

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA

ECOFISIOLOGIA DO CRESCIMENTO INICIAL DE
DIPTERYX ALATA VOG. (LEPURNIDAE)

SUELI MATIKO SANO

Brasília - 2001

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA

ECOFISIOLOGIA DO CRESCIMENTO INICIAL DE *DIPTERYX ALATA* VOG.

(LEGUMINOSAE)

SUELI MATIKO SANO

Tese submetida como requerimento parcial para obtenção do título de Doutor, junto ao programa de pós-graduação em Ecologia, do Departamento de Ecologia do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília, sob orientação da professora Linda Styer Caldas

Brasília, DF

Julho de 2001

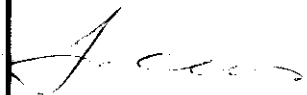
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA

Ecofisiologia do crescimento inicial de *Dipteryx alata* Vog. (Leguminosae)

Sueli Matiko Sano

Tese de Doutorado submetida ao Departamento de Ecologia da Universidade de Brasília


PROVADO POR:



LINDA STYER CALDAS

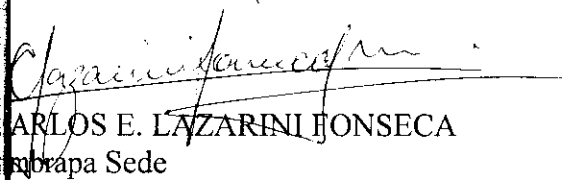
Orientador

Depto. de Botânica, Universidade de Brasília



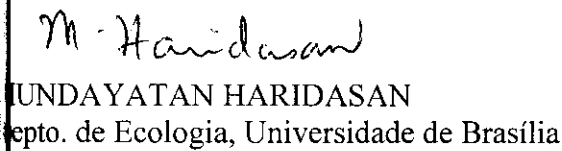
ANTONIO CLAUDIO DAVIDE

Universidade Federal de Lavras



CARLOS E. LAZARINI FONSECA

Correio Sede



MUNDAYATAN HARIDASAN

Depto. de Ecologia, Universidade de Brasília



AUGUSTO CESAR FRANCO

Depto. de Botânica, Universidade de Brasília

Brasília,
31 de agosto de 2001

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos dirigentes da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, especialmente ao Dr. Eduardo Assad, Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento, e Dr. Carlos Magno da Rocha Campos, Chefe Geral da EMBRAPA Cerrados, pelo afastamento concedido para realização deste trabalho.

À professora Dra. Linda Styer Caldas, pela orientação e ajuda na realização deste trabalho.

Aos amigos, professores e colegas da Universidade de Brasília pelos momentos agradáveis e divertidos.

Ao Dr. Lúcio José Vivaldi pela ajuda no planejamento do experimento, conselhos e palavras de incentivo.

Ao Dr. Euzébio Medrado da Silva, pelo apoio e liberação da área de viveiro e uso dos laboratórios da EMBRAPA Cerrados para realização de parte deste trabalho.

À Natália Pedrosa Vasquez por todo apoio no laboratório de Fisiologia e Botânica, germinação de sementes e nas coletas de dados, soluções junto aos outros laboratórios da EMBRAPA Cerrados, e, especialmente pela amizade e companhia.

Aos colegas Jair Fax Maia e Cheila C. N. Barbiero, e ao professor Augusto C. Franco pela ajuda no uso dos equipamentos.

Ao Edson Sano pela orientação na captação de imagens, e empréstimo dos equipamentos para medidas climáticas do laboratório de Biofísica Ambiental da EMBRAPA Cerrados.

À Leide Rovênia pelas discussões sobre os métodos e procedimentos para estimativa de comprimento de raiz.

À Carmen Regina pelas discussões sobre as técnicas de coloração de raiz e ajuda na Estação Experimental de Biologia da UnB.

Aos responsáveis pelo viveiro da EMBRAPA Cerrados, Sr. José Roberto e Sr. Lúcio, pela manutenção da irrigação, profissionalismo e companhia.

Ao Joaquim, Valdeci, Nelson, João e Márcio do laboratório de Fisiologia e Botânica da EMBRAPA Cerrados e Sr. Fábio e D. Olinda da Estação Experimental de Biologia da UnB pela ajuda na colheita dos experimentos.

Ao Sr. José Ferreira pela ajuda nas medidas de radiação solar.

Aos funcionários dos laboratórios da EMBRAPA Cerrados que realizaram análises de solos e tecidos vegetais.

Ao Valter Lopes pela ajuda na coloração de raízes.

À EMBRAPA e ao programa de pós-graduação em Ecologia pelos recursos financeiros.

À minha filha Nayara, pela ajuda e companhia durante a realização dos trabalhos, pela paciência nos momentos mais difíceis e pelo seu amor incondicional.

SUMÁRIO

Lista de figuras	iii
Lista de tabelas	vi
Lista de anexos	vii
Resumo	viii
Abstract	x
Introdução	1
Hipóteses	3
Objetivos	4
Revisão bibliográfica	4
<i>Dipteryx alata</i> Vog.	5
Fatores edáficos e nutrientes	10
Adaptações à luminosidade	13
Inclinação de folhas e movimento de cloroplastos	14
Adaptações morfológicas e anatômicas	15
Cloroplasto	16
Taxa fotossintética	17
Fluorescência	18
Material e métodos	
Experimentos de crescimento	21
Experimento 1	21
Experimento 2	23
Fotossíntese e fluorescência	25
Análise estatística	27
Resultados	
Solo	28
Experimento 1	
Ambiente	28
Crescimento em altura	32
Produção de biomassa	34
Razão raiz/parte aérea	38
Experimento 2	
Ambiente	39
Crescimento em altura	41
Área basal do caule	44
Comprimento de raiz	44
Área foliar	45
Produção de matéria seca total	47
Razão raiz/parte aérea	55

Área foliar específica	56
Folha/biomassa total	57
Caule/matéria seca total	58
Raiz/matéria seca total	59
Nutrientes nos tecidos vegetais	
Concentração de nutrientes por massa foliar	61
Concentração de nutrientes por área foliar	65
Associação com microorganismos	67
Fisiologia das mudas	
Concentração de clorofila	68
Número de estômatos	69
Ângulo foliar	69
Taxa fotossintética	72
Fluorescência da clorofila	79
Discussão	
Crescimento em altura	85
Matéria seca	86
Fatores nutricionais	90
Fisiologia das mudas	93
Conclusão	95
Bibliografia	96

Lista de figuras

Número	Assunto	Página
1.	Aspecto geral do experimento 1 de <i>D. alata</i> Vog.	31
2.	Crescimento em altura e número de folhas de <i>Dipteryx alata</i> Vog. (Exp. 1).	33
3.	Altura e número de entrenós de <i>D. alata</i> Vog. após 10 meses (Exp.1).	34
4.	Matéria seca total produzida por <i>D. alata</i> Vog., cultivada em solos de Cerrado, Cerradão e Mata, sob 10% e 50% de luz, após 10 meses (Exp. 1).	35
5.	Matéria seca de raiz de progênies de <i>D. alata</i> Vog., cultivadas em solos de Cerrado, Cerradão e Mata, sob 10% e 50% de luz, após 10 meses (Exp. 1).	37
6.	Matéria seca da raiz principal de progênies de <i>D. alata</i> Vog. cultivadas em solos de Cerrado, Cerradão e Mata, sob 10% e 50% de luz (Exp.1).	37
7.	Raiz/parte aérea das progênies 33 (a) e 66 (b) de <i>D. alata</i> Vog. cultivadas em três solos, sob dois níveis de luz, em casa de vegetação (Exp. 1).	38
8.	Curva diária de densidade de fluxo de fótons incidentes, em dia sem nuvem e nublado à tarde (Exp. 2).	40
9.	Crescimento em altura de <i>D. alata</i> Vog. (Exp.2).	43
10.	Altura e número de entrenós de três progênies de <i>D. alata</i> Vog. cultivadas em dois solos sob quatro luminosidades, após 247 dias (Exp.2).	44
11.	Comprimento de raízes secundárias das progênies nos solos de Cerrado e Mata aos 45 dias (Exp.2).	46
12.	Comprimento de raízes secundárias de <i>D. alata</i> Vog. cultivadas em solos de Cerrado e Mata sob diferentes níveis de luminosidade, aos 90 dias (Exp. 2).	46
13.	Matéria seca produzida por <i>D. alata</i> Vog., aos 45 dias (Exp. 2).	49
14.	Matéria seca de <i>D. alata</i> Vog., aos 90 dias (Exp. 2).	50
15.	Matéria seca de <i>D. alata</i> Vog., aos 247 dias (Exp. 2).	51

16. Matéria seca dos órgãos de progênies de *D. alata* Vog. após 45, 90 e 247 dias (Exp. 2). 53
17. Raiz/parte aérea de progênies de *D. alata* Vog. cultivadas em solos de Cerrado e Mata, sob quatro níveis de luz, após 45, 90 e 247 dias (Exp. 2). 56
18. Área foliar específica de *D. alata* Vog. cultivado sob quatro níveis de luz (%), nas três avaliações (a, b, c) (Exp.2). 57
19. Razão massa foliar/matéria seca total de *D. alata* Vog. sob quatro níveis de luz (a), três progênies (b) e dois solos (c), nas três avaliações, no viveiro (Exp. 2). 58
20. Massa caulinar em relação a matéria seca total (caule/MSt) de *D. alata* Vog. cultivado sob quatro níveis de luz (a), três progênies (b) e dois solos (c), nas três avaliações no viveiro (Exp. 2). 59
21. Massa radicular em relação a matéria seca total (raiz/MSt) de *D. alata* Vog. cultivado sob quatro níveis de luz (a), três progênies (b) e dois solos (c), nas três avaliações no viveiro (Exp. 2). 60
22. Concentração de cálcio foliar (g/kg) de três progênies de *D. alata* Vog. cultivadas em dois solos, em viveiro por 90 dias (Exp. 2). 63
23. Concentração foliar de cálcio (g/kg) de *D. alata* Vog. cultivadas sob duas intensidades de luz, em três solos, na casa de vegetação por 317 a 325 dias (Exp. 1). 63
24. Concentração foliar de manganês (mg/kg) de *D. alata* Vog. cultivado em viveiro, nos solos de Cerrado e Mata, sob diferentes intensidades de luz, aos 90 dias (Exp. 2). 64
25. Concentração foliar de manganês (mg/kg) de *D. alata* Vog. cultivado em casa de vegetação, sob duas intensidades de luz, em três solos, aos 317 a 325 dias (Exp. 1). 64
26. Concentração da clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila *a/b* de *D. alata* Vog. cultivadas sob dois níveis de luz, três solos e duas progênies, após 310 a 325 dias de cultivo (Exp. 1). 68

27. Número de estômatos de *D. alata* Vog. de folíolos de diferentes idades aos 90 dias, e da última folha madura aos 247 dias em plantas cultivadas sob diferentes intensidades de luz (Exp.2). 70
28. Ângulo foliar das progênes de *D. alata* Vog. sob quatro intensidades de luz. 71
29. Assimilação de CO₂ e densidade de fluxo de fótons (DFF) de *D. alata* Vog. cultivadas em três solos no decorrer do dia (09/04/99, Exp. 1). 73
30. Condutância estomática e temperatura foliar de *D. alata* Vog. cultivadas em três solos no decorrer do dia (09/04/99, Exp. 1). 74
31. Assimilação de CO₂ e condutância estomática de *D. alata* Vog. cultivadas sob plena luz e 50% de luz (Exp. 2). 75
32. Taxa de assimilação de CO₂ e condutância estomática de *D. alata* Vog. cultivada sob plena luz e 50% de luz, no mês de abril (Exp. 2). 77
33. Taxa de assimilação de CO₂ e condutância estomática de três progênes de *D. alata* Vog. cultivadas sob plena luz e 50% de luz (Exp. 2). 78
34. Taxa de transporte aparente de elétrons em função da densidade de fluxo de fótons de *D. alata* Vog. cultivada em três solos e dois níveis de luz, em casa de vegetação (Exp. 1). 80
35. Densidade de fluxo de fótons e rendimento quântico (F_v'/F_m') diário de *D. alata* Vog. cultivada sob 10% de luz, em diferentes solos, na casa de vegetação (Exp. 1). 81
36. Densidade de fluxo de fótons e rendimento quântico (F_v'/F_m') diário de *D. alata* Vog. cultivada sob 50% de luz, em diferentes solos, na casa de vegetação (Exp. 1). 82
37. Valores de rendimento quântico (F_v/F_m) antes da incidência solar de *D. alata* Vog. cultivadas sob quatro intensidades de luz, nos solos de Cerrado e Mata (Exp. 2). 84
-

Lista de tabelas

Número	Assunto	Página
1.	Experimentos e seus respectivos tratamentos.	21
2.	Local, fitofisionomia de coleta e composição química dos solos.	29
3.	Fitofisionomia e características físicas dos solos.	30
4.	Matérias secas de folha e caule de <i>D. alata</i> Vog. após 310 a 325 dias de cultivo (Exp. 1).	36
5.	Média de fluxo de fótons máximos e total de fluxo de fótons obtidos no viveiro em um dia claro sem nuvens, dia 11/05/2000 (Exp. 2).	39
6.	Valores de F, obtidos por ANOVA, para altura e área basal do caule de <i>D. alata</i> Vog. (Exp. 2).	42
7.	Área basal (mm ²) a 2,5 cm do caule das progênes de <i>Dipteryx alata</i> Vog. nas três avaliações destrutivas.	44
8.	Área foliar de três progênes de <i>D. alata</i> Vog. cultivada sob quatro níveis de luz, em dois solos. (Exp. 2)	47
9.	Matéria seca total de <i>D. alata</i> Vog., de três progênes cultivadas sob quatro níveis de luz, em dois solos. (Exp. 2)	48
10.	Matérias secas de folha, caule e raiz de <i>D. alata</i> Vog. cultivada sob quatro níveis de luz e em dois solos. (Exp. 2)	54
11.	Matérias secas de raiz principal e secundária de <i>D. alata</i> Vog. cultivada sob quatro níveis de luz e em dois solos. (Exp. 2).	55
12.	Concentração de nutrientes por massa foliar de três progênes de <i>D. alata</i> Vog. sob quatro níveis de luz e dois solos, aos 90 dias de cultivo (Exp. 2).	62
13.	Concentração de nutrientes por área foliar de <i>D. alata</i> Vog em dois solos e quatro níveis de luz aos 90 dias de cultivo, no viveiro (Exp. 2).	65
14.	Interação entre níveis de luz e solos na concentração de nutrientes por área foliar de <i>D. alata</i> Vog. cultivada em viveiro. (Exp. 2)	66

Lista de anexos

Número	Assunto	Página
I	Valores de F, obtidos por ANOVA, para produção de matéria seca de <i>D. alata</i> Vog. no Exp. 1.	114
II	Valores de F, obtidos por ANOVA, para área foliar, área foliar específica, razão entre matéria seca de cada órgão e a matéria seca total, raiz/parte aérea de <i>D. alata</i> Vog., após 45, 90 e 247 dias de cultivo (Exp. 2).	115
III	Valores de F obtidos por análise de variância da biomassa produzida por <i>D. alata</i> Vog., cultivado em viveiro, após três períodos de crescimento. (Exp. 2.)	116
IV	Valores de F, obtidos por ANOVA, da concentração de nutrientes foliares por massa foliar (Exp. 2).	117
V	Valores de F, obtidos por ANOVA, para concentração de nutrientes por área foliar (Exp. 2).	118
VI	Valores de F, obtidos por ANOVA, para comparação de dados de fotoinibição (Fv/Fm) em plantas cultivadas sob quatro dos níveis de luz, no solo de Mata e Cerrado (Exp. 2).	119

RESUMO

Dipteryx alata Vog. (Leguminosae) ocorre nas formações florestais do Cerrado, em solos mesotróficos. O limite de ocorrência pode estar associado às condições de maior fertilidade do solo, baixa intensidade luminosa ou ambos para o estabelecimento e sobrevivência de plântulas. A produção e partição de biomassa, taxa fotossintética e fotoinibição são parâmetros que podem ser analisados para verificar a capacidade de adaptação às diferentes condições ambientais.

O crescimento inicial sob diferentes intensidades de luz e solos foi estudado, utilizando-se sementes com características morfológicas distintas de diferentes árvores, em dois experimentos. Em casa de vegetação, duas progênies foram cultivadas em solos coletados sob vegetação de Mata, Cerradão ou Cerrado, sob 50% ou 10% da radiação solar. No viveiro, três progênies, também meio irmãos, foram cultivadas em solos coletados de Mata ou Cerrado, sob 12,5%; 25%; 50% e 100% de luz.

Alta intensidade de luz reduziu o crescimento, e plantas sob 10% de luz tiveram maior altura. Maior biomassa e área foliar foram obtidas sob 10% de luz no solo de Mata na casa de vegetação, mas, no viveiro, maior biomassa foi obtida em plantas cultivadas sob 50% de luz em solo de Cerrado. Apenas em solo de Cerradão, a biomassa produzida não foi afetada pela intensidade luminosa. O excesso de água, causado pela irrigação acrescida da água das chuvas, pode ter limitado a respiração e crescimento de raízes das plantas em solo de Mata, de baixa capacidade de drenagem, no viveiro. Baixa concentração de manganês foi observado nas folhas destas plantas. Sob alta intensidade de luz, a concentração de cálcio foliar aumentou, podendo ter causado a menor produção de matéria seca nas plantas sob 50% de luz no solo de Mata, na casa de vegetação.

D. alata Vog. apresentou maior produção de matéria seca de raiz sob alta intensidade de luz e em solos menos férteis, e maior investimento na parte aérea sob baixa intensidade de luz, adaptando-se às diferentes condições. A alocação de maior massa foi para a parte subterrânea no final do primeiro ano de vida. Diferenças entre progênies na alocação de recursos, para diferentes órgãos ao longo do tempo, principalmente maior investimento na parte subterrânea, devem afetar a sobrevivência dos indivíduos.

O baixo rendimento quântico das plantas cultivadas no solo de Mata, observado no mês de fevereiro, indica a presença de algum fator inibitório à fotossíntese, não avaliado

nos estudos. O solo de Cerrado, com menor disponibilidade de nutrientes mas bem drenado, pode ter sido mais favorável ao crescimento inicial.

D. alata Vog. apresentou adaptações às altas intensidades de luz. A inclinação vertical dos folíolos e o aumento no número de estômatos nas plantas crescidas sob alta intensidade de luz, e resposta rápida dos estômatos às mudanças de luz indicam mecanismos de tolerância ao excesso de luz. A ausência de adaptações morfológicas à seca na parte aérea, indica que plântulas desta espécie devem crescer melhor nas chuvas, sob condições baixas ou intermediárias de luz.

Pode-se concluir que a alta intensidade de luz foi limitante no crescimento inicial de *D. alata* Vog., mas fatores edáficos, além da fertilidade, também afetaram o seu desenvolvimento. A alocação de recursos diferenciada entre progênies para diferentes órgãos da planta ao longo do seu desenvolvimento deve influenciar no desempenho dos indivíduos sob condições menos favoráveis.

ABSTRACT

Dipteryx alata Vog. (Leguminosae) occurs in the forest formations of Cerrado, on mesotrophic soils. This limitation with regard to its occurrence may be associated with higher soil fertility, low light availability or both factors during establishment and survival of plantlets. The biomass production and partition, the rate of photosynthesis and photoinhibition are parameters that can be evaluated for the ability to adapt to different environmental conditions.

The initial growth under different light levels and soils were studied in two experiments, using seeds of different trees with distinct morphological characters. In the greenhouse, two half-sib progenies were cultivated in soils collected under vegetation of Mata, Cerrado or Cerradão, under 50% or 10% of solar irradiation. In the nursery, three half-sib progenies were cultivated in soils collected under vegetation of Mata or Cerrado, under 12.5%, 25%, 50% or 100% of light.

High light intensity reduced the growth, and plants under 10% of light had the greatest height. Greatest biomass and leaf area were obtained by plants grown under 10% of light in soil from Mata in the greenhouse, but, in the nursery, greatest biomass was attained by plants grown under 50% of light in Cerrado soil. Only in the Cerradão soil, biomass production was not affected by the light intensity. Differences in irrigation, ambient temperature and quality of radiation may have influenced the different patterns of dry matter production observed in the two experiments. Excess water from irrigation plus rain may have limited the root respiration and growth of plants in the soil from Mata, in the nursery. Low concentration of manganese per leaf dry mass was observed in these plants. Under high light, the calcium concentration per leaf mass was increased, which may have caused lower dry matter production of plants growing in soil of Mata, in the glass house.

D. alata Vog. produced higher dry matter of roots under high light intensity and low soil fertility, showing adaptation to different conditions. By the end of one year, mass allocation to the root system was high. Differences between progenies in resource allocation to different organs along the period, mainly to root system, may affect the survival of individuals.

Decreased quantum yield, measured through chlorophyll *a* fluorescence, in plants grown in soil from Mata, observed in February, indicates the existence of an inhibitory

factor to photosynthesis, that was not evaluated. The soil from Cerrado, with low nutrient availability but well drained, may have had better conditions for initial plant growth.

D. alata Vog. presented physiological adaptations to high light intensity. The vertical position of leaflets grown under high light, the increase of stomata number in leaflets under high light and the rapid response of stomata to changes in light intensity indicate mechanisms of tolerance to exposed areas. The lack of morphological adaptation of the shoots to dry conditions also indicates that this species is better adapted to low or intermediary light intensity conditions.

It can be concluded that high light was the limiting factor to initial growth of *D. alata* Vog., but edaphic factors, besides fertility, affect its development. The difference in resource allocation to different organs among progenies, during their development, may affect the individual performance under stress conditions.

INTRODUÇÃO

Dipteryx alata Vog., Leguminosae Papilionoideae, é vulgarmente conhecido como baru nos estados de Goiás, Minas Gerais e Distrito Federal, e como cumbaru em São Paulo, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. É uma espécie de importância econômica silvicultural e frutífera, com uso medicinal (Ribeiro *et al.*, 2000). Possui madeira pesada com densidade de $1,10 \text{ g/cm}^3$ (Lorenzi, 1992), altamente resistente a fungos e cupins (Cavalcante *et al.*, 1982), sendo bastante utilizada no meio rural. Vários animais, como morcegos e macacos (Ferreira, 1980), formigas e cupins se alimentam do mesocarpo do fruto, e as sementes são apreciadas pelo homem, macaco e roedores silvestres. Em fazendas onde persiste a pecuária extensiva, esta espécie é mantida nas áreas de pastagens, pois o fruto que cai durante a estação seca é consumido pelo gado bovino (Almeida *et al.*, 1990). Em alguns locais, para explorar economicamente as áreas de preservação, os derivados dos frutos são fonte alternativa de renda para produtores rurais. As amêndoas são comercializadas para consumo humano, e a polpa é adicionada em doces ou ração animal (Ribeiro *et al.*, 2000).

D. alata Vog. ocorre nas formações florestais do Cerrado (Haase e Hirooka, 1998; Ratter *et al.*, 1978), em solos mesotróficos (Araújo e Haridasan, 1988; Ratter *et al.*, 1996). As formações florestais ocorrem devido às condições de maior fertilidade do solo (Eiten, 1972; Ratter *et al.*, 1978) ou maior disponibilidade de água (Ribeiro e Walter, 1998). No ambiente florestal, as plântulas recebem menor intensidade de luz (Rijkers *et al.*, 2000), e sua sobrevivência decorre de adaptações morfológicas e fisiológicas à baixa intensidade luminosa (Johnson *et al.*, 1997; Minotta e Pinzauti, 1996; Veenendaal *et al.*, 1996).

O limite de ocorrência de *D. alata* Vog. pode ser devido ao excesso de luminosidade nas áreas mais abertas, ou falta de nutrientes necessários ao seu crescimento nos solos distróficos das fisionomias mais abertas. Sob condições de campo, as espécies ou ecótipos apresentam variadas respostas fisiológicas e morfológicas aos fatores ambientais, como nutrientes, água, luz, temperatura ou associações com microorganismos (Hogan, 1996). Características de escleromorfismo, indicando adaptação ao excesso de produção de carboidratos pela alta disponibilidade de luz e falta de nutrientes (Arens, 1958), não são apresentadas por *D. alata* Vog. Fatores nutricionais podem ser limitantes no desenvolvimento inicial quando aliado à alta luminosidade (Larcher, 2000). A adição de

nutrientes em solo distrófico favoreceu a produção de matéria seca em plantas jovens cultivadas sob mesma intensidade de luz (Melo, 1999) e entre solos da Mata Atlântica, mais fértil, e Cerrado, pouco fértil, não foi observado diferença no crescimento (Melhem, 1972).

A ocorrência mais freqüente de *D. alata* Vog. nas áreas florestais deve ser devido à sua adaptação para este ambiente. Plasticidade fenotípica com respostas diversificadas ao ambiente ocorre dentro da mesma espécie para germinação (Van Hinsberg, 1998), crescimento (Schlichting, 1986) e reprodução (Schmid e Dolt, 1994). As espécies arbóreas tropicais possuem alta variabilidade genética dentro de populações, até mais do que entre populações (Kageyama, 1990; Hogan, 1996). Estudos de crescimento de progênes (Oliveira, 1988; Siqueira *et al.*, 1993; Corrêa, 1999) e morfometrias de sementes e frutos mostraram variabilidade dentro de populações (Corrêa, 1999; Sano *et al.*, 1999; Botezelli *et al.*, 2000), mas não dentro de árvores de *D. alata* Vog. (Corrêa, 1999; Sano *et al.*, 1999). A porcentagem e velocidade de germinação de sementes coletadas de várias matrizes de *D. alata* Vog não variaram (Botezelli, 1998; Corrêa, 1999).

As espécies com sementes maiores possuem recursos para investir sob condições limitantes à luz (Leishman e Westoby, 1994) ou água (Grubb e Metcalfe, 1996), aumentando a chance de sobrevivência (Walters e Reich, 2000) sob algum fator limitante (Harper, 1977). A amplitude de massa de sementes pode variar de 10^{-4} a 10 g (Kitajima, 1996). Espécies tolerantes à sombra podem ter sementes de massa menor que 1 mg, e, a amplitude pode chegar a três ordens de grandeza (Grubb e Metcalfe, 1996). Geralmente, espécies tropicais que possuem sementes maiores são mais tolerantes à sombra do que as que necessitam de luz (Metcalfe e Grubb, 1995) ou pioneiras (Kitajima, 1996). A massa de semente de *D. alata* Vog. é, em média, de 1,29 g com amplitude de 0,20 a 2,7 g (Corrêa, 1999), podendo ser incluída na faixa das espécies que possuem maior massa.

