIÑA-RODRIGUES, F.C. M. Crescimento inicial de mudas de *Clitoria fairchildiana* Howard e *Peltophorum dubium* (Spreng) Taub em diferentes condições de sombreamento. Santa Maria, RS: *Ciência Florestal*, 2001.v.11, n.2, p.163-170.

RADFORD, R J. Growth analysis formulae: their use and abuse. Madison: Crop Science, 1967. v.7, n.3, p. 171-175.

RAVEN, P.R.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. *Biologia Vegetal*, 6ª ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; PAULA, R.C.; MAESTRI, M.; BORGES, E E.L. Crescimento e ponto de compensação de lumínico em mudas de espécies florestais nativas submetidas a diferentes níveis de sombreamento. Viçosa, MG: Revista. *Árvore*, 1994. v.18, n.2, p.97-106.

RICKLEFS, R. E. A economia da natureza. 5. ed. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara-Koogan S.A., 2003. p. 120-122.

ROSA, L. S.; SÁ, T. D. de A.; CARVALHO, C. J. R. de; MALHEIROS, M. A. de B.; DIAS, M. L. da S. Respostas ecofisiológicas e morfológicas do pau-rosa (*Aniba roseodora* Ducke) aos diferentes níveis de sombreamento em condições de viveiro. Belém, PA: B. FCAP, 1998. n.30, p.119-132.

SCALON, S.P. Q.; MUSSURY, R. M.; RIGONI, M. R.; SCALON-FILHO, H. Crescimento de mudas de *Bombacopsis glabra* (Pasq.) A. Robyns sob condição de sombreamento. Viçosa, MG: Revista Árvore, 2003. v.27, n.6, p.753-758.

SILVA, R. R. DA; FREITAS, G. A. DE; SIEBENEICHLER, S. C.; MATA J. F. DA; CHAGAS, J. R. Desenvolvimento inicial de plântulas de *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum. sob influência de sombreamento. São Paulo, SP: *Acta Botanica*, 2007. v. 37, n.3, p.365-370.

SILVESTRINI, M. Fotossíntese e acúmulo de biomassa em plantas jovens de duas espécies arbóreas de diferentes grupos ecológicos (pioneira x climática) de uma floresta estacional semidecidual. 2000. 112 f. Dissertação de Mestrado em Ecologia. UNICAMP, Campinas, SP.

SUZUKI, S. Leaf phenology, seasonal changes in leaf quality and herbivory pattern of *Sanguisorba tenuifolia* at different altitudes. *Oecologia*, 1998. n.117, p.169-176.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. 3. ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2004. 720 p.

TONINI, H; ARCO-VERDE, M. F.; SÁ, S. P.P. Dendrometria de espécies nativas em plantios homogêneos no Estado de Roraima - Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl), Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), Ipê-roxo (*Tabebuia avellanedae* Lorentz ex Griseb) e Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). Manaus, AM: *Acta Amazônica*, 2005. v. 35, n.3, p.353-362.

VARELA, V.P; SANTOS, J. Influência do sombreamento na produção de mudas de *Dinizia excelsa*. Manaus, AM: *Acta Amazonica*, 1992. v. 22, n.3, p. 407-411.

WALTERS, J.; KOZAK, A. Effects of seedling size on survival and growth of plantations with particular reference to douglas fir. Vancouver, University of British Columbia, 1965. 25 p. (Research Papers, 72).

8 APÊNDICES E ANEXOS

RESULTADOS DE ANÁLISE DE MICRONUTRIENTES DO SOLO

Protocolo	Identificação Remetente	Cu	Mn	Fe	Zn
		-----mg/kg-----			
2659	Amostra 01	4,1	56,7	235,9	75,3

RESULTADOS DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO SOLO

Protocolo	Identificação	Prof. (cm)	Granulometria (g/kg)			
			Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila total
2659	Amostra 01	0-20	524	263	134	80

RESULTADO DE ANÁLISE DE SOLO

Amostra		Prof.	pH	N	MO	P	K	Na	Ca	Ca+Mg	Al	H+Al
Prot.	Identificação	cm	água	%	g/Kg	-----mg/dm ³ -----			-----cmol _c /dm ³ -----			
2659	Amostra 01	0-20	7,0	0,37	34,38	1297	35	33	6,9	9,6	0,0	1,49

DADOS CLIMATOLÓGICOS DE BELÉM

Instituição: Embrapa Amazônia Oriental

Responsável: Laboratório de Climatologia

Dados Mensais Coletados na Estação Climatológica de Belém

Latitude: 01° 28'S

Longitude: 048° 27' W

Altitude: 12,0 m

Mês/ano	Tx (°C)	Tn (°C)	T (°C)	Ur (%)	Pp (mm)	Ev (mm)	Bs (h)
set/07	33,2	23,4	27,3	78	100,2	72,6	241,9
out/07	32,6	23,3	27,4	81	136,8	68,7	221,5
nov/07	32,9	23,6	27,1	80	88,5	72,9	208,7
dez/07	32,3	23,7	26,7	87	399,8	52,6	162,0
jan/08	31,1	23,5	26,1	91	445,3	39,3	107,5
fev/08	31,2	23,5	26,3	85	358,0	37,1	111,4
mar/08	30,5	23,7	26,4	84	378,0	46,5	108,6
abr/08	31,4	23,7	26,6	87	419,3	41,8	142,9
mai/08	31,8	23,8	26,7	86	226,9	50,0	172,6
jun/08	32,0	23,6	26,7	85	243,6	57,3	199,7
jul/08	33,0	23,3	27,1	83	79,3	75,7	264,9
ago/08	33,3	23,4	27,5	81	93,5	79,6	279,9
set/08	33,2	23,5	27,4	83	85,5	75,3	245,8