Correlação positiva entre a massa da semente e a altura da planta foi obtida para plantas semidecíduas crescidas tanto no sol como na sombra após quatro semanas e na sombra até um ano. A relação entre a massa de semente e altura esteve associada com a presença dos cotilédones que caíram após 4,6 semanas nas plantas sob sol, enquanto nas plantas sob 20% de luz permaneceram até 42,3 semanas (Augspurger, 1984). Sob 50% de luz, menor altura e diâmetro basal foram observadas por Corrêa (1999) em plantas de *D.*

alata Vog. originadas da região onde houve menor massa de sementes, após 30 dias de emergência e após cerca de 5 meses, nada sendo mencionado sobre os cotilédones.

Os fatores ambientais podem alterar o desenvolvimento das plântulas, podendo ser uma fase crítica para o seu estabelecimento. Nas espécies arbóreas, as folhas podem representar cerca da metade da massa seca total no primeiro ano de vida, e a proporção muda em favor do caule com o tempo (Larcher, 2000). A falta de nutrientes pode causar alterações na alocação de recursos, como a deficiência de nitrogênio e fósforo, que aumenta a razão raiz/parte aérea, e a deficiência de potássio e magnésio, que tem efeito contrário (Cakmak *et al.*, 1994; Ericsson, 1995). Assim como a intensidade de luz pode modificar a morfologia foliar (Holmes e Cowling, 1993; Niinemets *et al.*, 1998), a deficiência em fósforo, nitrogênio ou água (Cavelier, 1996) alteram a capacidade fotossintética (Niinemets, 1999).

A taxa fotossintética geralmente não apresenta variação entre populações, talvez devido à alta influência da estrutura foliar na capacidade fotossintética (Niinemets, 1999). No entanto, variações na capacidade fotossintética, respiração e outros processos fisiológicos foram observadas dentro de espécies de diferentes altitudes (Hovenden e Brodribb, 2000), distribuição geográfica (Benowicz *et al.*, 2000), e entre clones (Hogan, 1996). Em áreas abertas de formações savânicas, solos pouco férteis e a alta luminosidade podem ser fatores limitantes para o estabelecimento de *D. alata* Vog., restringindo-a às formações florestais onde há maior disponibilidade de nutrientes e luminosidade mais baixa no seu interior. Assim, foi estudado o desenvolvimento inicial e o comportamento fisiológico de *D. alata* Vog. quanto à fertilidade do solo e luminosidade.

HIPÓTESES

1. Alta intensidade de luz limita o crescimento inicial de *D. alata* Vog.
2. Baixa disponibilidade de nutrientes no solo limita o crescimento inicial de *D. alata* Vog.
3. Alta intensidade de luz e baixa disponibilidade de nutrientes somente limitam o crescimento inicial de *D. alata* Vog. quando ocorrem simultaneamente.

OBJETIVOS

1. Comparar o crescimento inicial de *D. alata* Vog. sob diferentes intensidades de luz em solos com disponibilidade de nutrientes diferentes.
2. Avaliar a taxa fotossintética de *D. alata* Vog. sob diferentes intensidades de luz e solos.
3. Verificar a presença de associações simbióticas, bactérias fixadoras de nitrogênio e fungos micorrízicos arbusculares, em *D. alata* Vog.
4. Comparar o crescimento inicial de progênes de *D. alata* Vog. sob diferentes condições de luz e solo.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A diversidade de fitofisionomia do Cerrado foi analisado por Eiten (1972), sob vários aspectos, incluindo fatores edáficos. A baixa fertilidade de solo é um dos fatores mais importantes da ocorrência da vegetação de Cerrado, mas, a presença de Cerrado em solos pouco férteis não significa que a baixa fertilidade seja a causa da sua ocorrência no local em vez da floresta, pois a floresta enriquece seu solo (Eiten, 1972). No entanto, formações florestais podem ocorrer em solos de baixa fertilidade no bioma Cerrado, como o Cerradão distrófico (Felfili *et al.*, 1994; Ribeiro e Walter, 1998).

Em condições de fotossíntese plena, fatores limitantes ao crescimento e respiração, como a escassez de nutrientes minerais e deficiência hídrica, podem induzir a formação de características morfológica-anatômicas comuns em folhas de Cerrado como nervuras densas, muitos estômatos pequenos por unidade de área, pilosidade, epiderme com parede externa espessada, esclênquima desenvolvido, várias camadas paliádicas, etc. (Arens, 1958). Quando a produção de fotoassimilados excede o uso, devido a limitação ao crescimento, os carboidratos são eliminados pelas células. Inicialmente, essas características eram interpretadas segundo as idéias de Schimper (1935) como adaptações para reduzir a transpiração (Arens, 1958), mas Ferri (1955) demonstrou ausência de restrição hídrica nas árvores do Cerrado de Emas (SP). Arens (1958) propôs o termo escleromorfismo oligotrófico para as plantas do cerrado, pois nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio,

enxofre, cálcio, boro e zinco importantes para a síntese de proteína são deficientes no solo de cerrado, condições potenciais para ter excesso de carboidratos.

Geralmente, grande parte da luz que incide nas folhas não é utilizada para a realização da fotossíntese, sendo muito freqüente a observação de mecanismos de proteção ou adaptação ao excesso de luz (Larcher, 2000).

Dipteryx alata Vog.

É uma leguminosa da subfamília Papilionoideae, tribo Dipteryxæe (Pohill e Raven, 1981). A espécie tipo é *Coumarouna odorata* Aublet, e, com base na semelhança da morfologia floral sem considerar os frutos, Schreber reuniu os gêneros *Coumarouna* e *Taralea* sob o nome de *Dipteryx* (Ducke, 1948). Estudo anatômico de madeira mostrou que a estrutura dos raios de *Dipteryx* difere de *Taralea*, da mesma tribo (Gasson, 1999), mas como a primeira consta na lista dos "nomina conservanda", só poderá ser corrigida em congresso botânico (Ducke, 1948).

A maioria das espécies de *Dipteryx* Schreb., cerca de onze, habitam a Amazônia, ocupando a América do Sul até a América Central. Apenas uma única espécie ocorre no Cerrado, *D. alata* Vog., e outra no Nordeste do Brasil, *D. lacunifera* Ducke. Ambas possuem sementes inodoras e cálice petalóide, em oposição aos que possuem sementes ricas em cumarina e cálice coriáceo, como a *D. odorata* (Aubl.) Willd. da Amazônia considerados pares vicariantes (Ducke, 1948).

D. alata Vog. tem distribuição ampla no Brasil, ocorre nos estados da Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Piauí, Rondônia e Tocantins, e também no Paraguai (Ratter *et al.*, 2000). É encontrada nas fisionomias Cerrado (Filgueiras e Silva, 1975; Felfili *et al.*, 1994; Ratter *et al.*, 1996), Cerradão (Haridasan e Araújo, 1988; Ratter *et al.*, 1978; Felfili *et al.*, 1994) ou Mata Semidecídua (Haase e Hirooka, 1998). É indicadora de solos mesotróficos (Ratter *et al.*, 1996), sendo freqüente no Cerradão (Ratter *et al.*, 1978) e rara ou ocasional no Cerrado (Ratter *et al.*, 2000). Alta densidade desta espécie (22 indivíduos em 0,25 ha) foi observada na Mata Semidecídua antes cercada de Cerradão mesotrófico, próximo de Cuiabá, MT (Haase e Hirooka, 1998). Alguns autores citam a sua presença mas não apresentam dados de

densidade (Ratter *et al.*, 1978; Castro, 1994; Felfili *et al.*, 1994), e está ausente nos 232 dos 316 levantamentos no Cerrado senso restrito (Ribeiro *et al.*, 2000).

D. alata é uma árvore de até 15 m de altura, folhas compostas, alternas, com púlvinos, pecíolo e ráquis alados. Os folíolos, em número de 6 a 13, são oblongos, com base desigual truncada ou subcordada e ápice obtuso ou acuminado. O limbo possui largura de 4 a 7 cm e comprimento de 8 a 21 cm, podendo variar de acordo com a posição na folha. As folhas das extremidades são em geral menores que a da posição intermediária do ramo, e os folíolos das extremidades da folha são também menores. As inflorescências são panículas terminais e às vezes axilares. As flores hermafroditas são creme com manchas purpúreas no vexilo. Os estames são em número de 10, subiguais; ovário súpero unilocular. A antera possui deiscência longitudinal, e o grão de pólen é liso e piriforme (Filgueiras e Silva, 1975). O fruto é uma drupa com uma única semente. A massa de sementes varia, de acordo com a região e árvore, de 0,20 g a 2,70 g, com cerca de 0,9 a 1,3 cm de largura e 1,5 a 3,5 cm de comprimento (Corrêa, 1999; Sano *et al.*, 1999; Botezelli *et al.* 2000). A cor do tegumento varia de quase preto a marrom claro (Sano *et al.*, 1999) ou amarelo esverdeado (Filgueiras e Silva, 1975), podendo apresentar fissuras transversais que deixam parte do cotilédone exposto (Melhem, 1974; Sano *et al.*, 1999). Variações nas dimensões das sementes foram observadas entre plantas e entre regiões, mas não dentro de plantas (Corrêa, 1999; Sano *et al.*, 1999).

D. alata geralmente apresenta caducifolia na estação seca, quando ocorre a maturação e queda dos frutos (agosto a outubro). Após a emissão de folhas novas na estação chuvosa, há formação de inflorescência e floração entre outubro a fevereiro, cujo período varia de acordo com o início das chuvas. Não há estudos de biologia reprodutiva de *D. alata* Vog., mas há evidências de que a polinização seja feita por insetos, principalmente por abelhas (Pott e Pott, 1986). A floração é intensa, mas pode apresentar assincronia entre e dentro de populações. A assincronia na floração pode restringir o fluxo de pólen dentro da população, sendo possível ocorrer autopolinização em alguns indivíduos (Loveless e Hamrick, 1984). No entanto, o fluxo gênico entre populações pode ser favorecido se existir sistema de autoincompatibilidade e os polinizadores alcançarem longas distâncias, aumentando a diversificação genética da população.

A dispersão de frutos pode ser realizada pelos pequenos mamíferos consumidores como roedores, macacos e morcegos, como ocorre com *D. panamensis* (Bonaccorso *et al.*, 1980; Forget, 1993). Em condições de campo, a umidade na estação chuvosa favorece a germinação das sementes, não sendo observado a formação de banco de sementes, ou de plântulas. O ataque de microorganismos ao fruto e à plântula pode causar baixa sobrevivência das plântulas nascidas de frutos enterrados, comparado com frutos deixados na superfície (Melhem, 1972). Os resíduos da polpa consumida por insetos e térmitas podem ser utilizados posteriormente pela planta (Filgueiras e Silva, 1975).

Os frutos de *D. alata* Vog. podem apresentar um período de pós-maturação de cerca de 2 meses, pois, a taxa de germinação de 55% após 15 dias de coleta aumentou para 96% após 2 meses (Melhem, 1972). Após três meses de armazenamento de sementes, a taxa de germinação de 90% caiu para 50% em algumas progênies (Botezelli, 1998). A viabilidade das sementes mantém-se por um ano, quando armazenados em vidros ou sacos plásticos em ambientes de laboratório (Melhem, 1972; Botezelli, 1998) ou em câmara fria a 7 °C (Botezelli, 1998). Esta autora concluiu que as melhores condições para armazenamento está relacionada com alta taxa de germinação inicial e temperatura baixa do que com a umidade inicial das sementes.

A taxa de germinação foi alta e semelhante para todas as procedências de *D. alata* Vog. (Corrêa, 1999; Botezelli *et al.*, 2000). A velocidade de germinação variou com sementes de diferentes regiões. Corrêa (1999) observou menor velocidade de emergência de plântulas na região com menor massa de sementes, mas o mesmo não foi observado por Botezelli *et al.* (2000). Sementes com maiores dimensões tiveram maior índice de velocidade de emergência após armazenamento de um ano, sendo esse índice considerado melhor do que a taxa de germinação para avaliar vigor das sementes (Botezelli *et al.*, 2000). No entanto, Corrêa (1999) não observou diferença significativa entre progênies, e mesmo entre e dentro regiões para índice de velocidade de emergência desta espécie.

O período de germinação pode ser bastante amplo. Em frutos inteiros, a emergência da radícula de *D. alata* Vog. inicia-se aos 45 dias (Melhem, 1972; Filgueiras e Silva, 1975) ou de 20 a 90 dias (Carvalho, 1994). Em sementes isoladas do fruto, a germinação pode ocorrer após dois dias (Melhem, 1972) ou 7 a 15 dias (Corrêa, 1999). O pico de

emergência das plântulas ou germinação é alcançado entre 13 a 21 dias (Filgueiras e Silva, 1975), quando sementes isoladas foram colocadas entre profundidades de 0,8 a 2,5 cm (Nogueira, 1993; Fonseca *et al.*, 1994). Cerca de 80% das plântulas emergiram entre 12 e 15 dias quando semeadas a 1,5 cm (Corrêa, 1999) sob 50% de luz. A sementeira à 4 cm de profundidade afetou negativamente a germinação total (Fonseca *et al.*, 1994).

A luz vermelha ou ausência de luz não afetaram a germinação das sementes de *D. alata* Vog. (Melhem, 1972). As sementes colocadas sobre a superfície do solo, em viveiro, tiveram menor taxa e velocidade de germinação sob luz plena do que com 50% de luz (Fonseca *et al.*, 1994). A alta temperatura e baixa umidade na superfície do solo podem ter afetado o processo germinativo das sementes sob plena luz (Fonseca *et al.*, 1994). As sementes enterradas em diferentes profundidades no solo, sob plena luz, tiveram taxa e velocidade de germinação superior às deixadas sob 50% de luz (Fonseca *et al.*, 1994). Neste caso, a radiação solar pode ter aumentado a temperatura do solo favorecendo a velocidade de germinação das sementes, pois, Melhem (1972) observou menor tempo para germinação na temperatura de 30 a 35 °C.

Inibição total na germinação de sementes de *D. alata* no solo de Mata Atlântica em São Paulo, SP, foi obtido por Melhem (1972), enquanto em solos de Cerrado coletados em Goiatuba, GO, e em Itirapina, SP, a germinação foi de 10% e 60%, respectivamente. O solo de Mata foi classificado pela autora como "barrento" e os solos de Cerrado arenosos. O solo da Mata apresentou pH (água) mais baixo (3,9) do que nos Cerrados (4,9 e 5,5), e a porcentagem de C, N, teor de fósforo, cátions trocáveis e de alumínio foram superiores no solo de Mata do que nos de Cerrado. O solo de Cerrado de Várzea da Palma, MG, onde foram coletados os frutos estudados, apresentou características intermediárias entre os de Goiatuba e Itirapina (Melhem, 1972). O desenvolvimento de plântulas não apresentou diferença quando sementes pré-germinadas foram cultivadas em mistura de solos de Mata e Cerrado na proporção de 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 e 0:100 (Melhem, 1972). O solo de Mata apresentou pH (água) mais baixo (3,9) do que do Cerrado (4,9) de textura arenosa. A porcentagem de C, N, teor de fósforo, cátions trocáveis e de alumínio foram mais altos no solo de Mata do que no de Cerrado. A autora concluiu que o solo talvez não seja um fator limitante na distribuição desta espécie, pois o efeito negativo do pH ácido na taxa de

germinação não deve afetar o crescimento das plantas, se os frutos germinarem na superfície do solo. As radículas maiores do que 5 cm, altura da radícula emitida do fruto até a superfície do solo, talvez não tenham sensibilidade ao alumínio, pois diferenças entre solos no estabelecimento da muda foram obtidas apenas com sementes sem pré-germinação (Melhem, 1972).

Outros resultados experimentais de crescimento inicial de *D. alata* Vog. em casa de vegetação (Ulhôa, 1997; Melo, 1999) foram também divergentes com relação ao pH ou calagem e a ocorrência natural da espécie em solos de textura areno-argilosos (Filgueiras e Silva, 1975), mesotróficos pouco ácidos (pH em H₂O > 6,0) (Ratter *et al.*, 1978; 1996). Ulhôa (1997) obteve efeito negativo no crescimento em altura, produção de matéria seca da parte aérea e matéria seca de raiz com a adição de cálcio e outros nutrientes em solo coletado da superfície de um latossolo vermelho amarelo, em casa de vegetação. Neste estudo, todos os solos receberam macronutrientes e micronutrientes, tendo dois níveis de fósforo e quatro níveis de calagem. A maior produção de matéria seca total de *D. alata* Vog., aos 104 dias, foi obtida para solo sem adição de calcário e dose mais alta de fósforo, cuja análise de solo resultou em pH (água) de 5,1; 96 mg/dm³ de fósforo; 0,7 cmol_c/dm³ de cálcio e 0,2 cmol_c/dm³ de magnésio (Ulhôa, 1997). Foi concluído que o fósforo é o nutriente limitante para esta espécie, e possui baixo requerimento de cálcio e magnésio para o crescimento inicial.

Melo (1999) observou também aumento na matéria seca da folha, caule, raiz desta espécie, além do aumento no número de folhas e área foliar, com a adição de fósforo no latossolo vermelho escuro esterilizado, aos 210 dias, em casa de vegetação. A adição de magnésio aumentou a matéria seca do caule, número de folhas e a área foliar, mas a adição de nitrogênio diminuiu a razão raiz/parte aérea desta espécie (Melo, 1999). Este autor não obteve diferença significativa na adição de nitrogênio, cálcio e potássio sobre a matéria seca de *D. alata* Vog., observando aumento na concentração do nutriente na planta.

Foi observado crescimento maior em altura e produção de folhas sob 5% de luz do que 30%, 70% e 100% de luz (Carvalho e Felfili, 1988) aos sete meses de idade e alcançou também maior altura sob 50% do que pleno sol após um ano (Melhem, 1972), embora o crescimento das plantas jovens tenha sido prejudicado quando próximo à sombra de árvore

(Melhem, 1972). Sob 50% de luz, a altura e diâmetro basal de plantas com 30 dias teve alta correlação positiva, com o peso das sementes das progênes (Corrêa, 1999).

São poucos os estudos sobre a distribuição natural desta espécie quanto à fisionomia e tipo de solo, sendo hoje, a sua realização muito difícil devido aos desmatamentos realizados na área dos Cerrados.

Fatores edáficos e nutrientes

Diferença entre solos mesotróficos e distróficos são baseados no pH e disponibilidade de cálcio na superfície de 0-15 cm (Araújo e Haridasan, 1988; Ratter *et al.*, 1978). São considerados mesotróficos os solos com pH (água) entre 5,5 a 7,0 e pelo menos 2,0 me de cálcio por 100 g de solo, podem ser deficientes em fósforo, mas geralmente as concentrações de cálcio (Ratter *et al.*, 1978) e manganês (Araújo e Haridasan, 1988) são mais altas. Distróficos são os solos ácidos, com pH geralmente entre 4,0 e 4,8, alta saturação com alumínio, deficiente em fósforo, cálcio, potássio e magnésio (Araújo e Haridasan, 1988).

A disponibilidade de nutrientes e água, além das condições de luz, afeta o padrão de alocação de biomassa (Browner, 1962). Segundo Ericsson (1995), quando o suprimento de carbono diminui, a parte aérea retém a maior parte dos assimilados. Se o nitrogênio está limitando o crescimento da planta, ocorre uma redução da área foliar e acúmulo de amido nas folhas, e maior alocação de recursos para a raiz, causando decréscimo na relação parte aérea/raiz. A taxa fotossintética por área foliar não se altera, mas em alta intensidade luminosa o teor inadequado de N foliar pode tornar a folha mais susceptível à fotoinibição (Castro *et al.*, 1995).

Quando o fósforo é o elemento limitante, o efeito é similar ao do N quanto ao desenvolvimento da área foliar e ao acúmulo de amido nas folhas. Neste caso, a redução do transporte de açúcares do cloroplasto para o citoplasma reduz a disponibilidade de carboidratos para os locais de dreno. Assim, a formação de novas estruturas longe da fonte de suprimento de fósforo seria afetada, talvez pela falta de energia na síntese de compostos nitrogenados como proteínas e aminoácidos. O enxofre é outro constituinte das proteínas, tem efeito similar ao N e P; que em condições limitantes afeta a formação de cloroplasto,

fixação de carbono e o crescimento. A formação de folhas novas é também afetada pela deficiência de cálcio, pois é um elemento primordial para a divisão celular.

A deficiência de potássio, enxofre e magnésio pode reduzir a taxa fotossintética (Ericsson, 1995). O potássio atua na osmoregulação, ativação de enzimas e na translocação de assimilados no floema, não participando da estrutura de nenhum componente da planta. Não se sabe como a alocação de recursos é afetada pela deficiência de K. No entanto, dados contraditórios quanto ao teor de carboidratos nas folhas podem ser explicados pela diferença entre espécies no balanço entre fonte e dreno no requerimento de K para crescimento.

Pelo fato do magnésio ser um componente da clorofila e catalisador de várias enzimas envolvidas na síntese de proteínas, a sua deficiência afeta a estrutura dos pigmentos do cloroplasto, reduzindo a taxa fotossintética (Marschner, 1995). Ericsson (1995) não observou acúmulo de amido em plantas deficientes em magnésio, discordando de Marschner (1995) de que a deficiência de magnésio afeta o transporte dos assimilados no floema, aumentando o teor de amido nos cloroplastos. Ele sugeriu que a falta de Mg afetou negativamente a assimilação de carbono, alterando o balanço de N e C, aumentando a relação parte aérea/raiz.

O zinco é um importante componente para várias enzimas envolvidas no metabolismo do carboidrato e atua na atividade de outras como a aldolase e frutose 1,6-bifosfatase (Marschner, 1995). Quando limitante, causa acúmulo de amido e açúcares nas folhas. A deficiência de ferro afeta pouco a relação parte aérea/raiz, mas é essencial na formação da clorofila e na fixação de carbono, causando decréscimo no teor de amido da folha. A falta de manganês reduz sensivelmente a quantidade de carboidrato nos tecidos e a alocação de recursos para a raiz, devido ao seu envolvimento na captação de energia luminosa (Ericsson, 1995). Os papéis fisiológicos dos micronutrientes boro, cobre, níquel e molibdênio são pouco compreendidos. O molibdênio age nas reações redox, relacionadas com a redutase do nitrato e o metabolismo de fixação biológica do nitrogênio e enxofre, sendo fundamental para leguminosas fixadoras de N (Marschner, 1995).

Quando a luz, CO₂ ou os minerais K, Mg e Mn são limitantes para o crescimento da planta, há um decréscimo no crescimento da raiz, e o inverso ocorre quando os minerais

deficientes são N, P e S (Ericsson, 1995), sendo o balanço entre o carbono e o nitrogênio a chave principal para a alocação de recursos entre a parte aérea e raiz (Browner, 1962a).

Solos com características físicas e químicas diferentes são encontrados nas formações florestais de Cerrado (Ratter *et al.*, 1978; Ribeiro e Walter, 1998). Características biológicas foram menos estudadas, mas sabe-se que os solos apresentam alta riqueza de espécies de fungos micorrízicos arbusculares (Miranda e Miranda, 1997), e muitas espécies de Cerrado formam micorrizas (Thomazini, 1974). Estes fungos aumentam a absorção de fósforo, nitrogênio, zinco e outros nutrientes (George *et al.*, 1995), através do aumento do comprimento da raiz e dos micélios que absorvem e transferem para a planta os nutrientes disponíveis no solo (Harley e Smith, 1983), longe da zona de captação das raízes (Marschner, 1995). A micorriza pode alterar a estrutura e morfologia da raiz, aumentando a ramificação e comprimento específico da raiz (cm/g) através da espessura ou do conteúdo celular (Berta, 1993; 1995). A associação micorrízica é mais benéfica para ambas as partes quando há alta disponibilidade de luz e baixa fertilidade do solo (George *et al.*; 1995), devido a disponibilidade de carbono na raiz (Arens, 1958; Browner, 1962) que alimenta o fungo. No entanto, a simbiose pode ser favorável também em solos férteis, pois as espécies ou isolados diferem na capacidade de transporte de P (George *et al.*, 1995), ou, sob condições de estresse hídrico as hifas no solo podem obter água onde as raízes não alcançam (Harley e Smith, 1983).

As leguminosas em geral são beneficiadas pela formação de simbiose com as bactérias fixadoras de nitrogênio, mas, nem todas não formam associações com bactérias fixadoras de nitrogênio (Leitão, 1997), ou micorrizas (Harley e Smith, 1983). Faria *et al.* (1989) colocam *Dipteryx* dentro de leguminosas não formadores de nódulos de bactérias fixadoras de nitrogênio, mas, Carvalho (1994) cita *D. alata* como formadora de associação com *Rhizobium*. Bonetti *et al.* (1984) observaram micorrização, mas não observaram nódulos de *Rhizobium* na raiz de *D. odorata* e *D. polyphylla*. Na Costa Rica, Montagnini e Sancho (1994) consideraram *D. panamensis* como leguminosa não fixadora de nitrogênio. Leguminosas arbóreas nativas do Cerrado capazes de nodular, muitas vezes não nodulam devido à baixa população de bactérias, especificidade hospedeira, ou por serem sensíveis à presença de nitratos que inibem a nodulação (Leitão, 1997).

Adaptações à luminosidade

As folhas refletem cerca de 6 a 10% da radiação visível, transmitem cerca de 10 a 20% da radiação solar e dentro da radiação fotossinteticamente ativa, que representam cerca de 45 % da radiação solar, absorvem cerca de 60 a 80% (Larcher, 2000). A radiação fotossinteticamente ativa, utilizada na reação fotoquímica pelas plantas, compreende a faixa espectral de 380 a 710 nm (Larcher, 2000). A composição das luzes refletida e transmitida é rica na faixa do verde e do vermelho, mas varia com a composição dos tipos de folha. Esta alteração na qualidade e na composição dos comprimentos de onda da luz (Larcher, 2000), interferem no estímulo dos fotoreceptores que regulam o aparato fotossintético (Anderson, 1986). Geralmente, a razão entre as radiações vermelho/vermelho longo aumenta próximo à superfície do solo na luz difusa sob folhas (Anderson, 1986), diferindo do sombreamento artificial para estabelecer níveis de luminosidade.

As plantas apresentam adaptações à radiação local, que podem ser rápidas e reversíveis, não reversíveis como a diferenciação celular dos tecidos, ou evolutivas, que são geneticamente fixadas (Larcher, 2000). Essas adaptações não são excludentes; podem acontecer simultaneamente na copa de um indivíduo (Terashima e Hikosaka, 1995; Klich, 2000). Plantas mantidas sob alta intensidade luminosa possuem menor relação entre área foliar/biomassa total (Ziegenhagen e Kausch, 1995; Kitajima, 1996) e parte aérea/raiz (Kitajima, 1994; Minotta e Pinzauti, 1996). A adaptação fenotípica ao sombreamento provoca aumento na relação fotossíntese/respiração da planta como um todo, o que maximiza o ganho de carbono. Sob a mesma intensidade de luz, as espécies não tolerantes à sombra tem maior razão parte aérea/raiz, massa foliar/área e área foliar/biomassa total do que as que demandam mais luz (Kitajima, 1994).

A intensidade luminosa pode afetar o conteúdo e a concentração de nutrientes de maneira diferente para cada espécie ou órgão. O teor de N foliar aumentou com o aumento da intensidade luminosa em *Inga edulis*, mas em *D. panamensis* a concentração de N nas folhas maduras permaneceu inalterada sob diferentes condições de luz (Castro *et al.*, 1995). Correlação positiva entre a intensidade luminosa e conteúdo de N, P e K na folha e raiz foi obtida em *Fagus sylvatica* L, mas não teve efeito sobre o conteúdo de P no caule (Minotta e Pinzauti, 1996). Esses autores observaram também interação entre luz e solos (orgânico

mais fértil e mineral menos fértil) no conteúdo de N e K para todos os órgãos da planta e para teor de P na folha. Apenas sob alta intensidade de luz, o conteúdo e a concentração de N e K foi maior em solo orgânico do que mineral. A concentração de P nos tecidos foi mais alta no solo mineral do que no solo orgânico com mais P sob condições de luz alta e intermediária. Segundo esses autores, a menor absorção de P em solo mais fértil pode ter sido causado pelo desequilíbrio na relação entre N e P, ou pela ineficiência das micorrizas em solos com alta disponibilidade de nutrientes.

Inclinação de folhas e movimento de cloroplastos

Movimentos de inclinação de folhas em condições de alta luminosidade reduzem a incidência luminosa (Watling *et al.*, 1997) em cerca de 40% (Caldas *et al.*, 1997) a 60% (He *et al.*, 1996). As folhas na posição vertical reduzem a fotoinibição (Ögren e Evans, 1992; Caldas *et al.*, 1997), chegando a evitá-lo (Watling *et al.*, 1997) com a diminuição da temperatura foliar ao meio dia (He *et al.*, 1996). Movimento foliar ocorre com a diferença de turgor das células da base do pecíolo, devido também às temperaturas extremas e em condições de deficiência hídrica (Kao e Tsai, 1998) que levam ao decréscimo da absorção de luz (Sage e Reid, 1994).

A posição fixa das folhas, vertical sob alta intensidade e horizontal sob baixa intensidade de luz, pode ser encontrada em *Eucalyptus* (King, 1997; Niinemets, 1998) e outras espécies (Clearwater e Gould, 1995; Farnsworth e Ellison, 1996; He *et al.*, 1996; Schiefthaler *et al.*, 1999; James e Bell, 2000). Diferentes inclinações podem ser encontrados em um mesmo indivíduo, dependendo da posição da folha em relação ao azimute ou grau de sombreamento (Clearwater e Gould, 1995), de maneira a otimizar a captação de luz (King, 1997).

O cloroplasto pode se movimentar, diminuindo a absorção de luz em cerca de 10%, como em *Tradescantia albiflora* (Kunth) (Park *et al.*, 1996), ou aumentando a absorção de luz das células das camadas inferiores (Terashima e Hikosaka, 1995). O movimento dos cloroplastos ocorre pela contração dos filamentos citoplasmáticos (Larcher, 2000). Sob baixa intensidade luminosa, ocorre alinhamento perpendicular aos raios de luz, e sob alta intensidade de luz, os cloroplastos se posicionam verticalmente ao longo da parede celular,

paralela à luz incidente. O movimento dos cloroplastos modifica a absorção de luz de plantas que ficam sujeitas às altas variações de luz, alterando as propriedades óticas da folha, um mecanismo mais eficiente que os reparos necessários à proteína D₁, de maior custo energético (Park *et al.*, 1996).

Adaptações morfológicas e anatômicas

Em várias espécies, as condições de luminosidade podem mudar a forma e o tamanho das folhas (Augspurger, 1984; Abrams *et al.*, 1992; Holmes e Cowling, 1993). A área foliar geralmente aumenta com o sombreamento (Smith, 1991; Abrams, 1992; Minotta e Pinzauti, 1996), mas pode diminuir (Melhem, 1972; Farnsworth e Ellison, 1996) ou variar com o grau de sombreamento (Holmes e Cowling, 1993). Embora a largura da folha seja, geralmente, proporcional ao comprimento (Smith, 1991), a alteração da área foliar absoluta está associado ao alongamento, sob alta (Augspurger, 1984) ou baixa intensidade luminosa (Farnsworth e Ellison, 1996). Respostas divergentes podem ocorrer devido à composição dos comprimentos de onda, sua intensidade e duração, além da própria diferença entre espécies (Anderson, 1986).

Folhas aclimatadas sob alta intensidade luminosa possuem menor área foliar específica (área/massa) (Langenheim *et al.*, 1984; Grubb *et al.*, 1996; Schiefthaler *et al.*, 1999) e são mais espessas do que as de baixa intensidade luminosa (Riddoch *et al.*, 1991), devido principalmente às modificações no mesófilo. A área, a altura, o volume, o número total de células e de camadas do parênquima paliçádico são superiores em folhas aclimatadas sob intensidade luminosa alta do que baixa (Ziegenhagen e Kausch, 1995). A epiderme, onde encontram-se os estômatos com as células guardas, pode ser mais espessa nas folhas de sol do que na sombra (Abrams *et al.*, 1992) ou indiferente (Ziegenhagen e Kausch, 1995). A densidade de estômatos geralmente tem correlação positiva com o fluxo total de fótons diários (Holmes e Cowling, 1993; Furukawa, 1997), não pela intensidade em si (Gaba e Black, 1983; Furukawa, 1997).

A área foliar específica está positivamente correlacionada com a espessura da folha (Niinemets, 1999) e com a densidade (Wilson *et al.*, 1999). Menor disponibilidade de recursos no ambiente, como a luz e nutrientes minerais, geralmente está associada com

maior a área foliar específica, tendo alta variação dentro de indivíduo (Wilson *et al.*, 1999), devido à diferença na radiação recebida pelas folhas (Farnsworth e Ellison, 1996), além da influência da maturidade da folha (Langenheim *et al.*, 1984).

Cloroplasto

As adaptações da estrutura do cloroplasto de plantas de sol e de sombra, ou folhas sob intensidades de luz alta e baixa estão definidas. Cloroplastos de sombra ou de baixa intensidade de luz, pouca luz vermelha e alta proporção de vermelho longo possuem mais membranas tilacóides e menos estroma do que os de sol, alta intensidade de luz, luz azul e luz deficiente em vermelho longo (Anderson, 1986). Em plantas umbrófilas, os tilacóides ocupam quase todo o volume do cloroplasto.

Folhas aclimatadas na sombra possuem mais clorofila por massa foliar (Minotta e Pinzauti, 1996), antena coletora do fotossistema II (FSII) maior e menor relação entre fotossistema II e fotossistema I (FSI) do que as aclimatadas no sol (Anderson e Aro, 1994). A clorofila está inserida nas membranas do tilacóide, portanto o aumento da quantidade de clorofila tem correlação com a maior área dos tilacóides nos cloroplastos que recebem menor fluxo de fótons ou mais luz vermelho longo (Anderson, 1986). No entanto, a concentração de clorofila por unidade de área não tem apresentado resultados consistentes entre folhas de sol e sombra (Percy, 2000). Como as folhas de sombra tem mais clorofila por unidade de massa, mas menos massa por área, geralmente tem-se concentrações similares de clorofila por unidade de área nas folhas de sombra e de sol.

A proporção de clorofila *a* em relação à clorofila *b* é menor nas folhas de sombra do que de sol porque a clorofila *b* é constituinte do complexo coletor de luz do FSII, enquanto a clorofila *a* está situado no centro de reação dos FSI e FSII (Percy, 2000). Como o complexo coletor de radiação do FSII contém 26 mmol de N mol⁻¹ de clorofila e o centro de reação do FSII contém 83 mmol de N mol⁻¹ de clorofila, haveria uma substancial economia de N, alocando a clorofila para complexo coletor de luz, principalmente para as folhas de sombra. Para as folhas de sol, esta estratégia não seria possível devido a necessidade de processar a energia fotoquímica nos centros de reação (Percy, 2000).

Nos cloroplastos de baixa intensidade de luz, a quantidade do complexo FSII (antena

coletora e centro de reação) é menor do que nos cloroplastos de alta intensidade de luz, que possui muitos complexos FS II (Anderson e Aro, 1994). A menor relação FSII/FSI nas folhas de sombra do que as de sol está relacionado com a distribuição do FSI nas lamelas e nas membranas do tilacóide em contato com o estroma, enquanto o FSII está inserida em toda membrana (Anderson *et al.*, 1997). O FSII encontrado nas lamelas e membranas do tilacóide voltadas para o estroma, denominado FSII α , possui antena coletora menor e menor quantidade de clorofila *a/b* do que o FSII β , localizado nas membranas do tilacóide dos grana (Anderson, 1986).

A quantidade de carotenóides e a porcentagem de xantofilas (violaxantina, anteroxantina e zeaxantina) em relação ao total de carotenóides nas folhas de sol são maiores do que nas folhas de sombra (Demmig-Adams e Adams, 1992), podendo variar ao longo da folha (He *et al.*, 1996). Com o aumento da intensidade luminosa, verifica-se mudança na composição das xantofilas através da conversão da violaxantina para anteroxantina e zeaxantina, regulando o fluxo de energia para o centro de reação (Demmig-Adams e Adams, 1992; Adams *et al.*, 1994). O aumento da zeaxantina foi constatada para nas folhas que receberam alta incidência de luz (Watling *et al.*, 1997) ou alta intensidade de luz associada com baixa temperatura (Adams III *et al.*, 1995), deficiência de nutrientes (Valladares *et al.*, 2000), nitrogênio (Ramalho *et al.*, 1997) e ferro (Morales *et al.*, 1994), ou alta temperatura (Bilger e Björkman, 1991).

Taxa fotossintética

A capacidade fotossintética máxima (A_{\max}) das espécies de sombra geralmente é menor do que as de sol (Holmes e Cowling, 1993; Kitajima, 1994; Rijkers *et al.*, 2000). Folhas aclimatadas sob sombra também apresentam, de um modo geral, menor A_{\max} que as aclimatadas sob sol (Ridloch *et al.*, 1991; Poorter e Oberbauer, 1993; Johnson *et al.*, 1997; Rijkers *et al.*, 2000). No entanto, A_{\max} de folhas de sombra pode ser semelhante àquela das folhas de sol (Langenheim *et al.*, 1984). Neste caso, A_{\max} nas plantas sob alta intensidade de luz pode estar limitada pela atividade da ribulose bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco) (Allen e Pearcy, 2000; Rijkers *et al.*, 2000). A quantidade de Rubisco nas folhas aclimatadas sob luz plena chega a ser cerca de 3 a 4 vezes mais do que nas folhas de

sombra (Virgin e Egneus, 1983).

Em condições naturais, a inibição da fotossíntese pode ocorrer em altas (Jiao e Grodzinski, 1996; Valladares e Pearcy, 1997) ou baixas temperaturas (Krivosheeva *et al.*, 1996), condições de deficiência hídrica (Valladares e Pearcy, 1997) ou deficiência nutricional (Godde e Dannehl, 1994; Minotta e Pinzauti, 1996), além de uma eventual inibição por excesso de luz (Long *et al.*, 1994).

A_{max} está relacionada com o conteúdo foliar de nitrogênio, contido nos aparatos fotossintéticos do cloroplasto (Evans, 1989). Existe uma alta correlação entre capacidade de assimilação de CO_2 e a concentração de nitrogênio por unidade de área foliar (Niinemets, 1999), mas Warren *et al.* (2000) não observaram essa relação para as plantas nativas da Austrália. Estes últimos autores ressaltaram que as estratégias de uso de recursos, entre plantas adaptadas à deficiência nutricional e aquelas bem nutridas, podem ser diferentes para o processo de fixação do carbono. A_{max} depende de vários fatores como síntese do ATP, componentes que transportam os elétrons e da capacidade de ajuste da planta perante às condições ambientais (Anderson e Eickmeier, 1998).

A fotossíntese no início da manhã ou na estação chuvosa geralmente é favorecida pela maior abertura dos estômatos, devido à umidade do ar mais elevada e temperaturas mais amenas (Schindler e Lichtenthaler, 1996; Singaas *et al.*, 2000). Variações diárias e sazonais na taxa de fotossíntese ocorrem na maioria das plantas devido às variações climáticas, radiação, temperatura do ar, umidade do ar e vento (Larcher, 2000).

Quando há excesso de radiação, temperatura alta, umidade do ar baixa ou alto déficit da pressão de vapor, pode ocorrer diminuição na taxa de fotossíntese líquida, mas, a atividade fotossintética depende também das condições nutricionais e climáticas e da capacidade de aclimação da espécie perante às mudanças destes fatores.

Fluorescência

No aparato fotossintético, a energia luminosa absorvida pelos pigmentos da antena é transferida para o centro de reação dos fotossistemas onde ocorre a reação fotoquímica e parte da energia é dissipada na forma de calor ou emitida como fluorescência da clorofila a (Krause e Weis, 1991; Maxwell e Johnson, 2000). Quando a reação fotoquímica ocorre no

seu máximo, cerca de 0,6% da luz absorvida é emitida como fluorescência, mas quando a fluorescência atinge o máximo, devido a competição na reação fotoquímica, apenas 3% da luz absorvida é emitida (Krause e Weis, 1991).

A fluorescência pode ser medida através da aplicação de pulsos de luz de frequência modulada (Schreiber *et al.*, 1995). Vários componentes são observados na curva de indução da fluorescência, com a aplicação de pulso de saturação nas folhas adaptadas ao escuro (Schreiber *et al.*, 1995). A fluorescência mínima da clorofila no escuro, F_0 , correspondente à emissão do acceptor de elétrons quinona A (Q_A) quando este está totalmente oxidado (centro de reação aberto). A fluorescência máxima, F_m , está relacionada com Q_A totalmente reduzida (fechado), quando a plastoquinona também está reduzida. A diferença entre os dois valores ($F_m - F_0$) é denominada fluorescência variável, F_v . O potencial máximo de rendimento quântico do fotossistema II ($F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$) é determinado com pulso de saturação de luz aplicado na folha adaptada no escuro (Schreiber *et al.*, 2000). Nas folhas adaptadas no escuro, o F_v/F_m obtido para 44 espécies foi de 0,83 (Björkman e Demmig, 1987).

Entre a fluorescência mínima e máxima existem duas fases correspondentes à reação fotoquímica e não fotoquímica. Estas fases dão origem à extinção da fluorescência pela conversão da energia fotoquímica (q_p) no processo de fotossíntese e pela dissipação da energia não fotoquímica (q_n) (Krause e Weis, 1991; Ruban e Horton, 1995). A eficiência fotoquímica do fotossistema II (ϕ_{FSII}) pode ser obtida por $(F_m' - F_t)/F_m'$ ou $\Delta F/F_m'$, que indica a proporção da luz absorvida pela clorofila utilizada na reação fotoquímica, ou rendimento quântico efetivo (Genty *et al.*, 1989). Os valores F_m' e F_t correspondem à fluorescência máxima sob iluminação e fluorescência no estado estável, respectivamente.

A manifestação de estresse na folha geralmente ocorre com o dano no fotossistema II, causado pela mudança na eficiência da extinção não fotoquímica e conseqüente variação no F_v/F_m (Maxwell e Johnson, 2000). Em condições de alta luminosidade, a redução no valor de F_v/F_m é devido a fotoinibição (Long *et al.*, 1994). Plantas aclimatadas sob baixa intensidade luminosa são mais suscetíveis à fotoinibição do que as de intensidade média e alta (Watling *et al.*, 1997), devido ao seu ponto crítico mais baixo. O decréscimo do F_v/F_m devido ao excesso de luz (Ögren e Evans, 1992; He *et al.*, 1996; Thiele *et al.*, 1998) é

recuperado sob baixa intensidade luminosa, mas depende do excesso de fótons absorvido e da intensidade luminosa na qual a planta foi aclimatada (Aro *et al.*, 1994).

Folhas sob sombra eventualmente recebem alto fluxo de fótons, importante para a fotossíntese diária, mas que pode danificar o aparato fotossintético. Folhas jovens, em geral, sofrem maior grau de fotoinibição que as folhas maduras, pois poucas unidades de clorofila por unidade de área são encontradas nas jovens (Krause *et al.*, 1995; Watling *et al.*, 1997), embora tenha maior quantidade de xantofilas presentes nas folhas jovens (Krause *et al.*, 1995; Dodd *et al.*, 1998). A capacidade de assimilação de CO₂ nas folhas jovens é também mais baixa (Watling *et al.*, 1997; Dodd *et al.*, 1998), refletindo o menor conteúdo de clorofilas, ou seja, para a mesma quantidade de luz incidente, as folhas jovens tem mais excesso de energia e maior excitação das clorofilas. Valores mais baixos de F_v/F_m , ao amanhecer, foram obtidos em folhas jovens do que maduras (Krause *et al.*, 1995; Watling *et al.*, 1997), demonstrando que a fotoinibição nas folhas jovens atinge a proteína D₁ o centro de reação (Krause *et al.*, 1995). Quando a capacidade de dissipação de energia não fotoquímica é ultrapassada, a fixação de CO₂ é restringida ou diminui a reação fotoquímica, ocorrendo a redução no F_v/F_m (Ruban e Horton, 1995).

Vários fatores estressantes, como baixa (Hakam *et al.*, 2000) ou alta temperatura (Schreiber *et al.*, 1995; Bigras, 2000; Lu e Zhang, 2000), deficiência hídrica (Lu e Zhang, 1998), deficiência nutricional de fósforo (Plesnicar *et al.*, 1994), nitrogênio (Lu e Zhang, 2000b), magnésio (Dreyer *et al.*, 1994; Laing *et al.*, 2000), ferro (Balakrishnan *et al.*, 2000) ou toxidez de alumínio (Moustakas e Ouzounidou, 1994) também podem reduzir o F_v/F_m .

MATERIAL E MÉTODOS

Experimentos de crescimento

Foram realizados dois experimentos para avaliar o crescimento inicial de baru (*Dipteryx alata* Vog.), incluindo três fatores: níveis de luz, solos (denominação por fitofisionomia de origem) e progênes (Tab. 1). O delineamento experimental foi de parcela dividida em subparcelas inteiramente casualizados. Os níveis de luz formaram as parcelas, solos e progênes as subparcelas que foram distribuídas ao acaso dentro de 3 blocos. Cada vaso com uma planta cultivada representou uma repetição.

TABELA 1. Resumo dos experimentos de crescimento realizados com *D. alata* Vog.

Luz (% da radiação solar)	Fitofisionomia (Solo)	Procedência das sementes (árvore)	Avaliação(ões) Repe- destrutiva(s) tições	Total de plantas
Experimento 1				
10	Cerrado	Paracatu	310 a 325 dias*	3
50	Cerradão Distrófico Mata Semi-decídua	(33 e 66)		36
Experimento 2				
12,5	Cerrado	Paracatu	45 dias	3
25	Mata Semi-decídua	(33 e 59)	90 dias	216
50		Padre Bernardo	247 dias	
100		(3)		

*Uma repetição por semana.

Experimento 1

Os solos foram coletados da superfície até 20 cm de profundidade, em 1998, sob vegetação de Cerrado em Planaltina, DF, de Cerradão em Padre Bernardo, GO, e de Mata em Alto Paraíso, GO. Após peneirado (malha de 4 mm), 3 litros de solo foram acondicionados em vasos plásticos pretos e umedecidos com água destilada até a capacidade de campo. Os vasos com sementes pré-germinadas foram levados para uma casa de vegetação na Estação Experimental da Universidade de Brasília, Brasília, DF.

A cobertura de plástico da casa de vegetação permitia a passagem de cerca de 50% da luz natural no seu interior ao meio dia, na altura das bancadas. Telhas de plástico transparente foram usadas no seu interior para obter redução para cerca de 10% da luz natural.

O sistema de resfriamento da casa de vegetação consistia de dois ventiladores opostos ao bloco de refrigeração com água corrente sobre a argila expandida.

As sementes foram colhidas de Paracatu (MG), em 1998, de árvores de *Dipteryx alata* Vog. marcadas com placas de alumínio. Estas árvores foram selecionadas pela diferença no tamanho de suas sementes (Sano *et al.*, 1999), boas condições de sanidade da árvore e alta produção de frutos. O peso médio de sementes e desvio padrão foi de $0,89 \pm 0,06$ g para a árvore 33, e $1,15 \pm 0,12$ g para a árvore 66, no ano de 1998. As sementes isoladas dos frutos foram pré-germinadas em papel umedecido com água destilada. Após a emissão da radícula, foram transferidas para os vasos, colocando-se horizontalmente a 2,5 cm de profundidade da superfície do solo umedecido e adicionadas mais 50 ml de água.

As mudas foram irrigadas de acordo com a necessidade, até duas vezes ao dia nos dias mais quentes, evitando escoamento e excesso de água.

Foram mensuradas o crescimento em altura das mudas, comprimento dos entrenós, diâmetro do caule a 2,5 cm da superfície do solo e emissão de folhas.

Antes da avaliação destrutiva, amostras de folhas foram retiradas, colocadas em vidros envoltos com papel alumínio contendo etanol absoluto, para análise de clorofila. A parte aérea foi cortada e cada órgão foi separado e levado para estufa a 65 °C para secagem, para determinação de matéria seca. Os solos foram retirados dos vasos e amostras de cerca de 100 g foram separadas para avaliação de esporos de fungos micorrízicos arbusculares. As raízes foram lavadas e 500 mg de massa fresca foram separadas e congeladas para posterior avaliação da colonização por fungos micorrízicos. A matéria seca da raiz secundária foi obtida com o restante.

A associação simbiótica com microorganismos foi verificada através da observação de nodulação, colonização radicular e presença de esporos de fungos micorrízicos arbusculares no solo. Os esporos foram isolados de 50 ml de solo, por peneiramento via úmida. A clarificação e coloração de raízes pelo realizada pelo método de Phillips e

Haymann (1970). A colonização micorrízica foi observada abrindo-se a raiz com estiletes sob lupa, ou colocando-se a raiz entre a lâmina e laminula e esmagando-a para avaliação sob microscópio.

Experimento 2

Os solos foram coletados nos mesmos locais do experimento anterior, em 1999, em Planaltina, DF, e Alto Paraíso, GO. Após peneirados e colocados em garrafas tipo "pet" de 2 litros perfurados no fundo, foram levados para o local definitivo sobre bancadas com irrigação automática, no viveiro da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. Cada garrafa foi coberta individualmente com um saco plástico de polietileno preto sem fundo para minimizar a interferência da luz na flora edáfica.

Redução na intensidade de luz foi estabelecida através de telas de sombrite preta sobrepostas, obtendo-se 50%; 25% e 12,5% de luz ao meio dia. Estes três níveis de luz ficaram dentro de uma área contínua com cobertura lateral para 50% de sombreamento, e isoladamente ao lado desta, permaneceu a parcela de luz plena.

Sementes de *D. alata* Vog. foram colhidas de duas árvores numeradas em Paracatu, MG; e uma de Padre Bernardo, GO, respectivamente, 33, 59 e 3. Como a árvore 66, cujas sementes foram utilizadas no Exp.1, não produziu frutos em 1999, esta foi substituída pela árvore mais próxima 59, dentro do município de Paracatu, segundo características morfológicas semelhantes de fruto e semente obtidas por Sano *et al.* (1999). O peso médio e desvio padrão de sementes da árvore 33 foi de $1,05 \pm 0,11$ g; $1,66 \pm 0,19$ g para árvore 59 e $1,79 \pm 0,20$ g para árvore 3, no ano de 1999.

O processo de semeadura foi o mesmo do Exp. 1.

A irrigação foi feita por micro-aspersão, de acordo com a necessidade geral das mudas, chegando a receber três regas diárias nos dias mais quentes e secos. A frequência e o tempo de irrigação foram as mesmas para todas as plantas, estando também sujeitas à chuva. O excesso de água era escoado naturalmente pelos orifícios das garrafas.

Foram realizadas três avaliações destrutivas, aos 45, 90 e 247 dias após a semeadura. Plantas para cada avaliação foram previamente escolhidas e colocadas juntas na instalação do experimento. A posição dos tratamentos em cada bloco dentro de cada nível de luz, foi

sorteada e mantida na mesma posição até a avaliação final. Os vasos ficaram mais espaçados entre si, após cada avaliação destrutiva.

O crescimento em altura e diâmetro do caule a 3 cm do solo foram mensuradas quinzenalmente, e contados o número de folhas.

A cada uma das avaliações destrutivas foram tomadas medidas de área foliar; altura dos entrenós; matéria seca do caule, raquis, folíolos, raízes principal e secundária; e comprimento de raiz. A área da folha foi obtida separando os folíolos do raquis, utilizando o medidor de área foliar AAC 400, marca H. Denkoh. A parte alada do raquis alado, que deve contribuir para assimilação de CO₂, não foi avaliada. Cada órgão foi pesado separadamente, como realizado no Exp. 1.

Para medida de comprimento, as raízes frescas ou descongeladas foram espalhadas na bandeja de vidro, e a imagem capturada pelo scanner HP via DeskScan II. As imagens foram gravadas como foto branco e preto, no formato TIF, onde permite recuperar informação sobre a resolução utilizada. A gravação da resolução utilizada é importante na contagem de pixels para obter a estimativa das medidas. As imagens foram binarizadas através do programa Photoshop, e o comprimento da raiz foi estimado pelo método "Dt Scan generic" (Kirchhof e Pendar, 1993) através do programa computadorizado Dt Scan.

A análise de nutrientes foliares foi realizada após 90 dias de cultivo, utilizando-se todos os folíolos e raquis de cada muda. O material seco a 65 °C foi moído e digerido por uma solução de ácido perclórico e peróxido de hidrogênio na proporção de 2:1, exceto para análise de B. O nitrogênio foi determinado por colorimetria; K e Na por fotometria de chama; e os outros elementos por espectrometria de emissão por plasma.

A associação simbiótica com microorganismos foi verificada nas plantas de 90 e 247 dias de cultivo. As raízes para observação de micorriza foram tratadas segundo Koske e Gemma (1989), para melhorar a visibilidade das hifas no córtex radicular de baru, de alta densidade e espessura. Para coloração da estrutura dos fungos, foi utilizada 0,01% de azul de trípano em solução de glicerina ácida. A colonização foi avaliada sob lupa, colocando-se as raízes coradas em placas quadriculadas com 0,5 polegada de espaçamento. A percentagem de colonização foi obtida através da contagem da presença ou não de estruturas de fungos em 200 pontos de intercepção da raiz com a linha da placa (Giovannetti e Mosse, 1980).