Tx: Temperatura Máxima em °C

Tn: Temperatura Mínima em °C

T: Temperatura Média em °C

Pp: Precipitação Pluvial em milímetro

Ur: Umidade Relativa do Ar em %

Bs: Brilho Solar em horas

Ev: Evaporação do Vaporímetro de Piche em milímetro

9 GLOSSÁRIO

Aclimação

Conjunto de processos físicos e fisiológicos que preparam a planta para o inverno (RAVEN et al. 2001). Pode-se entender nesse caso o termo inverno como uma condição ambiental adversa.

A aclimação pode ser pensada como uma mudança no intervalo de tolerâncias fisiológicas do indivíduo. Por essas mudanças envolverem modificações da estrutura do corpo e da máquina metabólica, elas demandam desde dias até semanas. Assim, a aclimação é uma estratégia restrita às variações sazonais e a outras persistentes nas condições. A aclimação é reversível, e permite aos organismos acompanhar as oscilações de seus ambientes.

Adaptação

Peculiaridade estrutural, fisiológica ou comportamental que auxilia determinado organismo a ajustar-se ao seu meio ambiente (RAVEN et al. 2001).

É uma característica geneticamente determinada que realça a capacidade de um indivíduo de lidar com o seu ambiente; o processo evolutivo pelo qual os organismos se tornam mais bem adaptados aos seus ambientes (RICKLEFS, 2003). Na escala temporal a adaptação ao contrário da aclimação é um processo muito lento.

Alocação

É a regulação do desvio de carbono fixado em várias rotas metabólicas (TAIZ & ZEIGER, 2006).

Biomassa

Peso seco total de todos os organismos numa determinada população, amostra ou área (RAVEN et al. 2001). Pode ser considerada também como o peso seco de todos os organismos de uma espécie num dado local.

Decídua

Planta que perde as folhas em determinada estação (RAVEN et al. 2001).

Esciófita

O mesmo que umbrófila; planta adaptada a vida sob a penumbra.

Eficiência fotossintética

É a conversão de energia luminosa em energia química (LARCHER 2006).

Fotorrespiração

É o processo pelo qual ocorre o consumo de O₂ e a liberação de CO₂ durante a fotossíntese. Esse processo envolve a participação de três organelas: os cloroplastídeos, os peroxissomos e as mitocôndrias (PAIVA & OLIVEIRA, 2006).

Heliófilas

Plantas cujas sementes requerem clareiras para germinar, e as plântulas não sobrevivem sob sombra.

Higrófitas

São plantas terrestres de ambientes úmidos, isto é, ar e solos permanentemente saturados de água. Esses ambientes são geralmente sombreados (BENINCASA & LEITE, 2004).

Hipocótilo

É parte da plântula entre o colo e a inserção das folhas cotiledonares (CARNEIRO, 1995). É a porção de um embrião ou plântula situada entre os cotilédones e a radícula (RAVEN et al., 2001).

Epicótilo

Parte da plântula que se inicia na inserção das folhas cotiledonares e vai até o broto terminal (CARNEIRO, 1995). A porção superior do eixo de um embrião ou plântula, acima dos cotilédones (folhas seminais) e abaixo da folha ou folhas seguintes (RAVEN et al., 2001).

Latifoliada

É um tipo de vegetação que apresenta folhas largas e grandes. É o tipo de vegetação predominante na Floresta Tropical.

Parênquima paliçádico

Um tecido foliar composto de células parenquimáticas colunares portando cloroplastos; o maior eixo dessas células é perpendicular à superfície da folha (RAVEN et al.,

2001). (Juntamente com o parênquima lacunoso e com os espaços intercelulares contribuem na espessura foliar, ver Raven páginas 604, 605, 607 e 611).

Partição

É a distribuição diferencial dos fotossintatos na planta (TAIZ & ZEIGER, 2006).

Plasticidade fenotípica

Mudança morfológica em um organismo, quando sujeito a estímulos ambientais distintos. Um exemplo comum é aquele provido por plantas aquáticas, cujas folhas submersas apresentam morfologia diferente daquelas sobre a água. Outra situação, frequentemente encontrada entre plantas daninhas e plantas invasoras, é a profusão de morfologia foliar presente entre os indivíduos da população; estas formas são definidas como morfótipos; capacidade mostrada pelo genótipo de assumir fenótipos diferentes. Toda plasticidade fenotípica é geneticamente determinada.

Sub-bosque

Vegetação formada por um estrato herbáceo, arbustos, arvoretas e indivíduos jovens das populações do dossel e de emergentes.

Xerófita

Planta adaptada a habitats áridos (RAVEN et al. 2001). São plantas que ocorrem preferencialmente nos desertos, nas campinas secas e nos lugares rochosos onde a água é geralmente escassa (BENINCASA & LEITE, 2004).