Fotossíntese e fluorescência

As medidas de assimilação de CO_2 e fluorescência foram feitas nos folíolos intermediários da folha mais nova inteiramente expandida. Medidas de trocas gasosas foram feitas com analisador de gás infravermelho, modelo LCA-4, marca ADC, acoplada à câmara para folha larga. Para folíolos com áreas menores que a área útil da câmara do analisador de gases, foi estimada a área com auxílio de um guia de plástico transparente quadriculado com espaçamento de 0,5 cm, totalizando $6,25 \text{ cm}^2$, colocada sobre o vidro inferior da câmara. A área estimada foi digitada no "logger" do analisador, dentro do intervalo de cerca de dois minutos decorridos entre a inserção da câmara sobre o folíolo e o registro dos valores de trocas gasosas obtidas.

A avaliação da assimilação de CO_2 foi feita em folíolos na sua posição natural, durante o período da manhã entre 8 e 12 horas, ou até às 18 horas. No experimento 2, plantas sob as quatro intensidades de luz foram avaliadas, obtendo-se diferentes incidências de luz. A ordem das medidas para tratamento de luz foi previamente sorteada para cada repetição. Para tratamentos de solo e progênie, a posição e seqüência de cada planta dentro de cada bloco sorteada no início do experimento foi mantida.

As curvas de luz para assimilação de CO_2 foram medidas no local do experimento, durante o período matutino. A redução máxima da DFF foi feita com auxílio de papel alumínio e papel vegetal, retirando-se os papéis sobre a câmara para obter diferentes densidades de fluxo de fótons ativos na fotossíntese (400 a 700 nm, DFF). O folíolo que recebeu luz solar foi inserido na câmara, as medidas registradas deixando um intervalo de 2 min. após cada aumento no nível de luz. No Exp. 2, as medidas de curvas de luz para assimilação de CO_2 foram iniciadas com as plantas sob plena luz, e em seguida as plantas com 50% de luz, para melhor aproveitamento da luz natural.

A temperatura da folha foi calculada com base no balanço de energia, pelo aparelho analisador de gases, para os experimentos 1 e 2.

Foi avaliada a inclinação de dois folíolos em relação à horizontal, nas duas últimas folhas mais novas das plantas, com clinômetro. Estas medidas foram tomadas nas plantas da última avaliação, no mês de fevereiro, e posteriormente avaliadas a taxa fotossintética e fluorescência no Exp. 2.

As concentrações da clorofila *a* e *b* nos folíolos foram calculadas segundo as equações de Knudson *et al.* (1977), extraindo-se os pigmentos com etanol absoluto e medindo a absorvância através do espectrofotômetro Shimadzu.

Os estômatos foram contados em plantas coletadas aos 90 e 247 dias, do Exp. 2. As imagens capturadas da película de esmalte transparente contendo impressão da lâmina foliar abaxial foram gravadas em arquivos para contagem posterior, na tela de computador. Na impossibilidade de obter imagem nítida, devido à irregularidade na profundidade, a contagem foi feita ao vivo. As imagens aumentadas com objetiva de 20x foram captadas através de câmara Sony CCD-IRIS/RGB, modelo DXC 151A, acoplada ao microscópio Zeiss Axiophot. Uma área fixa de $27,72 \mu\text{m}^2$ foi transmitida para a tela do computador pelo programa KS 300.

A fluorescência da clorofila foi obtida com fluorômetro modelo PAM-2000, marca Walz. As medidas foram tomadas com a fibra óptica (2010-F) acoplada ao cabo (2030-B) contendo micro-sensor para radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e temperatura. Os dados foram armazenados no minicomputador HP 200LX, através do programa DA-2000 e posteriormente transferidos para o microcomputador para análise.

Para verificar a ocorrência de fotoinibição nas plantas sob pleno sol, a fluorescência da clorofila foi medida na manhã após um dia de sol, antes da incidência da luz solar nos folíolos. A fibra óptica foi colocada na posição 3 (10 mm de distância) do cabo fixador de fibra, ajustado para maior ou menor distância quando acionado o sinal de alerta. Foram seguidas dois protocolos de medidas. Quando apenas plantas cultivadas sob luz plena e 50% de luz foram avaliadas, as medidas foram feitas dentro de cada intensidade luminosa. Quando plantas cultivadas sob as quatro intensidades de luz foram avaliadas, as medidas foram tomadas sorteando-se a seqüência das repetições e dos tratamentos de luz. As medidas foram tomadas para três folíolos por planta, da mesma folha sempre que possível. Foi utilizado a programação 2 ("run 2"), que consta no aparelho, para obter valores de F_v/F_m . Neste caso, é aplicado um pulso modulado de 600 Hz de frequência e 3 μs de duração para obter a fluorescência mínima, F_0 , seguida de outro pulso modulado de saturação de 20 kHz de frequência, intensidade 8 por 0,8 s para obter a fluorescência máxima, F_m (Walz, 1993). Os valores de F_v/F_m são calculados automaticamente e armazenados no arquivo pelo programa DA-2000.

Análise estatística

A análise de variância foi realizada através do programa estatístico JMP (versão 3.2.2; SAS Institute, Cary, USA). Foi feito teste F para comparação dos tratamentos pelo método de quadrados mínimos ("LS means") usando análise de variância fatorial (níveis de luz, solos e progênies). Para comparação entre duas médias foi utilizado o teste t , e a diferenciação entre mais de duas médias foi feita através do teste de comparação múltipla de Tukey-Kramer (HSD), ao nível de 0,05.

RESULTADOS

Solo

Os três solos utilizados, de 0 a 15 cm de profundidade, formaram gradiente de pH e de alumínio (Tab. 2). O solo coletado na Mata Semi-decídua, Podzólico Vermelho Amarelo, em Alto Paraíso, GO, foi o único solo mesotrófico. Os macronutrientes cálcio e fósforo apresentaram valores mais altos no solo sob Mata em relação aos de Cerradão distrófico e Cerrado. Valores maiores de K foram obtidos em Mata e Cerradão distrófico do que em solo de Cerrado. O solo sob Cerrado, Latossolo Vermelho Escuro, apresentou o mais baixo nível de nutrientes, pH e mais alto alumínio. O solo sob Cerradão, Latossolo Vermelho Amarelo, teve valores mais altos para os micronutrientes cobre e ferro em relação aos outros. Maior disponibilidade de manganês foi obtido em Cerradão, dentre os solos do primeiro experimento, mas foi detectado a maior concentração no solo sob Mata utilizado no segundo experimento.

As características físicas dos solos diferiram entre locais de coleta e cobertura vegetal (Tab. 3), tendo texturas franco arenosa, franco e argilosa, para Mata Semi-decídua, Cerradão Distrófico e Cerrado, respectivamente. Mais silte do que argila foi encontrado no solo de Cerradão Distrófico, e mais argila do que silte no Cerrado e na Mata Semi-decídua.

Os solos utilizados nos experimentos são denominados pela fitofisionomia de origem, Cerrado, Cerradão e Mata, caracterizando um dos primeiros critérios utilizados para escolha do solo. Aspecto geral do solo no experimento 1 é mostrado na figura 1.

Experimento 1

Ambiente

Na casa de vegetação, durante a realização do experimento (8/1998 a 4/1999), as temperaturas diárias mínima e máxima registradas foram de 11-16 °C e 30-41 °C. A umidade relativa (UR) mínima foi de 18-25% e máxima de 78-80%. O início do experimento foi na estação seca, com UR baixa e altas temperaturas máximas causadas pela limitação na ventilação e troca de ar com o ambiente externo. A cobertura plástica do teto pode ter selecionado radiação solar de maior energia, e a brita utilizada para a cobertura da superfície do chão também pode ter contribuído para absorver e emitir calor, aumentando a temperatura da casa de vegetação.

Tabela 2. Local de coleta, fitofisionomia e disponibilidade de nutrientes dos solos utilizados nos experimentos.

Local	Fitofisionomia	pH (água)	me/100ml			mg/kg					µg/kg		Matéria orgânica %	
			H + Al	Al	Ca + Mg	Ca	P	K	Cu	Fe	Mn	S		B
<i>Experimento 1</i>														
Alto Paraíso	Mata Semi-decídua	6,0	3,28	0	5,65	4,75	7,5	150	1,2	23,2	99,2	27,66	0,22	2,41
Padre Bernardo	Cerradão	5,2	5,20	1,65	1,42	0,70	0,9	140	2,3	159,9	100	25,36	0,73	1,69
Planaltina	Cerrado	4,8	7,92	2,03	0,31	0,20	0,5	55	1,2	59,4	5,7	29,97	1,29	2,41
<i>Experimento 2</i>														
Alto Paraíso	Mata Semi-decídua	6,0	3,18	0	6,54	5,45	9,8	223	0,6	41,9	143	8,48	0,34	2,55
Planaltina	Cerrado	4,4	8,22	1,55	1,0	0,64	0,1	58	1,0	110	13	14,84	0,54	2,91

Tabela 3. Fitofisionomia do local de coleta e características físicas dos solos utilizados nos experimentos.

Fitofisionomia	Classe	Textura	Saturação	Capacidade de campo	Ponto de murcha	Porosidade	Areia grossa	Areia fina	Argila	Silte	Silte/argila
<i>Experimento 1</i>											
Mata Semi-decídua	Podzólico	Franco	36	26	10	36	21	47	17	15	0,88
	Vermelho Amarelo	arenoso									
Cerradão	Latossolo Vermelho Amarelo	Franco	46	35	16	46	18	20	23	39	1,7
	Latossolo Vermelho Escuro	Argiloso	56	42	23	56	1	21	57	20	0,34
<i>Experimento 2</i>											
Mata Semi-decídua	Podzólico	Franco	41	26	10	41	21	50	15	14	0,93
	Vermelho Amarelo	arenoso									
Cerrado	Latossolo Vermelho Escuro	Argiloso	63	38	23	63	2	18	50	30	0,60

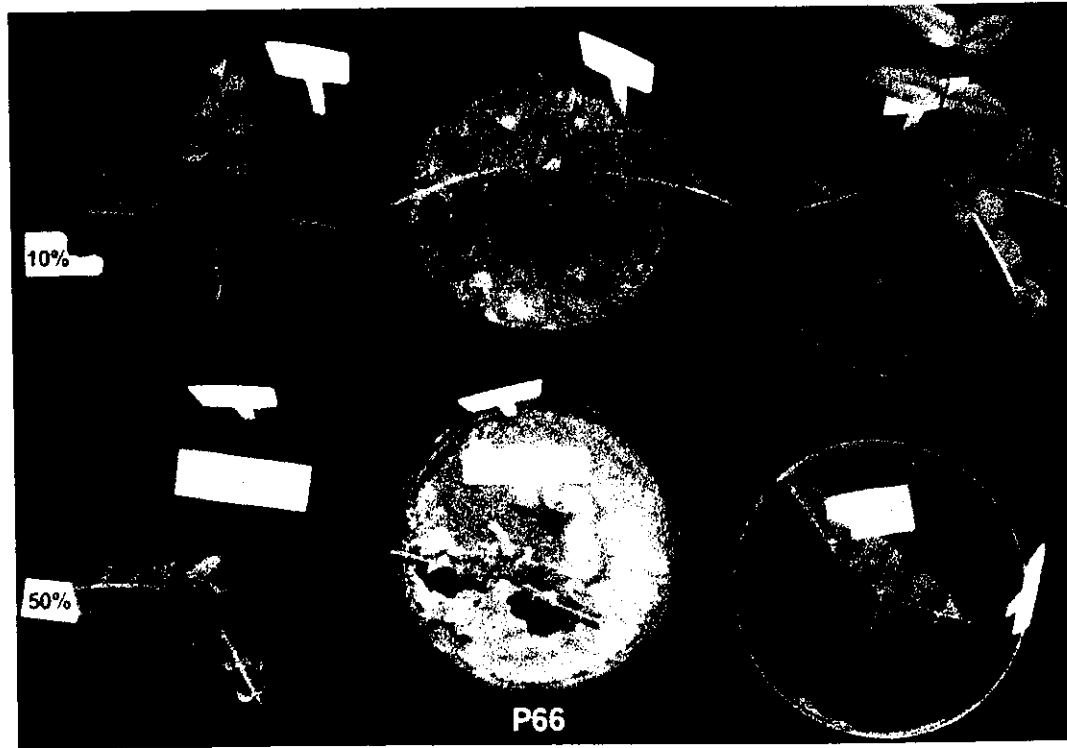


FIGURA 1. Aspecto geral de plântulas de *D. alata* Vog. cultivadas em três solos e dois níveis de luz em casa de vegetação (Exp. 1).

O curso diário de densidade de fluxo de fótons (DFF) não foi medida. As medidas de DFF tomadas ao meio dia (25/9/98) resultaram médias de $1922 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na área externa da casa de vegetação, $1079 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ no interior e $188 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ sob cobertura interna. Os últimos valores foram resumidos para 50% e 10% de luz em relação à luz plena.

Crescimento em altura

Diferenças no crescimento em altura não foram observados entre progênie 33 e 66, e os dados apresentados são médias das duas progênie. A maior taxa de crescimento em altura ocorreu principalmente nas primeiras dez semanas (Fig. 2a), ficando quase estagnada por cerca de oito semanas, voltando a crescer muito pouco. Plantas que receberam maior intensidade de luz tiveram altura menor (Fig. 2a). Plantas cultivadas em solo de Mata, sob 10% de luz, tiveram incremento quase contínuo em altura e em emissão de novas folhas (Fig. 2b), destacando-se das demais. Em solo de Cerrado e Cerradão, sob ambas as intensidades de luz, o desenvolvimento praticamente estagnou-se a partir de 10 semanas de plantio (Fig. 2a), apesar da emissão de novas folhas após 28 semanas (Fig. 2b).

O efeito da luz sobre o caule deve iniciar na emergência das plantas, pois a altura do caule até a inserção da folha primária foi menor na intensidade mais alta de luz (Fig. 2a, 3b). O primeiro entrenó da progênie 33 foi maior do que 66, e solo não teve efeito sobre esta variável (Fig. 3a).

O número de entrenós das plantas cultivadas em solo de Mata foi maior do que no Cerrado e Cerradão (Fig. 3a). O número total de entrenós foi igual para os dois níveis de luz, mas os dois últimos entrenós não podem ser observados nas plantas sob 50% de luz devido à menor altura dos entrenós, e menor número de plantas que os apresentaram (Fig. 3b). O número de entrenós foi maior na progênie 33 (11) do que 66 (9, Fig. 3c), mas a altura das plantas foi semelhante, devido a alguns dos entrenós mais longos da progênie 66.

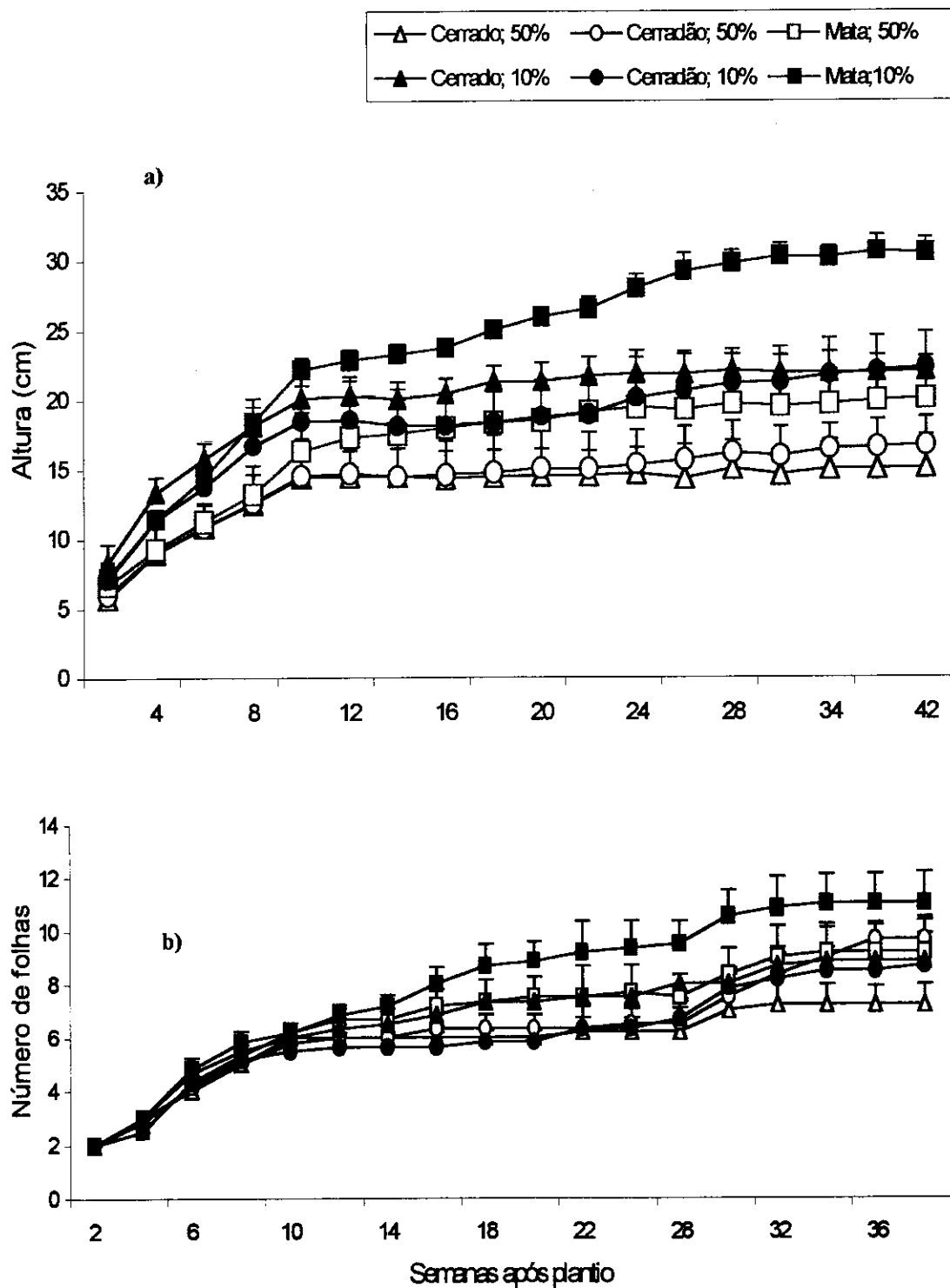


FIGURA 2. Crescimento em altura (a) e emissão de folhas (b) de *D. alata* Vog. cultivado sob duas intensidades de luz e três solos, em casa de vegetação. O primeiro ponto refere-se à altura da inserção da folha primária (Exp.1). Média de três plantas de duas progênies; barras verticais representam desvio padrão.

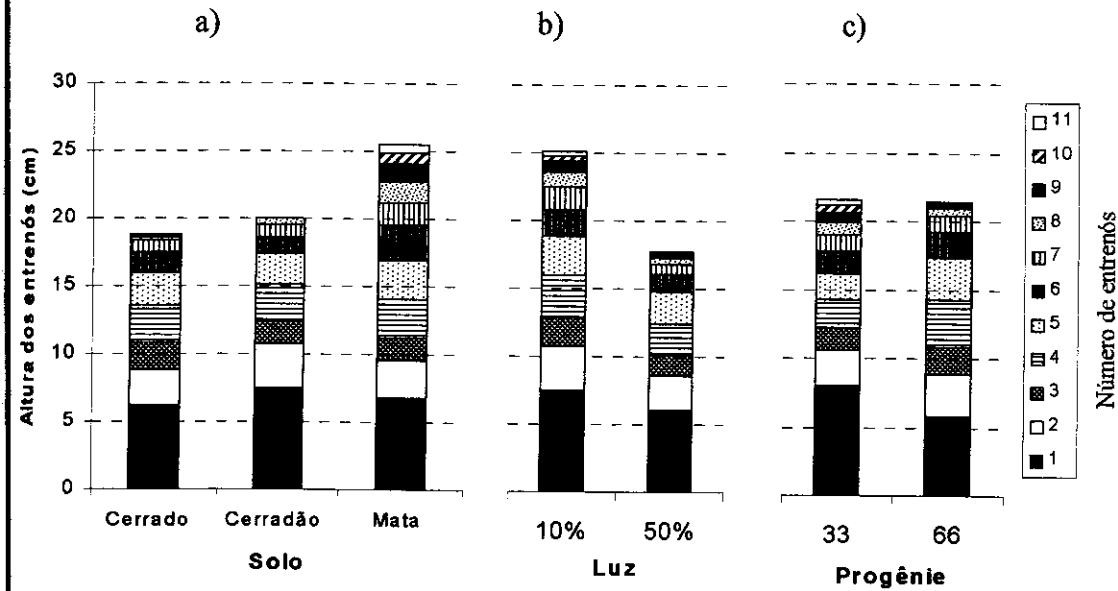


FIGURA 3. Altura e número de entrenós de *D. alata* Vog., cultivadas em três solos (a), duas intensidades luminosas (b) de duas progênies (c), em casa de vegetação. A coluna inferior refere-se a altura até a inserção da folha primária. (Exp. 1)

Produção de biomassa

O solo foi o fator que mais contribuiu na variação da produção de matéria seca total, de folha, caule, raiz e a razão raiz/parte aérea de *D. alata* Vog. aos 10 meses de idade (Anexo I). Mais matéria seca total foi produzida no solo de Mata do que Cerradão e Cerrado (Fig. 4a e c). A matéria seca total produzida no solo de Mata e Cerrado foi mais alta sob 10% de luz do que sob 50% de luz, não se observando diferença entre níveis de luz para o solo de Cerradão (Fig. 4a). Sob 10% de luz, não houve diferença na produção de matéria seca entre as duas progênies, mas sob 50% de luz, houve uma redução na matéria seca total das plantas da progênie 66 (Fig. 4b). A progênie 33 produziu mais matéria seca total na Mata do que Cerradão, seguida de Cerrado, mas plantas da progênie 66 alcançaram a mesma massa total nos solos de Cerradão e Cerrado, inferior ao da Mata (Fig. 4c).

Plantas cultivadas em solo de Mata tiveram produções mais altas de matéria seca de folha e caule, enquanto aquelas produzidas no solo de Cerrado foram as mais baixas (Tab. 4). Não houve interação entre solo e luz na matéria seca de caule e folha ($p < 0,05$), e diferenças na produção de matérias secas destes órgãos entre as duas intensidades de luz também não foram significativas (Tab. 4).

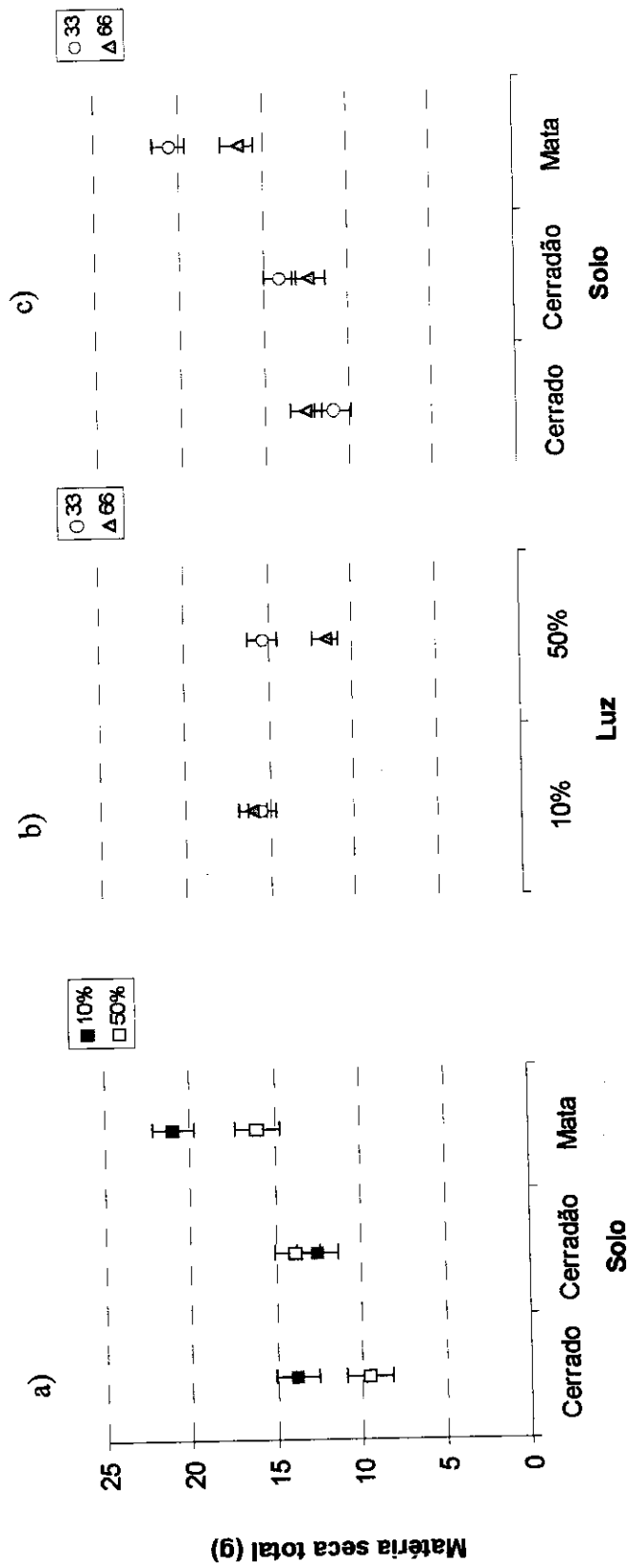


FIGURA 4. Matéria seca total de *D. alata* Vog. cultivadas em solos coletados de três fitofisionomias sob dois níveis de luz (a), de duas progênes (b) e comparação entre solos (c) (Exp. 1). Média de seis (a, c) e nove (b) plantas; barras representam erros padrões.

TABELA 4. Matérias secas (g) de folha e caule de *D. alata* Vog. após 310 a 325 dias de cultivo (Exp. 1).

Tratamentos	Cerrado	Cerradão	Mata	Total
<i>Folha</i>				
10%	2,64	3,28	5,80	3,91a
50%	1,95	3,40	4,25	3,27a
Total*	2,33c	3,34b	5,03a	
<i>Caule</i>				
10%	1,91	2,53	4,30	2,91a
50%	1,50	2,72	3,09	2,49a
Total*	1,73c	2,62b	3,69a	

*Médias totais seguidas de letras diferentes são significativamente diferentes ($p < 0,05$).

A produção de matéria seca de raiz total nos solos apresentou padrão diferente entre as duas progênies. A progênie 33 destacou-se pela maior matéria seca de raiz no solo de Mata seguida de Cerradão e depois Cerrado, enquanto a progênie 66 teve uma variação menor entre solos e menor produção de matéria seca no solo de Cerradão (Fig. 5a). No Cerrado, não houve diferença entre progênies (Fig. 5a). A matéria seca de raiz total das plantas também apresentou padrões distintos sob os dois níveis de luz. Plantas sob 50% de luz seguiram o gradiente de fertilidade na produção de matéria seca de raiz total, mas, a matéria seca da raiz sob 10% de luz no solo de Cerradão foi reduzida em relação aos outros solos (Fig. 5b).

A matéria seca de raiz principal nos três solos também apresentou padrões distintos para progênies. A progênie 33 seguiu um gradiente de fertilidade de solo, crescendo de Cerrado para Mata, semelhante à da matéria seca total da raiz (Fig. 6a), contrário da progênie 66 que teve redução nos solos de Cerradão em relação aos solos de Cerrado e Mata. Houve maior produção de raiz principal nas plantas cultivadas sob 10% de luz do que sob 50% de luz, no solo de Cerrado e Mata (Fig. 6b). O efeito da luz sobre a matéria seca de raiz principal foi similar à matéria seca total de raiz (Fig. 5b) devido à maior contribuição daquela no total.

A matéria seca de raiz secundária não apresentou diferença significativa entre tratamentos (dados não mostrados).

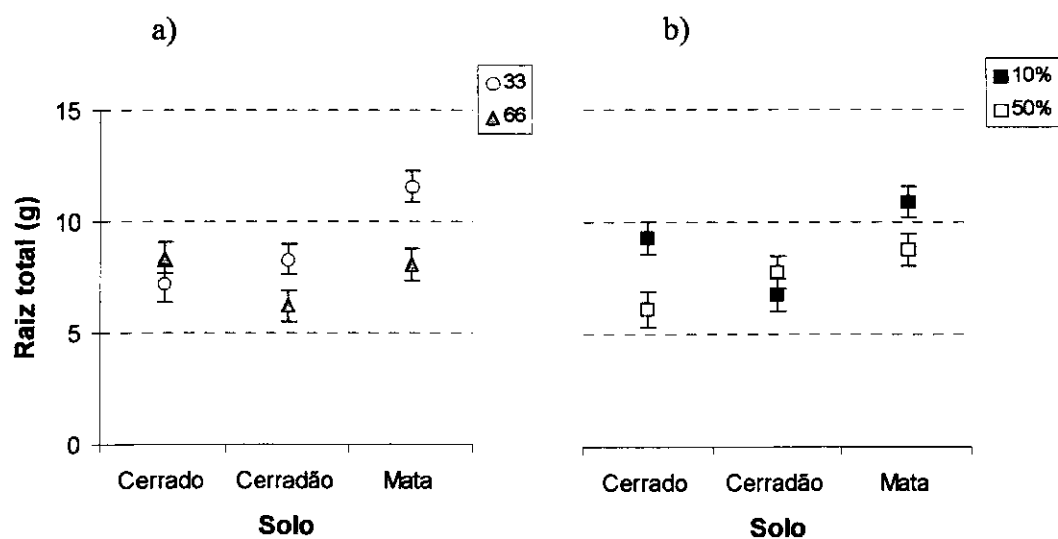


FIGURA 5. Matéria seca de raiz de duas progênies (a) de *D. alata* Vog. cultivadas sob duas intensidades de luz (b) em solos coletados de três fitofisionomias (Exp.1). As barras representam erros padrões.

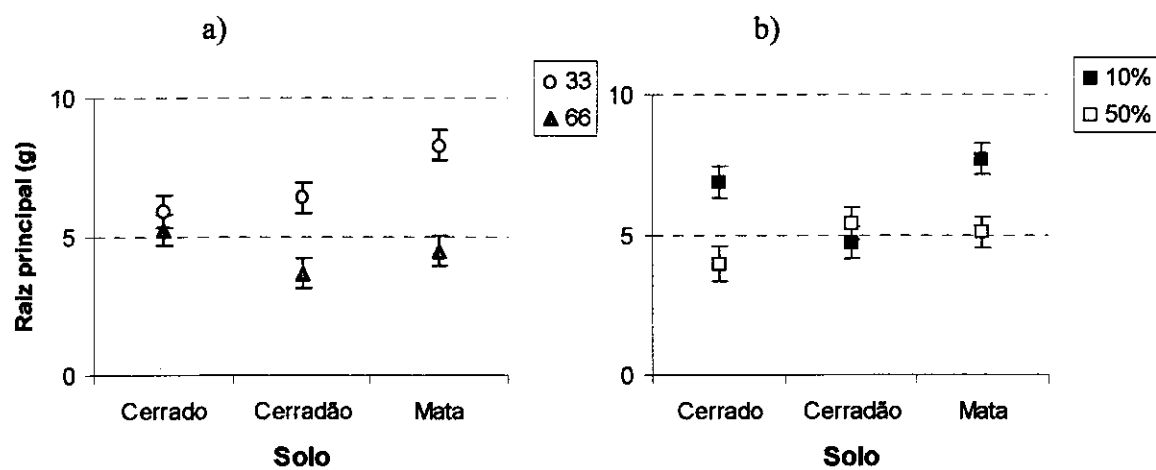


FIGURA 6. Matéria seca da raiz principal de duas progênies de *D. alata* Vog. cultivadas em solos coletados de três fitofisionomias (a), sob duas luminosidades (b) (Exp.1). As barras representam erros padrões.

Razão raiz/parte aérea

D. alata Vog. apresentou interação significativa para luz x solo x progênie para razão raiz/parte aérea (Anexo I). Não houve diferença na razão raiz/parte aérea entre níveis de luz e progênies para solos de Cerradão e Mata. Plantas cultivadas no solo de Cerrado apresentaram razão raiz/parte aérea superior às cultivadas nos solos de Cerradão e Mata, exceto a progênie 33 sob 50% de luz (Fig. 7a e b). No solo de Cerrado, a progênie 33 apresentou razão raiz/parte aérea mais alta sob 10% de luz do que sob 50% de luz (Fig. 7a); enquanto a progênie 66 não apresentou diferença significativa entre os dois níveis de luz (Fig. 7b).

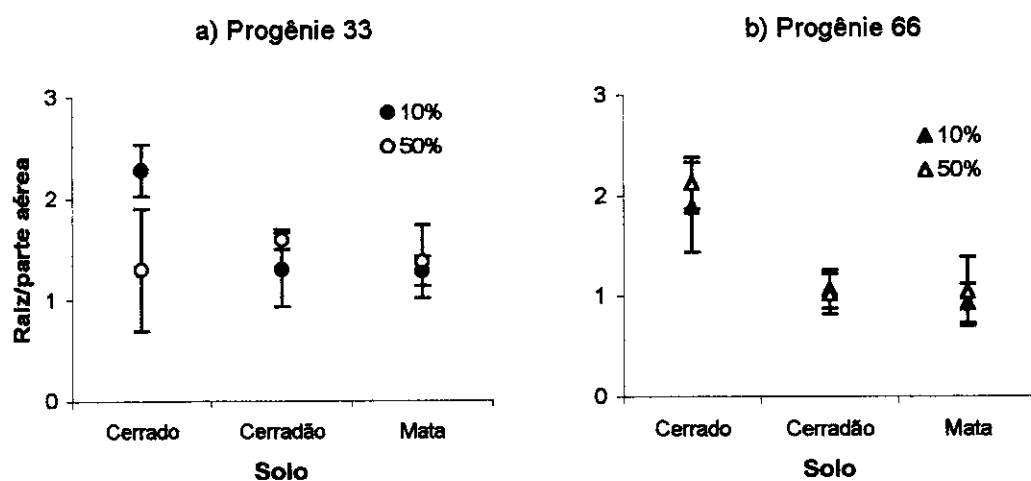


FIGURA 7. Raiz/parte aérea das progênies 33 (a) e 66 (b) de *D. alata* Vog. cultivadas em três solos, sob dois níveis de luz, após 300 a 310 dias, em casa de vegetação (Exp. 1). Média de três plantas; barras verticais representam desvios padrões.

Experimento 2

Ambiente

No viveiro, durante a realização do experimento (11/1999 a 6/2000), as temperaturas diárias mínima e máxima registradas foram 9-19 °C e 25-33 °C, respectivamente. A umidade relativa mínima variou de 37 a 63% e máxima de 85 a 98%. O experimento foi instalado na estação chuvosa, com UR diária variando entre 50% a 95% e temperatura entre 19 a 28 °C, sob sombrite. A evaporação do solo, umedecido pelo sistema de irrigação por micro-aspersão, pode ter contribuído com o aumento da umidade relativa do ar.

Os valores médios de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFF) obtidos nos três sombreamentos ao meio dia do dia 11/05/00 foram próximos aos estabelecidos no início do experimento (Tab. 5). A integração das curvas diárias de incidência de luz mostraram que valores relativos do total de fótons diário incidente sobre as plantas foram menores que aos valores relativos de DFF máximos (Tab. 5), para os níveis intermediários de luz. No entanto, o nível mais baixo de luz recebeu um fluxo total ligeiramente maior, de 15% do total de fluxo de fótons recebido pelas plantas sob luz plena.

Tabela 5. Densidade de fluxo de fótons (DFF) máximo, total de fluxo de fótons e suas percentagens em relação à luz plena obtidos no viveiro em um dia claro sem nuvens, dia 11/05/2000 (Exp. 2).

% Radiação solar estabelecida	DFF máximo* ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	% DFF máximo	DFF total diário (mol m^{-2})	% total diário
100	1751 \pm 30	100	40,86	100
50	840 \pm 27	47,9	18,54	45,4
25	430 \pm 27	24,5	8,58	20,9
12,5	260 \pm 35	14,8	6,12	14,9

*Média \pm desvio padrão de quatro medidas ao meio dia.

Num dia claro sem nuvens (Fig. 8a), a redução em 50% de luz incidente ao meio dia resultou na redução proporcional de luz ao longo do dia. Mas, os tratamentos com 12,5% e 25% de luz receberam praticamente a mesma densidade de fluxo de fótons durante as primeiras e últimas duas horas do dia (Fig. 8a), devido a ausência de sombrites adicionais nas laterais. Estas sombrites não foram colocados para evitar distúrbios na irrigação por micro-aspersão.

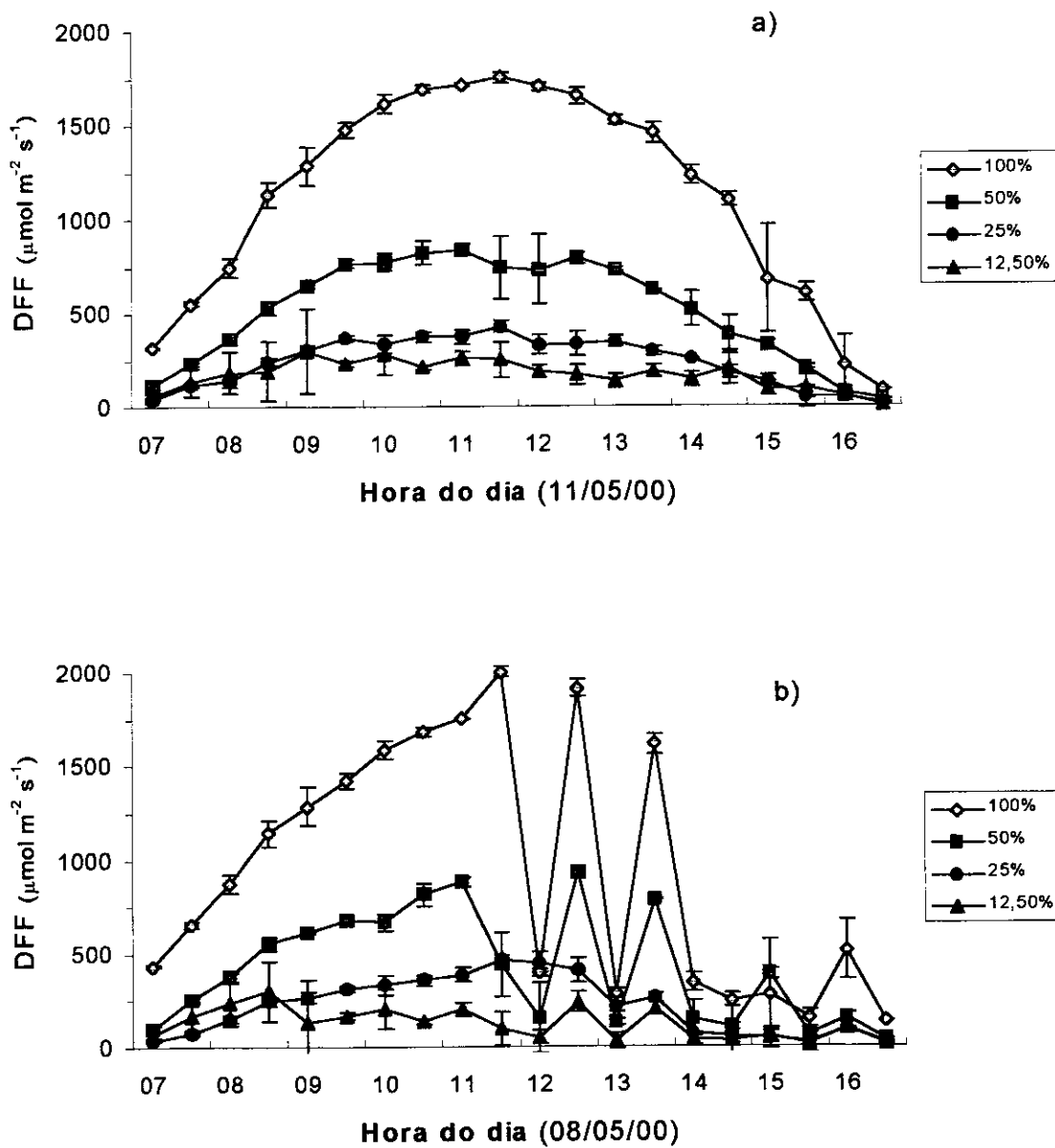


FIGURA 8. Curva diária de incidência luminosa nos quatro níveis de sombreamento, em: a) dia sem nuvem e b) dia nublado à tarde. (Média de 3 medidas com intervalo de 30 min, iniciado às 7:10h; as barras representam desvio padrão).

Durante o período deste experimento, dias sem chuvas como apresentada na Fig. 8a foram mais raros que dias como a da Fig. 8b. Nesta figura, pode ser observada a DFF de um dia sem nuvens de manhã e céu encoberto à tarde, que podem ser acompanhadas de precipitações ou não. A variação freqüente e irregular da DFF, na presença de nuvens passageiras, dificilmente pode ser mostrada em medidas realizadas a cada 30 min.

Crescimento em altura

Não houve diferença na altura das plantas cultivadas nos solos de Mata e Cerrado no Exp. 2 (Tab. 6). A variação na altura foi observada entre progênes aos 45, 90 e 247 dias de cultivo, e pela luz aos 90 e 247 dias (Tab. 6). A progênie 3 teve maior crescimento em altura em relação às progênes 33 e 59, e não houve diferença entre as duas últimas (Fig. 9b). Plantas sob luz plena alcançaram altura menor do que as plantas sombreadas (Fig. 9a). Maior incremento em altura também ocorreu nas onze primeiras semanas (Fig. 9a e 9b).

Não houve diferença significativa na altura do primeiro entrenó entre progênes e entre solos no Exp. 2 (Tab. 6). Apenas a luz afetou a altura do caule até as folhas primárias (Tab. 6). Menor altura do primeiro entrenó foi obtida para luz plena, maior para 12,5% de luz, e não houve diferença nas duas intensidades intermediárias entre plantas cultivadas por cerca de 8 meses (Fig. 10b). A altura dos entrenós seguintes variou também com a luz e progênie. Nota-se os segundo e terceiro entrenós maiores para a progênie 3 (Fig. 10c). A altura dos entrenós diminuiu com a ontogenia; a freqüência de plantas que apresentou os últimos entrenós também variou, ficando difícil a sua visualização na Fig. 10.

Mais entrenós foram produzidos no solo de Mata (8) do que no de Cerrado (6) no Exp. 2 (Fig. 10a); como no Exp. 1. Maior número de entrenós foi obtido em plena luz (8) e menor sob 25% (6), ficando as outras intensidades na posição intermediária (7), dados pouco visíveis na Fig. 10b. Plantas da progênie 3 produziram mais entrenós (8) do que as outras (7).

TABELA 6. Valores de F obtidos por análise de variância da altura total do caule e altura do caule até a inserção das folhas primárias e área basal do caule aos 2,5 cm do solo de *D. alata* Vog. (Exp. 2).

Fonte de variação	GL	45 dias	90 dias	247 dias
<i>Altura do caule</i>				
Solo	1	0,10	1,44	3,27
Luz	3	2,61	8,09***	9,05***
Progênie	2	5,17**	16,53***	11,36***
Solo x luz	3	0,90	2,4	1,12
Solo x progênie	2	0,56	2,53	0,35
Progênie x luz	6	0,41	1,04	0,60
Solo x progênie x luz	6	0,97	1,6	1,06
<i>Altura até 1a. folha</i>				
Solo	1	0,12	2,74	1,84
Luz	3	4,49**	7,03***	10,68***
Progênie	2	0,59	1,21	0,97
Solo x luz	3	1,63	1,09	0,28
Solo x progênie	2	0,37	0,3	1,48
Progênie x luz	6	1,38	1,2	1,28
Solo x progênie x luz	6	1,26	1,8	0,96
<i>Área basal do caule</i>				
Solo	1	0,05	1,6	8,66**
Luz	3	2,39	0,17	1,89
Progênie	2	42,36***	33,06***	23,00***
Solo x luz	3	0,65	1,11	2,05
Solo x progênie	2	0,19	1,56	0,74
Progênie x luz	6	1,16	2,39*	1,84
Solo x progênie x luz	6	1,05	1,01	0,53

P < 0,05; ** P < 0,01 e *** P < 0,001.

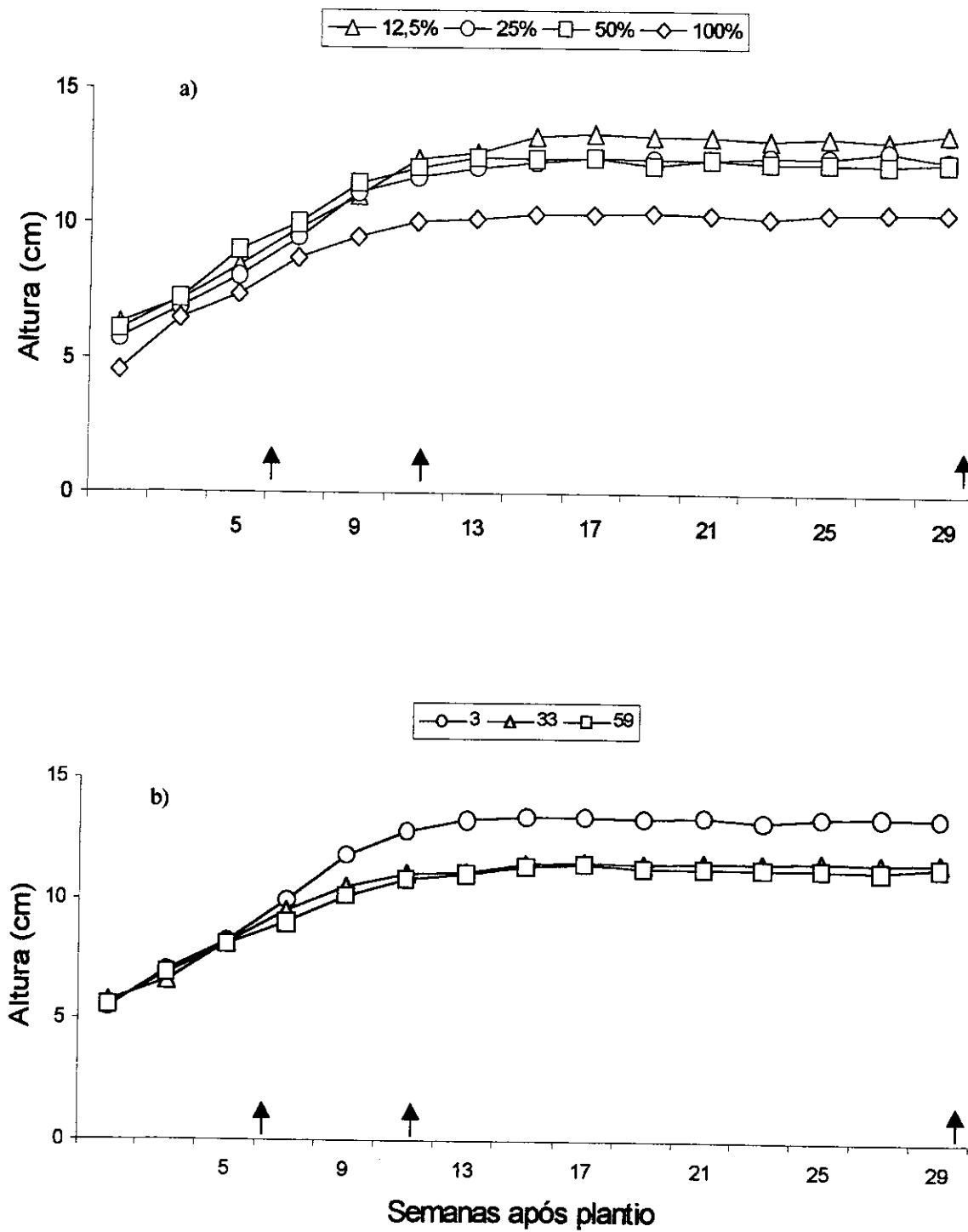


FIGURA 9. Crescimento em altura de *D. alata* Vog. sob quatro intensidades de luz (a), de três progênies (b), no viveiro (Exp. 2). Primeiro ponto refere-se à altura até a folha primária; as flechas indicam as avaliações destrutivas.

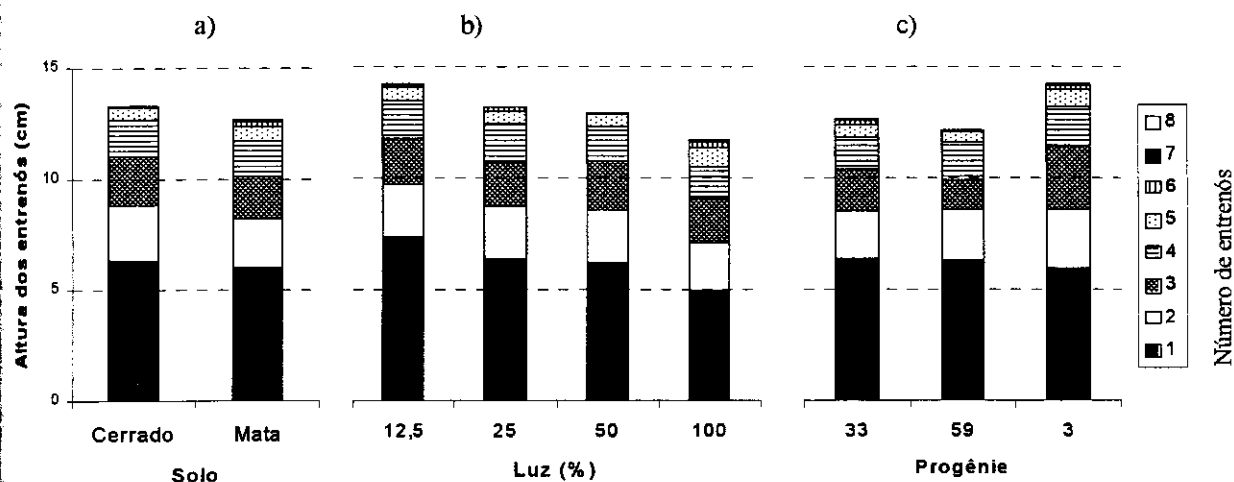


FIGURA 10. Diferenças na altura e número dos entrenós causado pelo solo (a), intensidade de luz (b) e progênie (c) de *D. alata* Vog., cultivado em viveiro por 247 dias. A coluna inferior refere-se a altura até a inserção da folha primária. (Exp. 2)

Área basal

A área basal do caule de *D. alata* Vog. foi afetada pela progênie desde aos 45, 90 e 247 dias de cultivo, tendo o solo contribuído para a sua variabilidade aos 247 dias (Tab. 6). A progênie 33 teve menor área basal caulinar, a 2,5 cm do colo, enquanto a progênie 3 foi a maior nas três avaliações destrutivas (Tab. 7). Plantas cultivadas no Cerrado ($61,1 \text{ mm}^2$) apresentaram área basal superior ao da Mata ($53,2 \text{ mm}^2$), após 247 dias.

Tabela 7. Área basal (mm^2) do caule a 2,5 cm das progênies de *Dipteryx alata* Vog. nas três avaliações destrutivas. Média de 24 plantas \pm desvio padrão.

Progênie	45 dias	90 dias	247 dias
3	$29,3 \pm 5,9$	$30,7 \pm 7,5$	$65,2 \pm 13,7$
33	$15,3 \pm 4,1$	$17,3 \pm 4,5$	$44,4 \pm 9,1$
59	$27,4 \pm 6,9$	$29,3 \pm 8,1$	$61,8 \pm 14,2$

Comprimento de raiz

A luz não afetou o comprimento da raiz secundária de plântulas de *D. alata* Vog., após 45 dias de semeadura. As progênies 3 e 59 apresentaram raízes secundárias mais longas em solo de Cerrado do que de Mata, enquanto a progênie 33 apresentou raiz mais

curta no solo de Cerrado em relação às outras progênes (Fig. 11). O comprimento das raízes nos solos de Mata foram semelhantes entre progênes.

Raízes secundárias de plantas cultivadas em solo de Cerrado continuaram mais longas do que de Mata, aos 90 dias (Fig. 12). A diferença no comprimento de raiz secundária entre progênes. Os níveis de luz tiveram pouco efeito sobre o comprimento da raiz secundária, com uma tendência de maior comprimento de raiz sob 50% de luz. Os valores apresentados na Fig. 12 são menores do que as produzidas pelas plantas, devido a retirada de amostras de 0,5 g de massa fresca de raiz para análise de colonização micorrízica.

Área foliar

Variações na área foliar ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) de *D. alata* Vog. foram observadas para progênie aos 45 e 90 dias, luz aos 90 e 247 dias, e solo aos 247 dias de cultivo no viveiro (Anexo II). A progênie 33 apresentou a menor área foliar aos 45 e 90 dias. As progênes 59 e 3 tiveram área foliar média similar aos 45 dias, mas aos 90 dias, a progênie 3 apresentou maior área foliar seguida da progênie 59 (Tab. 8). Aos 247 dias, não foi observada diferença significativa na área foliar entre progênes (Anexo II). As progênes 3 e 59 aumentaram a área foliar entre 45 e 90 dias, mas, devido à queda foliar, houve decréscimo aos 247 dias. A progênie 33 teve o menor aumento na área foliar entre 45 e 90 dias, e não apresentou queda foliar até 247 dias (Tab. 8).

Plantas sob luz plena tiveram área foliar menor do que plantas sombreadas, aos 90 e 247 dias (Tab. 8). A área foliar das plantas sob 12,5% e 25% foram similares aos 90 dias, e também das plantas cultivadas sob 12,5% e 50% aos 247 dias. A redução da área foliar aos 247 dias ocorreu em todas as intensidades de luz.

Não houve diferença significativa nas áreas foliares de *D. alata* Vog. entre solos aos 45 e 90 dias (Tab. 8). Aos 247 dias, a área foliar das plantas cultivadas no solo de Mata foi menor que as das plantas no Cerrado (Tab. 8), devido à maior queda de folhas nas plantas cultivadas no solo de Mata.

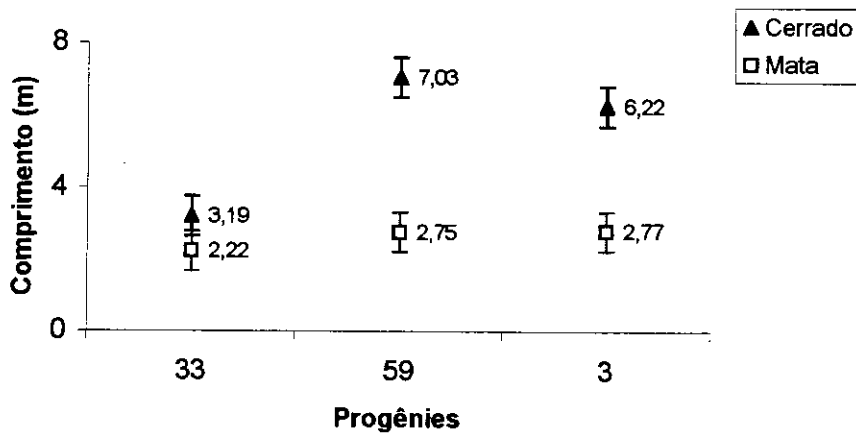


FIGURA 11. Comprimento de raízes secundárias das progênies de *D. alata* Vog. aos 45 dias de cultivo, nos solos de Cerrado e Mata. Os números representam médias de três plantas cultivadas sob quatro níveis de luz, e as barras verticais o erro padrão.

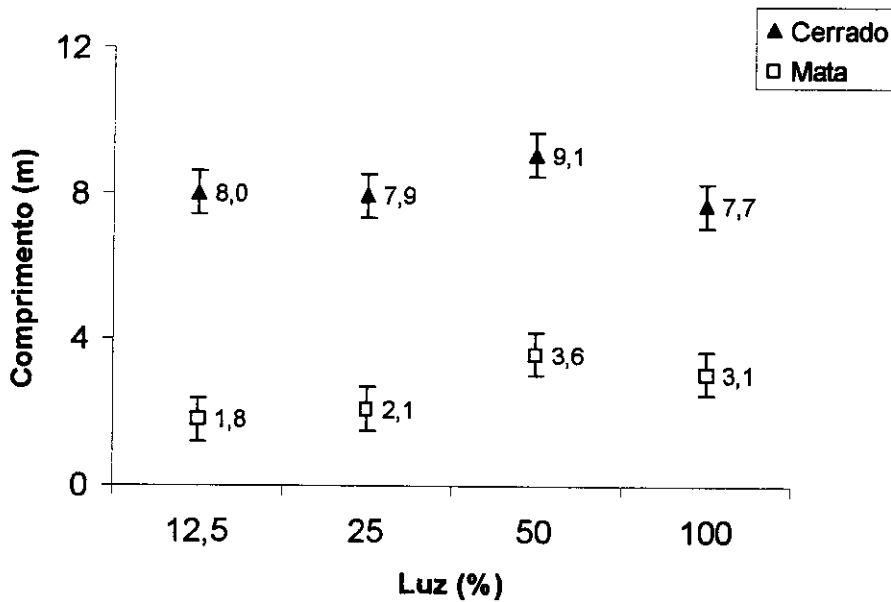


FIGURA 12. Comprimento de raízes secundárias de *D. alata* Vog. cultivadas em solos de Cerrado e Mata sob diferentes níveis de luminosidade, aos 90 dias (Exp. 2). Médias de três plantas de três progênies; barras verticais representam erro padrão.

TABELA 8. Área foliar de três progênie de *D. alata* Vog. cultivada sob quatro níveis de luz, em dois solos. (Exp. 2)

Tratamento	Área foliar (cm ²)		
	45 dias	90 dias	247 dias
Progênie			
33	109b	139c	154ns
59	185a	207b	179
3	180a	267a	209
Luz (%)			
12,5	170ns	235a	194a
25	160	222a	169ab
50	168	213ab	188a
100	134	148b	125b
Solo			
Cerrado	163ns	187ns	187a
Mata	154	222	151b

ns = diferença não significativa
 Letras seguidas de mesma letra em cada subgrupo de colunas não diferem entre si (Tukey-Kramer; 0,5%).

Produção de matéria seca total

A matéria seca total de *D. alata* Vog. variou com a progênie, intensidade de luz e solo nas três avaliações destrutivas realizadas após 45, 90 e 247 dias de cultivo no viveiro, com exceção do solo aos 45 dias (Anexo III).

Não houve diferença significativa na produção de matéria seca total nos quatro níveis de luz pelo teste de Tukey-Kramer aos 45 dias (Tab. 9). Aos 90 e 247 dias, plantas cultivadas sob 50% de luz produziram maior matéria seca total, superior às plantas cultivadas sob 12,5% de luz (Tab. 9). Plantas cultivadas no solo de Cerrado produziram mais matéria seca total que aquelas cultivadas no solo de Mata aos 90 e 247 dias de cultivo. A progênie 33, de menor massa de sementes, produziu menos matéria seca total do que as progênie 59 e 3 nas três avaliações destrutivas (Tab. 9; Fig. 13, 14, 15 e 16).

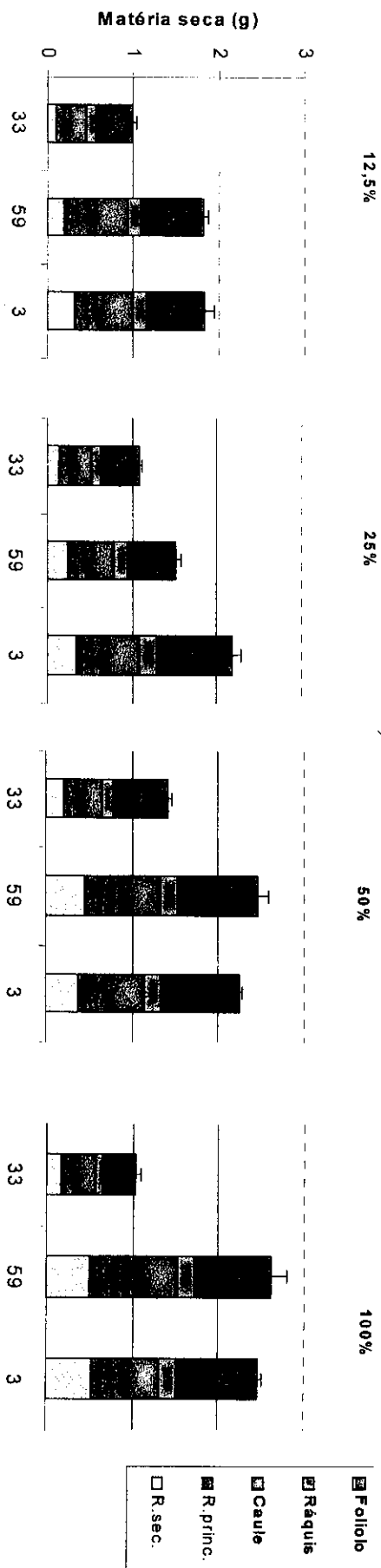
TABELA 9. Matéria seca total de *D. alata* Vog., de três progênieis cultivadas sob quatro níveis de luz, em dois solos. (Exp. 2)

Tratamento	Matéria seca total (g)		
	45 dias	90 dias	247 dias
<i>Progênie</i>			
33	1,16 b	2,46 b	6,82 b
59	2,06 a	3,92 a	9,04 a
3	2,02 a	4,14 a	9,00 a
<i>Luz (%)</i>			
12,5	1,50 c	2,88 c	7,59 c
25	1,58 c	3,55 dc	7,74 d
50	1,92 c	4,17 d	9,58 d
100	1,99 c	3,47 dc	8,24 d
<i>Solo</i>			
Cerrado	1,81	3,99 *	9,19 *
Mata	1,69	3,04	7,38

Médias seguidas de mesma letra em cada coluna não diferem entre si (Tukey-Kramer, 5%).
* = diferença significativa (teste t; 5%)

Aos 90 dias, a luz não alterou a produção de matéria seca total da progênieis 33 (Fig. 14a), exceto sob 25% de luz em solo de Cerrado. Sob luz plena, as progênieis 3 e 59 alcançaram menor matéria seca total que sob 50% de luz em ambos os solos. Alta produção da progênie 3 foi observada para a maioria dos tratamentos. As progênieis 3 e 59 tiveram matéria seca total semelhante em todas as luminosidades no solo de Mata (Fig. 14b) e sob 12,5% e 50% de luz no solo de Cerrado (Fig. 14a). A progênie 59 produziu a menor matéria seca total sob 25% de luz no solo de Cerrado, comparado com outras intensidades de luz.

Aos 247 dias, maior matéria seca foi produzida em plantas cultivadas em solo de Cerrado do que de Mata na maioria dos tratamentos, exceto sob 50% de luz (Fig. 15a e 15b). As progênieis 3 e 59 foram pouco afetadas pelos níveis de luz tanto no solo de Cerrado (Fig. 15a), exceto sob luz plena no solo de Mata (Fig. 15b). A progênie 3 teve menor produção de matéria seca total sob luz plena do que 50% de luz, nos solos de Cerrado e Mata (Fig. 15a e 15b). Assim, na média geral dos tratamentos, maior matéria



Progenie
b) Mata

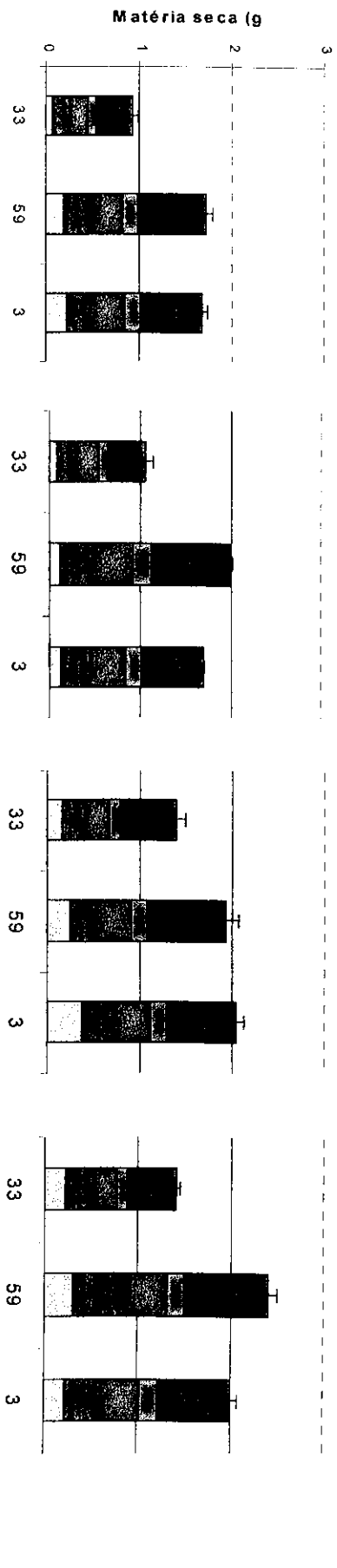


FIGURA 13. Matéria seca (g) em diferentes partes da planta de *D. glabra* em duas condições de manejo: Cerrado e Mata. As barras representam a média e os erros padrão para cada progenie (33, 59 e 3).

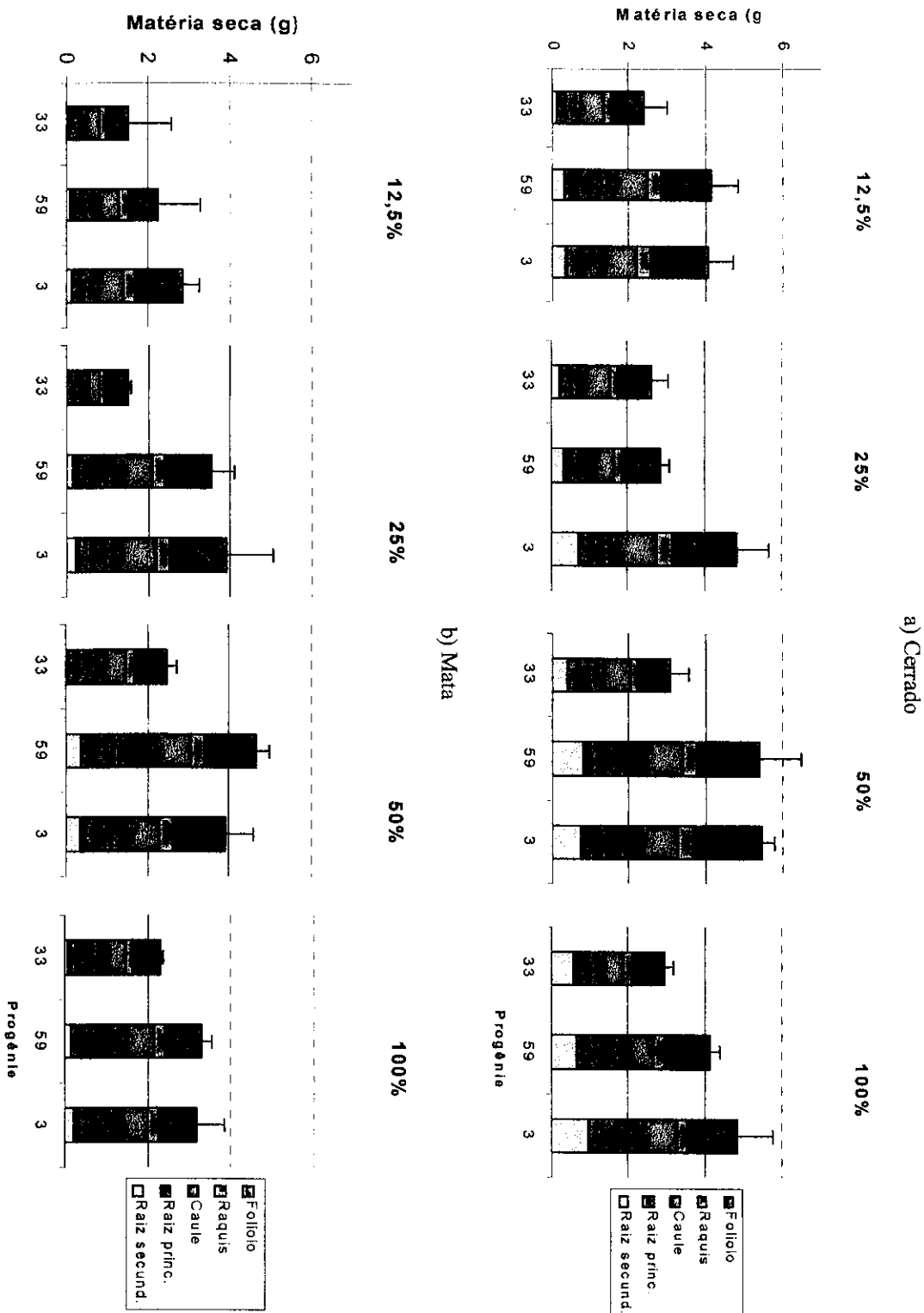


FIGURA 14. Matéria seca dos órgãos de três progênies de *D. alata* Vog. cultivado sob quatro intensidades de luz em solos de

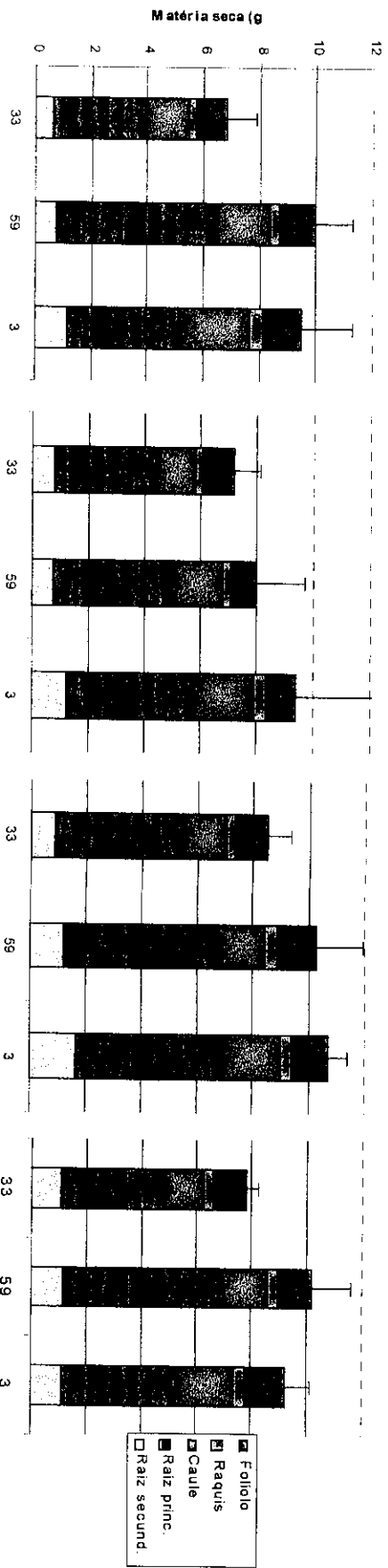
12,5%

25%

50%

100%

a) Cerrado



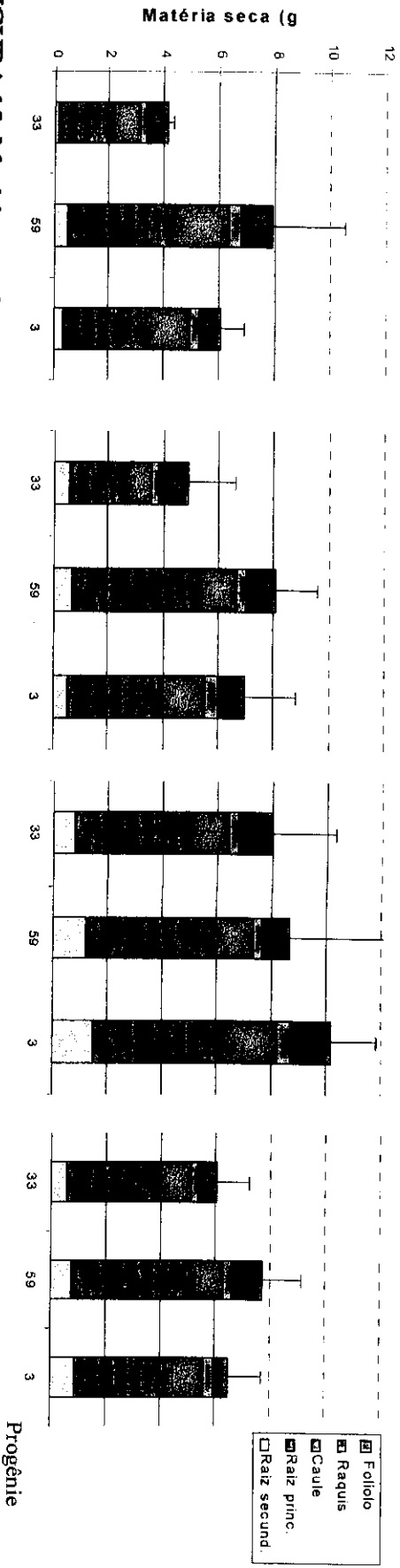
12,5%

25%

50%

100%

b) Mata



Progenie

seca total foi obtida em plantas sob 50% de luz, mas não foi significativamente diferente das cultivadas sob luz plena e 25% de luz (Tab. 9), devido à sua alta variabilidade (Fig. 15b).

Produção de matéria seca de folha, caule e raiz

Aos 45 e 90 dias de cultivo, a progênie foi o fator que causou maior variação na produção de matéria seca da folha, caule e raiz, exceto a matéria seca da raiz secundária aos 90 dias (Anexo III). Aos 247 dias de cultivo em viveiro, o solo tornou-se o fator que mais causou variação na matéria seca dos órgãos de *D. alata* Vog.

A progênie 33 produziu menos matéria seca da folha, caule, raiz principal e raiz secundária do que as outras progênies nas três avaliações destrutivas (Fig. 16a, b e c), enquanto o maior foi obtida pela progênie 3 ou 59 dependendo do tratamento (Fig. 13, 14 e 15). Na Fig. 16a, destaca-se a massa de folhas em relação ao caule, e raiz principal e secundária aos 45 dias. A matéria seca de folha, caule e raízes aumentou aos 90 dias em relação aos 45 dias (Fig. 16b), com uma alocação maior de recursos para a raiz principal, e para o caule em menor proporção, entre 90 a 247 dias, em todas as progênies. Aos 90 dias, plantas da progênie 3 produziram mais matéria seca de folha que a progênie 59 (Fig. 16b). A progênie 59 alocou mais massa seca para a raiz principal em relação às outras progênies, enquanto a progênie 3 foi superior às outras progênies na produção de folha e caule.

Não houve diferença significativa entre os níveis de luz para a matéria seca de folha nas três avaliações destrutivas (Tab. 10). Maior produção de matéria seca de folha nos solos de Cerrado do que de Mata após 90 e 247 dias, mas não aos 45 dias.

A matéria seca do caule também não apresentou diferença significativa para os níveis de luz nas três avaliações destrutivas, com exceção da produção menor para 12,5% de luz aos 90 dias (Tab. 10). Não foi observada diferença significativa na produção de matéria seca de caule aos 45 dias, mas maior massa caulinar foi observada para o solo de Cerrado do que de Mata após 90 e 247 dias (Tab. 10).

Os níveis de luz e o solo alteraram a matéria seca da raiz nas três avaliações (Anexo II). A matéria seca de raiz total foi mais baixa para os dois menores níveis de luz, 12,5% e 25%, em relação aos níveis de 50% de luz e luz plena (Tab. 10). A matéria seca de raiz total foi maior no solo de Cerrado do que de Mata, nas três avaliações (Tab. 10). A

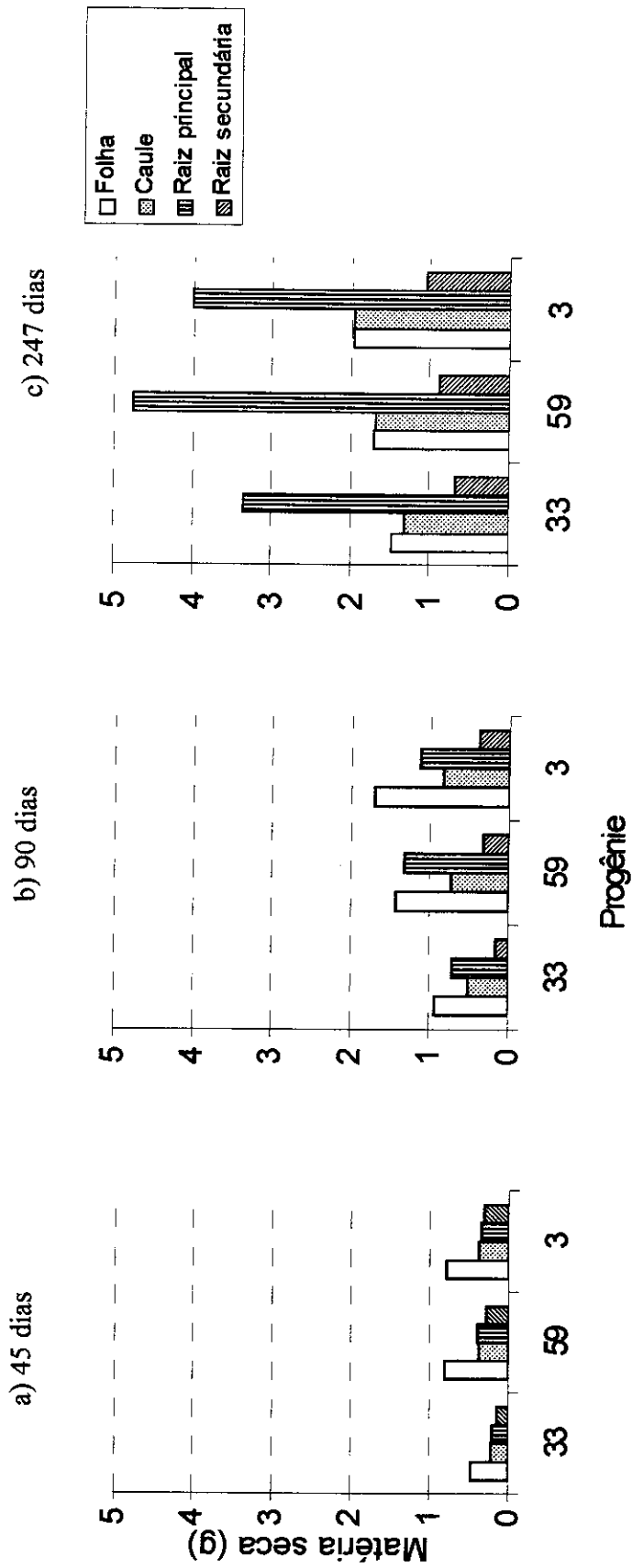


FIGURA 16. Matéria seca dos órgãos de progênies de *D. alata* Vog., após 45 dias (a); 90 dias (b) e 247 dias (c) de cultivo em viveiro (Exp. 2).

TABELA 10. Matérias secas de folha, caule e raiz de *D. alata* Vog. cultivada sob quatro níveis de luz e em dois solos, após três períodos de cultivo. (Exp. 2)

Tratamento	Matéria seca de folha (g)			Matéria seca de caule (g)			Matéria seca de raiz total (g)		
	45 dias	90 dias	247 dias	45 dias	90 dias	247 dias	45 dias	90 dias	247 dias
<i>Luz (%)</i>									
12,5	0,61a	1,27a	1,43a	0,30a	0,62b	1,77a	0,45b	0,98b	4,18b
25	0,64a	1,50a	1,38a	0,32a	0,75a	1,59a	0,46b	1,30b	4,44b
50	0,76a	1,57a	1,65a	0,34a	0,83a	1,75a	0,63a	1,77a	5,98a
100	0,74a	1,22a	1,40a	0,34a	0,65a	1,53a	0,74a	1,60a	4,99a
<i>Solo</i>									
Cerrado	0,71	1,54*	1,59*	0,31	0,78*	1,87*	0,63*	1,66*	5,5*
Mata	0,68	1,23	1,34	0,34	0,63	1,45	0,50	1,18	4,29

Médias seguidas de mesma letra em cada coluna não diferem entre si (Tukey-Kramer, 5%).

* = diferença significativa (teste t; 5%)

ausência de resposta da progênie 33 ao solo na produção de matéria seca de raiz (dados não mostrados) causou interação entre solo e progênie aos 45 dias de cultivo (Anexo III).

As raízes principal e secundária responderam de maneira similar à raiz total na produção de matéria seca sob os quatro níveis de luz. A produção de matéria seca da raiz principal e secundária foi maior nos níveis mais altos de luz, aos 45, 90 e 247 dias de cultivo em viveiro (Tab. 11). Ocorreu uma interação entre luz e solo para a matéria seca de raiz secundária, aos 90 dias (Anexo III). Essa interação foi causada pela menor massa radicular no solo de Mata na luz plena em relação aos outros níveis de luz, aumentando a variação na matéria seca de raiz secundária entre solos. A raiz secundária teve maior produção no Cerrado do que na Mata nas três avaliações destrutivas, enquanto a matéria seca da raiz principal foi afetada pelo solo apenas aos 247 dias (Tab.11).

TABELA 11. Matérias secas de raiz principal e secundária de *D. alata* Vog. cultivada sob quatro níveis de luz e em dois solos. (Exp. 2)

Tratamento	Matéria seca de raiz principal (g)			Matéria seca de raiz secundária (g)		
	45 dias	90 dias	247 dias	45 dias	90 dias	247 dias
<i>Luz (%)</i>						
12,5	0,26b	0,81b	3,63b	0,19b	0,18b	0,55b
25	0,28b	0,99b	3,68b	0,18b	0,31b	0,76b
50	0,32a	1,31a	4,78a	0,31a	0,46a	1,21a
100	0,41a	1,16a	4,07a	0,33a	0,44a	0,93a
<i>Solo</i>						
Cerrado	0,33	1,14	4,49*	0,30*	0,53*	1,02*
Mata	0,30	1,00	3,59	0,19	0,17	0,71

Médias seguidas de mesma letra em cada coluna não diferem entre si (Tukey-Kramer, 5%).

* = diferença significativa (teste t; 5%)

Razão raiz/parte aérea

A partição de recursos para parte aérea e subterrânea foi afetada pelo solo, intensidade de luz e progênie em todos os três períodos de avaliação, exceto o solo aos 90 dias (Anexo III). Plantas cultivadas sob intensidades baixas de luz apresentaram raiz/parte aérea mais baixa, e as cultivadas sob intensidade altas de luz tiveram raiz/parte aérea mais

altas, nos três períodos de avaliações (Fig. 17a). A razão raiz/parte aérea das plantas sob 12,5% de luz não diferiu das plantas sob 25% de luz aos 45 e 90 dias de cultivo (Fig. 17a). Maior quantidade de raiz do que parte aérea foi obtida para plantas cultivadas sob luz plena aos 45 e 90 dias (Fig. 17a), mas aos 247 dias a razão raiz/parte aérea foi similar à intensidade de 50% de luz.

Em solo de Cerrado, a razão raiz/parte aérea de *D. alata* Vog. foi superior à Mata aos 45 e 247 dias de cultivo, não apresentando diferença significativa aos 90 dias (Fig. 17b). O aumento da razão com o tempo deve-se a maior alocação de matéria à raiz, como ocorreu na progênie 59 aos 247 dias (Fig. 17c). Esta progênie apresentou razão raiz/parte aérea mais alta que as outras duas progênies nas duas últimas avaliações (Fig. 17c).

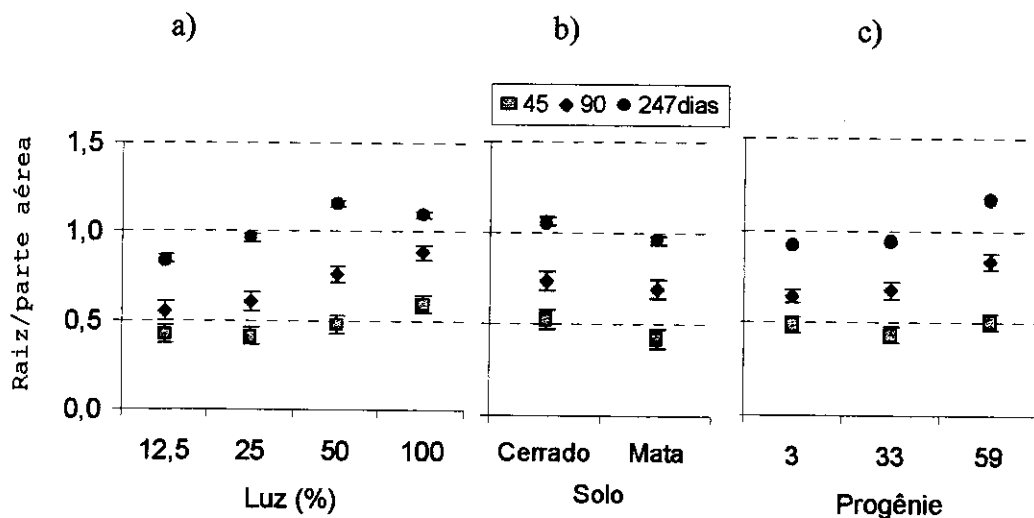


Figura 17. Razão raiz/parte aérea de *D. alata* Vog. cultivada em diferentes níveis de luz (a) e solo (b), de três progênies em três avaliações (Exp. 2). Barras verticais representam erro padrão.

Área foliar específica

A área da folha expressa por unidade de massa, área foliar específica, apresentou decréscimo significativo com o aumento da luz (Fig. 18). Houve, também, decréscimo da área foliar específica com o tempo, refletindo lignificação das folhas e menor emissão de folhas novas com o tempo. A média geral da área foliar por massa seca total de cada planta de *D. alata* Vog. foi de 231, 193 e 152 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ aos 45, 90 e 247 dias, respectivamente.

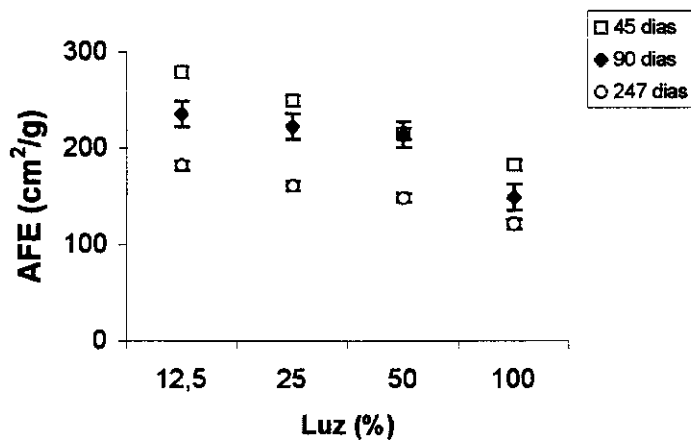


FIGURA 18. Área foliar por unidade de massa foliar seca de *Dipteryx alata* Vog. cultivada sob diferentes níveis de luz, após três períodos de cultivo.

Folha/biomassa total

Plantas cultivadas sob luz plena apresentaram menor proporção de massa foliar em relação a massa total da planta (Fig. 19a). Os níveis de luz afetaram pouco a razão massa foliar/massa seca total da progênie 3, mas decresceu nas progênies 3 e 59 sob luz plena em relação a outras intensidades de luz, aos 45 dias após a semeadura (Fig. 19a). A progênie 59 teve razão menor para solo de Cerrado do que Mata, enquanto as outras não apresentaram diferença significativa entre solos (Fig. 19b). Aos 90 dias, a razão massa foliar/matéria seca total foi maior sob 12,5% e 25% de luz do que 50% e plena luz (dados não mostrados). A progênie 3 apresentou maior razão (0,414) que as progênies 33 e 59 (0,384 e 0,367, respectivamente).

Aos 247 dias, quando já houve queda foliar, plantas cultivadas no solo de Mata tiveram menor razão do que no solo de Cerrado sob luz plena, enquanto nos níveis de luz de 25% e 50% essa razão foi mais alta no solo de Mata, e sob 12,5% não houve diferença (Fig. 19). Nesta avaliação, a progênie 33 apresentou maior razão folha/matéria seca total (0,206) do que as progênies 3 (0,170) e 59 (0,166), refletindo maior queda foliar das duas últimas progênies.

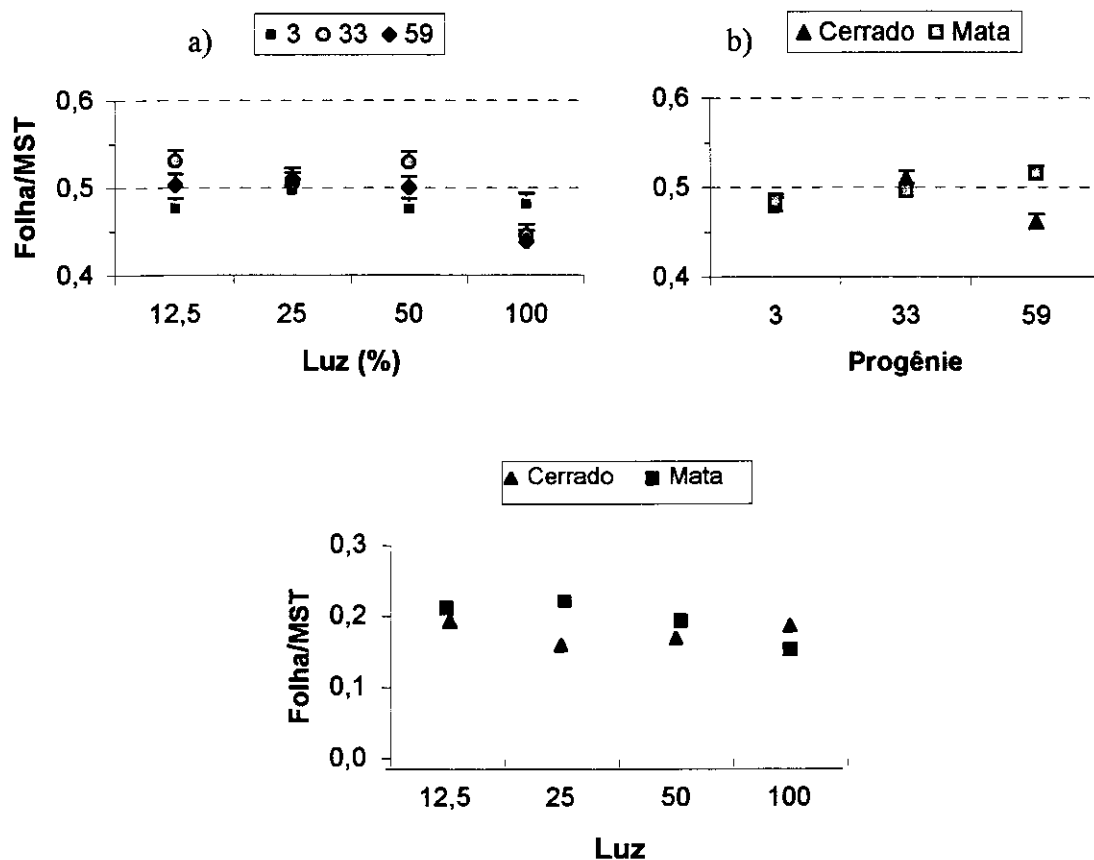


FIGURA 19. Razão massa foliar/matéria seca total de três progênes de *D. alata* Vog. sob quatro níveis de luz (a) e dois solos (b) aos 45 dias, e comparação entre solos sob diferentes níveis de luz aos 247 dias de cultivo no viveiro (Exp. 2).

Caule/matéria seca total

A luz afetou a proporção de matéria seca caulinar por planta em todas as avaliações destrutivas (Anexo II). O solo teve maior efeito aos 45 dias, e a progênie afetou na variação da razão caule/matéria seca total aos 90 e 247 dias (Anexo II).

A alocação de massa para o caule decresceu com o aumento da intensidade luminosa (Fig. 20a). O aumento de caule/matéria seca total com o tempo foi mais acentuado em plantas cultivadas sob 12,5% de luz, enquanto sob 25% de luz não houve alteração nos três períodos de coleta (Fig. 20a). A proporção de caule/matéria seca total sob 50% e luz plena aumentou entre 45 e 90 dias, mas não aos 247 dias de cultivo. Aos 247 dias, não houve diferença na proporção de caule entre 50% e 100% de luz (Fig. 20a), entre solos de Mata e

TABELA 12. Concentração de nutrientes nas folhas de três progênie de *D. alata* Vog. sob quatro níveis de luz e dois solos, aos 90 dias de cultivo em viveiro (Exp. 2).

Item	N	P	K	g/kg				mg/kg				Na	
				Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B		Al
Solo													
Cerrado	16,9b	1,25b	6,34ns	*	1,66a	0,70b	1,98b	187ns	**	10,9b	21,5a	151ns	14,3ns
Mata	19,2a	1,66a	6,81		1,46b	0,92a	2,74a	179		15,1a	12,2b	169	12,7
Progênie													
3	18,5a	1,66a	7,39a	*	1,67a	0,80a	2,16a	188a	40,3c	13,4a	16,8a	152a	16,3a
33	18,5a	1,45b	5,98b		1,60a	0,78a	2,74a	198a	52,3b	11,7a	17,8a	181a	15,0a
59	16,9b	1,23c	6,29b		1,40b	0,82a	2,16a	164a	69,1a	13,8a	16,6a	149a	8,9a
Luz													
12,5%	20,4a	1,78a	6,93a	4,49c	1,52a	0,88a	3,22a	205a	**	16,4a	15,5b	180ab	19,4a
25%	17,9b	1,46b	7,12a	4,31c	1,49a	0,76a	2,60a	184a		11,8ab	14,9b	129bc	10,7a
50%	16,9bc	1,24bc	5,91a	5,32b	1,58a	0,74a	1,73b	160a		10,7b	16,1b	126bc	11,7a
100%	17,1bc	1,36bc	6,35a	5,66a	1,65a	0,83a	1,95a	189a		13,5ab	21,7a	214a	12,3a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer (5%).

*Interação significativa para solo x progênie (veja Fig. 22).

**Interação significativa para solo x luz (veja Fig. 23).

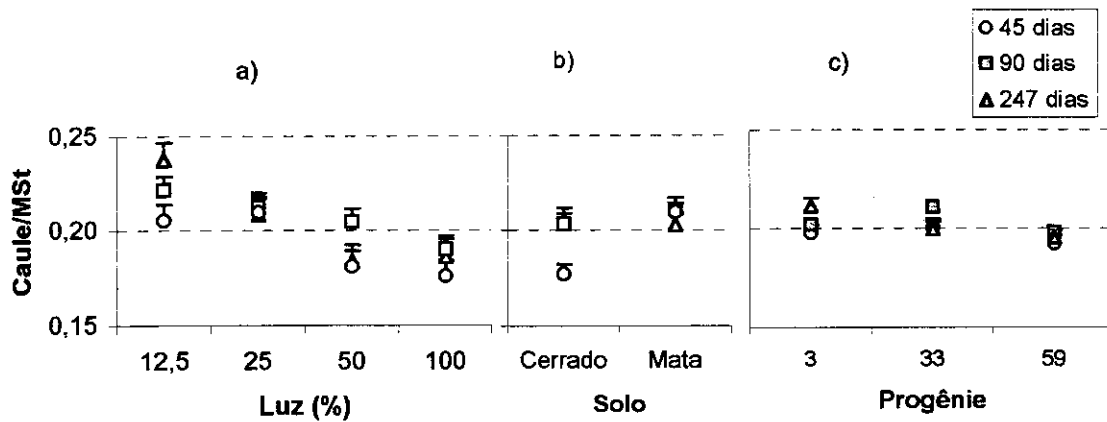


FIGURA 20. Massa caulinar em relação a matéria seca total (caule/MSt) de *D. alata* Vog. cultivado sob quatro intensidades de luz (a) em dois solos (b), de três progênies (c) nos três períodos de avaliação no viveiro (Exp. 2). Barras verticais representam erro padrão.

Cerrado (Fig. 20b), mas a progênie 3 apresentou a mais alta razão caule/matéria seca total em relação às outras progênies.

A proporção de caule/matéria seca total foi mais baixa nas plantas cultivadas no solo de Cerrado aos 45 dias de cultivo (Fig. 20b), mas no solo de Mata, não houve diferença entre os três períodos de coleta (Fig. 20b).

Aos 90 dias, a interação entre solo e progênie (Anexo II) foi causada pela maior razão caule/matéria seca total da progênie 33 e menor da progênie 59 no solo de Cerrado, enquanto no solo de Mata não houve diferença significativa entre progênies (dados não mostrados). A progênie 3 não apresentou diferença entre solos para caule/matéria seca total.

Raiz/matéria seca total

Maior proporção de raiz em relação à massa seca total da planta foi observada para plantas cultivadas sob luz plena em relação às plantas sombreadas aos 45 dias (Fig. 21a), e diferença significativa entre os dois níveis mais altos e mais baixos foi observada aos 90 e 247 dias. Plantas cultivadas em solo de Cerrado apresentaram raiz/matéria seca total mais alta que as cultivadas em solo de Mata aos 45 dias, mas aos 90 e 247 dias, não houve diferença entre os dois solos (Fig. 21b). A progênie 59 teve valores mais altos de raiz/matéria seca total em relação às outras progênies, aos 90 e 247 dias (Fig. 21c).

Houve um aumento na proporção de raiz em relação à matéria seca total com o tempo (Fig. 21a, b, c), com média geral de 0,32; 0,39 e 0,58 aos 45, 90 e 247 dias, respectivamente (dados não mostrados), com quase 60% da biomassa total alocado para a parte subterrânea aos 247 dias.

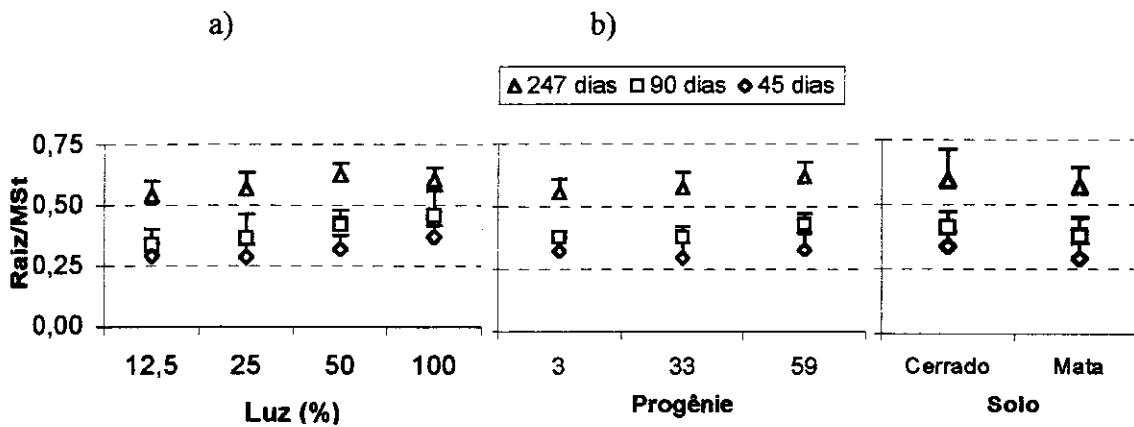


FIGURA 21. Proporção de massa seca de raiz em relação à massa total (raiz/MSt) de *D. alata* Vog., aos 45 dias de cultivo (a) ou três períodos de avaliação, cultivadas sob quatro níveis de luz (b), das três progênie (c) em dois solos (d) (Exp. 2). Barras verticais representam desvio padrão.

Nutrientes nos tecidos vegetais

Concentração de nutrientes por massa foliar

A maior fonte de variação para concentração dos elementos nutricionais da folha de *D. alata* Vog. foi o solo (Anexo IV), exceto potássio (K), alumínio (Al), ferro (Fe) e sódio (Na). Os dois últimos também não foram afetados pela luz e progênie (Tab. 12). Plantas cultivadas no solo de Mata apresentaram maiores concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P), cobre (Cu) e zinco (Zn), enquanto as concentrações de magnésio (Mg) e boro (B) foram mais altas em plantas cultivadas em solo de Cerrado (Tab. 12).

Houve variação na concentração foliar de N, P, K, Mg e Mn entre as progênies, não sendo observado para S, Zn, B e Fe (Tab. 12). A progênie 3 teve as mais altas concentrações de macronutrientes, enquanto a progênie 59 teve menores valores para N, P e Mg e a progênie 33 manteve-se intermediária entre as progênies para P e Mn (Tab. 12).

As variações nas concentrações de nutrientes por massa foliar de *D. alata* Vog. devido à intensidade luminosa ocorreram para N, P, Ca, Cu, Zn, B e Al. Não houve diferença significativa entre níveis de luz para K e S foliar. Maiores concentrações de nutrientes por massa foliar foram obtidas sob intensidades mais baixas de luz para N, P e Cu, e mais altas sob plena luz para as concentrações de Ca, B e Al (Tab. 12).

Valores mais altos de cálcio para plantas cultivadas no solo de Mata do que no Cerrado, no viveiro, são mostradas nas Fig. 22. No solo de Mata, a progênie 3 apresentou concentração de cálcio foliar mais alta em relação às progênies 33 e 59, mas no solo de Cerrado não houve diferença entre progênies (Fig. 22). Na casa de vegetação, a concentração de cálcio foliar nas plantas cultivadas no solo de Mata também foi mais alta do que naquelas no solo de Cerrado e Cerradão (Fig. 23).

O aumento no valor de cálcio foliar com a intensidade de luz foi observada nas plantas cultivadas apenas no solo de Mata, na casa de vegetação (Fig. 23). No viveiro, houve um aumento na concentração de cálcio com o aumento da intensidade luminosa (Tab. 12), exceto para 12,5% e 25% de luz, que não diferiu entre si. Valores menores de cálcio foliar foram observados nas plantas cultivadas no solo de Mata no viveiro (Fig. 22) do que na casa de vegetação (Fig. 23). Esta diferença pode ter ocorrido pela diferença na idade média do conjunto de folhas analisadas entre os experimentos.

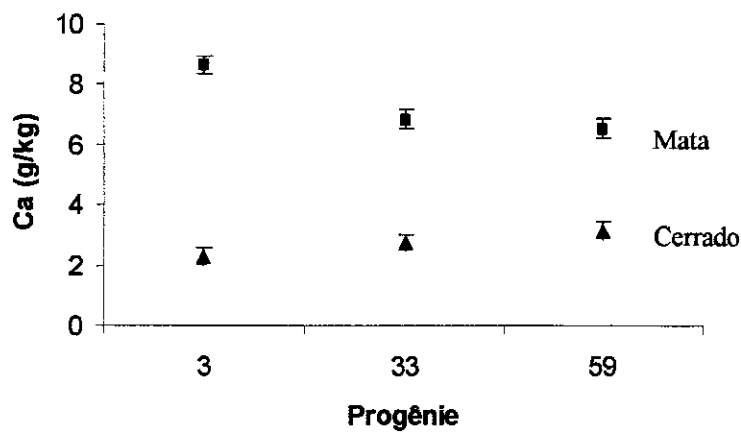


FIGURA 22. Concentração de cálcio foliar de três progênies de *D. alata* Vog. cultivadas nos solos de Mata e Cerrado, em viveiro por 90 dias (Exp. 2). Média de 12 repetições; barras verticais representam erro padrão.

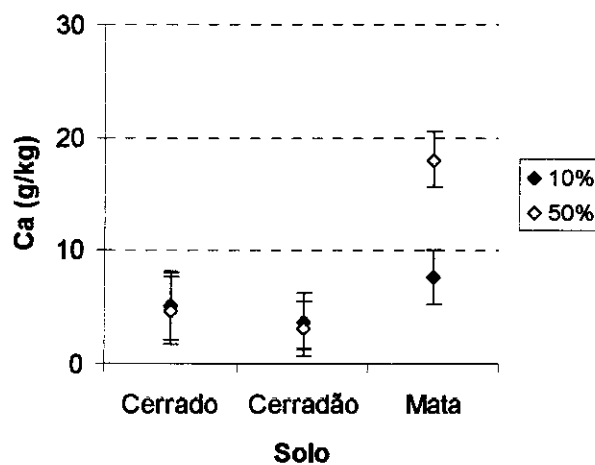


FIGURA 23. Concentração de cálcio foliar de *D. alata* Vog. cultivadas em três solos, em casa de vegetação por 317 a 325 dias (Exp. 1). Média de quatro repetições; barras verticais representam erro padrão.

Maior concentração de manganês foi observado nas plantas cultivadas no solo de Cerrado do que de Mata (Fig. 24). A concentração mais baixa nas plantas cultivadas sob 25% de luz no solo de Cerrado em relação às outras intensidades de luz sem ocorrer resposta semelhante no solo de Mata (Fig. 24) causou a interação entre o solo e luz, no viveiro. Na casa de vegetação, a concentração foliar de manganês foi significativamente diferente para solo (Fig. 25), não apresentando diferença entre progênies e níveis de luz.

Plantas cultivadas no solo de Cerradão apresentaram valor mais alto, seguida naquelas de Cerrado e por último na Mata.

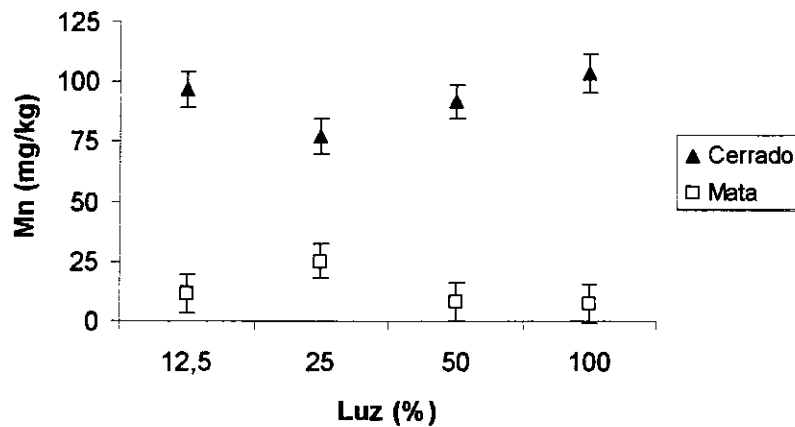


FIGURA 24. Concentração foliar de manganês de *D. alata* Vog. cultivado em viveiro, nos solos de Cerrado e Mata, sob diferentes intensidades de luz, aos 90 dias (Exp. 2). Média de nove repetições; barras verticais representam erro padrão.

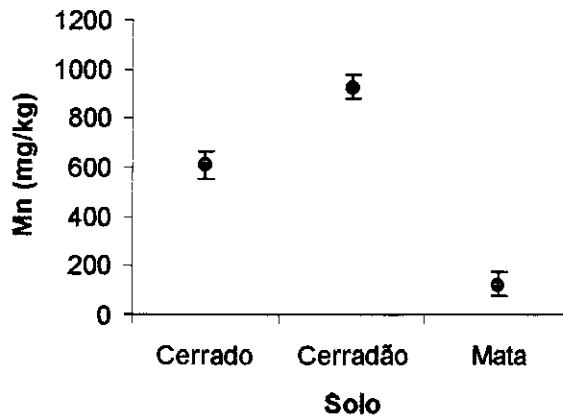


FIGURA 25. Concentração foliar de manganês de *D. alata* Vog. em três diferentes solos, cultivado na casa de vegetação por 317 a 325 dias (Exp.1). Média de quatro repetições; barras verticais representam erro padrão.

Concentração de nutrientes por área foliar

A concentração de nutrientes por área foliar foi afetada pelo solo e luz para a maioria dos nutrientes (Tab. 13 e 14). Luz e solo interagiram na concentração por área de N, P, Ca, Mn e Zn, enquanto interação significativa entre solo e progênie ocorreu para Ca e Zn (Anexo V).

As plantas cultivadas sob solo de Mata apresentaram maior concentração por área foliar de Mg e Cu do que aquelas sob Cerrado (Tab. 13). Não foram observadas diferenças significativas entre plantas cultivadas no solo de Cerrado e Mata para a concentração de potássio, ferro e alumínio por área foliar.

As plantas cultivadas sob luz plena apresentaram maior concentração de nutrientes por área foliar, com exceção de cobre que não apresentou diferença significativa (Tab. 13 e 14). Não houve diferença significativa entre os três níveis de sombreamento para ferro e alumínio. Para concentrações de K e Mg, as mais baixas foram obtidas para plantas sob 12,5% e 25% de luz, seguidas de plantas sob 50% de luz (Tab. 13).

TABELA 13. Concentração de nutrientes por área foliar de *D. alata* Vog. em dois solos, e quatro níveis de luz aos 90 dias de cultivo em viveiro. (Exp. 2)

Item	K	Mg	Cu	Fe	Al
	-----µg/cm ² -----				
<i>Solo</i>					
Cerrado	35,1ns	9,1a	10,7a	1020ns	841ns
Mata	35,6	8,0b	14,5b	986	951
<i>Luz</i>					
12,5%	30,6c	6,6c	13,5ns	933b	748b
25%	32,6bc	7,1c	13,2	875b	659b
50%	34,8b	9,5b	9,8	915b	678b
100%	42,9a	10,9a	13,8	1279a	1471a

n.s. diferença não significativa.

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 0,05$).

Interação significativa entre solo e luz foi obtida para vários nutrientes (Tab. 14, Anexo V). Em ambos os solos, a concentração de N e S por área foliar tiveram decréscimo com o decréscimo da intensidade de luz, enquanto cálcio teve resposta semelhante apenas no solo de Mata. N, P, Ca, S e Zn tiveram a mais alta concentração em plantas cultivadas

TABELA 14. Concentração de nutrientes por área foliar de *D. alata* Vog. cultivado sob quatro níveis de luz e dois solos, aos 90 dias de cultivo em viveiro (Exp. 2). Média de nove repetições.

	N		P		Ca		S		Mn		Zn		B	
	Cerrado	Mata	Cerrado	Mata	Cerrado	Mata	Cerrado	Mata	Cerrado	Mata	Cerrado	Mata	Cerrado	Mata
12,5%	88e	86de	6,6d	8,6b	11,2f	25,9d	3,4d	4,1cd	452c	46f	64cd	76b	75c	35e
25%	89de	94c	6,8d	7,9b	12,8f	33,8c	3,6d	4,3c	383d	137e	56d	65c	80c	62d
50%	93d	106b	6,5d	8,0b	17,4e	44,7b	3,8dc	4,8b	550b	48f	55d	71c	126b	64d
100%	98c	132a	7,4c	10,9a	18,9e	59,6a	4,6b	6,7a	666a	54f	64cd	117a	165a	69c

Médias seguidas de mesma letra, por nutriente, não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 0,05$).

sob luz plena em solo de Mata, enquanto Mn e B tiveram a mais alta concentração sob luz plena em solo de Cerrado (Tab. 14).

As concentrações de P ($8,7 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) e K ($39,6 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) da progênie 3 foram mais altas e a de Mn ($359 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) a mais baixa em relação às outras, enquanto a progênie 59 apresentou concentrações mais baixas de P ($6,8 \mu\text{g}/\text{m}^2$) e de K ($34,8 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) e mais alta de Mn ($395 \mu\text{g}/\text{cm}^2$). A progênie 33 teve concentrações de P ($7,6 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) e Mn ($271 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) intermediárias, e de K ($31,8 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) semelhante à progênie 59.

Associação com microorganismos

Não foi constatada a formação de nódulos de bactérias fixadoras de nitrogênio nos dois experimentos.

A colonização por fungos micorrízicos arbusculares foi constatada nos dois experimentos. No Exp. 1, não foi possível quantificar a colonização adequadamente devido à intensa coloração do córtex radicular, dificultando a visualização da colonização através da lupa. No Exp. 2, foi observada formação de micorrizas arbusculares aos 90 dias, e todos os tratamentos apresentaram colonização acima de 70% aos 247 dias.

No Exp. 1, mais esporos de fungos micorrízicos foram encontrados no solo de Cerrado e menos no Cerradão. Em média, para 50 ml de solo foram isolados em média (\pm desvio padrão) no Cerrado, Mata e Cerradão, 145 (± 33), 85 (± 65) e 59 (± 30) esporos respectivamente. O número máximo de espécies de fungos micorrízicos por amostra foi observado em solo de Mata (8), seguido de Cerrado (7) e Cerradão (6).

No Exp. 2, foi encontrado maior número médio de esporos. O número total de esporos foi mais alto no solo de Cerrado do que na Mata, com média de 361 (± 119) e 107 (± 52), respectivamente, aos 247 dias de cultivo de *D. alata* Vog. Houve dominância dos esporos de *Glomus* tanto no solo de Cerrado (320 ± 104) quanto no de Mata (87 ± 52). Em ambos os solos foram também encontrados esporos dos gêneros *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Scutellospora*, *Entrophospora* e com menor frequência esporocarpos de *Glomus* e *Sclerocystis*.

Fisiologia das mudas

Concentração de clorofila

As plantas sob 10% de luz apresentaram maior concentração de clorofilas *a*, *b* e total que as cultivadas sob 50% de luz (Fig. 26a, d, e), com exceção da clorofila *a* e total no solo de Mata, no Exp. 1. Houve maior concentração da clorofila *b* nas plantas cultivadas no solo de Cerradão do que no Cerrado e Mata (Fig. 26b). A progênie 33 apresentou mais clorofila *a* por área foliar do que a progênie 66 (Fig. 26c). clorofila *a* e total em relação aos outros solos (Fig. 26d, e) nas plantas cultivadas sob 10% de luz.

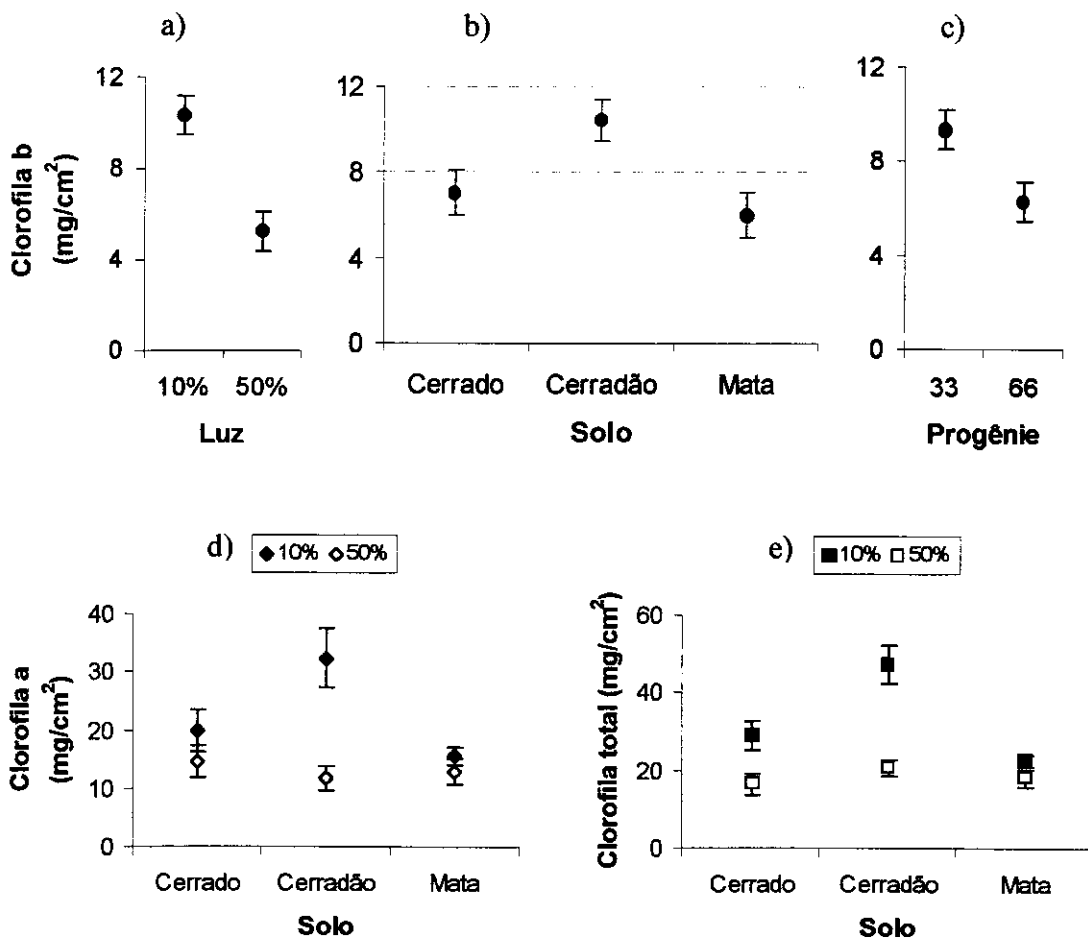


FIGURA 26. Concentração da clorofila *b* por área foliar de *D. alata* Vog. cultivada sob dois níveis de luz (a), três solos (b) e duas progênie (c), clorofila *a* (d) e clorofila total (e) aos 247 dias de cultivo (Exp. 1).

A concentração da clorofila *a* e clorofila total foi mais alta nas plantas crescidas sob 100% de luz do que sob 50% de luz no solo de Cerradão, mas o mesmo não foi observado entre plantas cultivadas sob solo de Mata e Cerrado (Fig. 26d, e). Sob 10% de luz, a clorofila *a* e clorofila total foi maior no Cerradão, seguida daquelas cultivadas sob solo de Cerrado e, no último lugar, Mata. Sob 50% de luz, não houve diferença na concentração de clorofila *a* e total entre solos.

A razão clorofila *a/b* foi mais alta em plantas cultivadas sob 50% de luz do que sob 10% de luz, e mais alta na progênie 66 do que a progênie 33 (dados não mostrados).

Número de estômatos

Houve uma tendência de aumento no número de estômatos/mm² com a ontogenia. As folhas primárias tiveram menor número de estômatos, não havendo diferença significativa entre os folíolos das folhas primárias e as três primeiras folhas definitivas (Fig. 27a). Na quarta folha definitiva, avaliada aos 90 dias de cultivo, o número médio de estômatos foi mais alto que as anteriores (Fig. 27a).

Maior número de estômatos foi observado em plantas cultivadas sob luz plena comparadas com outras intensidades luminosas, nos folíolos primários e definitivos (Fig. 27b). As últimas folhas maduras das plantas crescidas sob luz plena, aos 247 dias de cultivo, também apresentaram densidade mais alta de estômatos (Fig. 27b).

Ângulo foliar

Em geral, os folíolos das plantas cultivadas no solo de Cerrado mostraram-se mais verticais do que aqueles das plantas no solo de Mata (Fig. 28a, b, c). Na medida que aumentou a intensidade de luz, os folíolos de *D. alata* Vog. tenderam para uma orientação mais vertical, ou seja, aumentou o ângulo. As progênies diferiram na sua resposta à intensidade luminosa e ao solo cultivado. O ângulo foliar aumentou com a intensidade luminosa na progênie 3 (Fig. 28a) no solo de Cerrado e na progênie 59 (Fig. 28c) nos solos Cerrado e Mata. A inclinação do folíolo da progênie 3 cultivada no solo de Mata foi significativamente menor sob 12,5% e 25% do que sob 50% e luz plena (Fig. 28a) e os folíolos da progênie 33 cultivada no solo de Mata foram ligeiramente mais horizontais que a cultivada no solo de Cerrado (Fig. 28b).

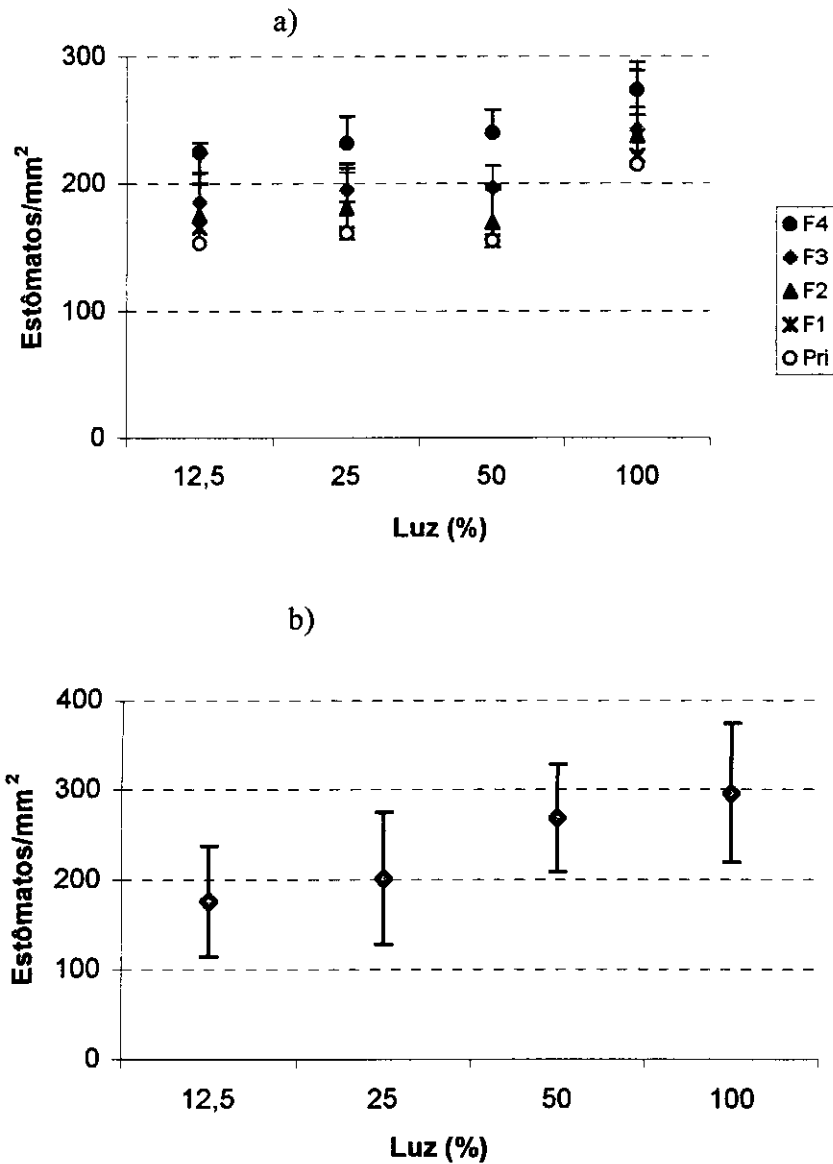


FIGURA 27. Número de estômatos de *D. alata* Vog. de folíolos de diferentes idades (a) aos 90 dias, e da última folha madura aos 247 dias (b) em plantas cultivadas sob diferentes intensidades de luz. (Pri = folhas primárias, F1 = primeira folha definitiva; F2 = segunda folha definitiva; e assim por diante). Barras verticais representam desvio padrão.

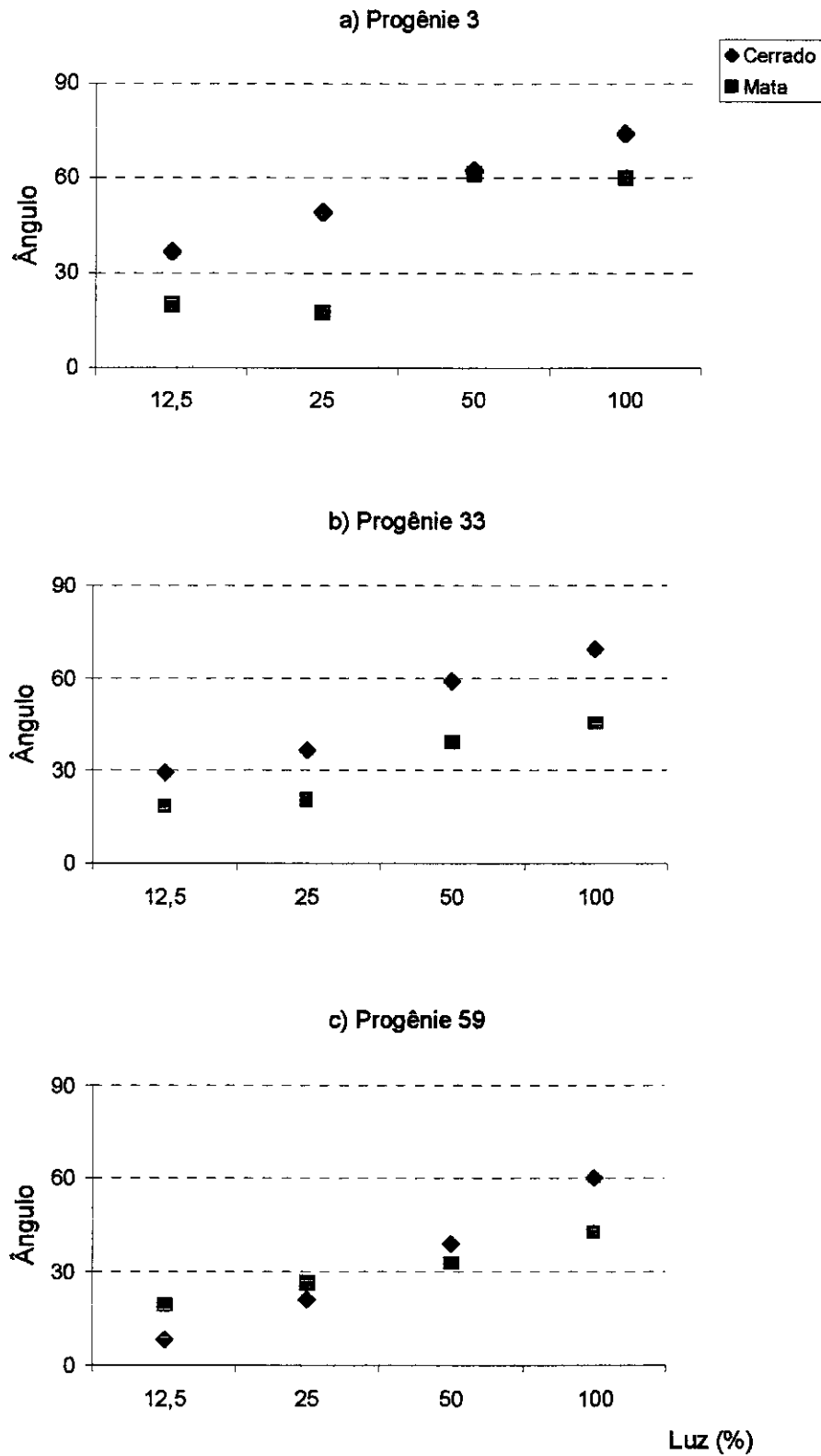


FIGURA 28. Ângulo foliar das progênies 3 (a), 33 (b) e 59 (c) de *D. alata* Vog. cultivadas em dois solos e diferentes níveis de luz. (Exp. 2).

Taxa fotossintética

A taxa de fotossíntese líquida das plantas sob 50% de luz foi mais alta que aquela das plantas cultivadas sob 10% de luz, no início da manhã (Fig. 29 a, b, c), no Exp. 1. Houve decréscimo na assimilação de CO₂ (A_{CO2}) entre 12 e 15 horas nas plantas sob 10% de luz, associado à menor incidência de luz nos folíolos.

Plantas cultivadas sob 50% de luz recebendo em torno de 500 μmol m⁻² s⁻¹ de luz no início da manhã, apresentaram taxa fotossintética menor em solo de Cerrado do que em solo de Mata (Fig. 29 a, c). A A_{CO2} nas plantas crescidas no solo de Cerrado sob 50% de luz teve um decréscimo as 10 horas não associado ao DFF, enquanto naquelas cultivadas nos solos de Cerradão e Mata a baixa taxa de assimilação de CO₂ ocorreu com DFF em torno de 100 μmol m⁻² s⁻¹ próximo ao meio dia. A queda na densidade de fluxo de fótons (DFF) no período de maior radiação solar nos folíolos sob 50% de luz deve ter ocorrido pela inclinação da folha em relação à horizontal, pois, as medidas de trocas gasosas foram feitas nos mesmos folíolos durante o decorrer do dia, mantendo a sua inclinação natural durante a medida. Verifica-se que após as 12 h, os folíolos das plantas sob 50% de luz receberam baixo DFF (Fig. 29 d, e, f), enquanto pouca alteração foi observada nas plantas cultivadas sob 10% de luz.

A temperatura foliar teve um leve decréscimo por volta das 14 h (Fig. 30 c, d, e); o mesmo aconteceu com a condutância estomática (Fig. 30 a, b, c) e A_{CO2} (Fig. 29 a, b) das plantas sob 10% de luz. Este decréscimo está associado com a pequena queda de DFF neste horário (Fig. 29 d, e, f).

A taxa de assimilação de CO₂ de *D. alata* Vog. aumentou em função da condutância estomática (mês de junho, Exp. 2, Fig. 31a), e decresceu com o aumento da temperatura foliar (Fig. 31b). Plantas crescidas sob luz plena apresentaram menores valores de assimilação e maiores valores de temperatura, embora plantas sob 50% de luz também tenham apresentado valores de assimilação baixa e temperaturas foliares acima de 30 °C.

A condutância estomática decresceu com o aumento da temperatura foliar (Fig. 31c). Valores baixos e semelhantes de condutância estomática foram observados tanto em plantas cultivadas sob plena luz quanto sob 50% de luz (Fig. 31d), indicando que não houve diferença entre intensidades de luz sobre o fechamento estomático.

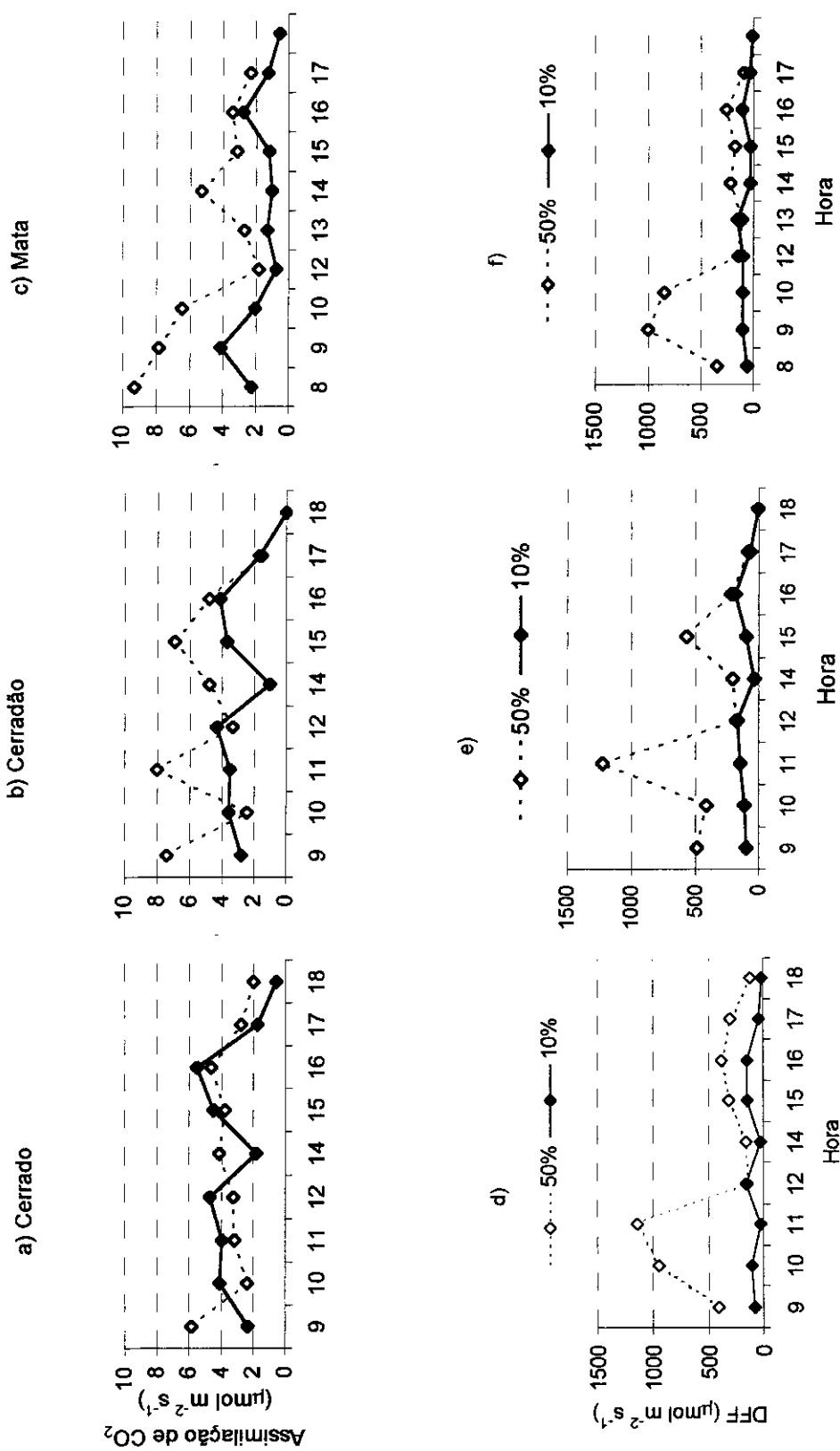


FIGURA 29. Assimilação de CO₂ e densidade de fluxo de fótons (DFF) de *D. alata* Vog, cultivadas em solo de Cerrado (a, d), Cerrado (b, e) e Mata (c, f), e no decorrer do dia (09/04/99, Exp. 1).

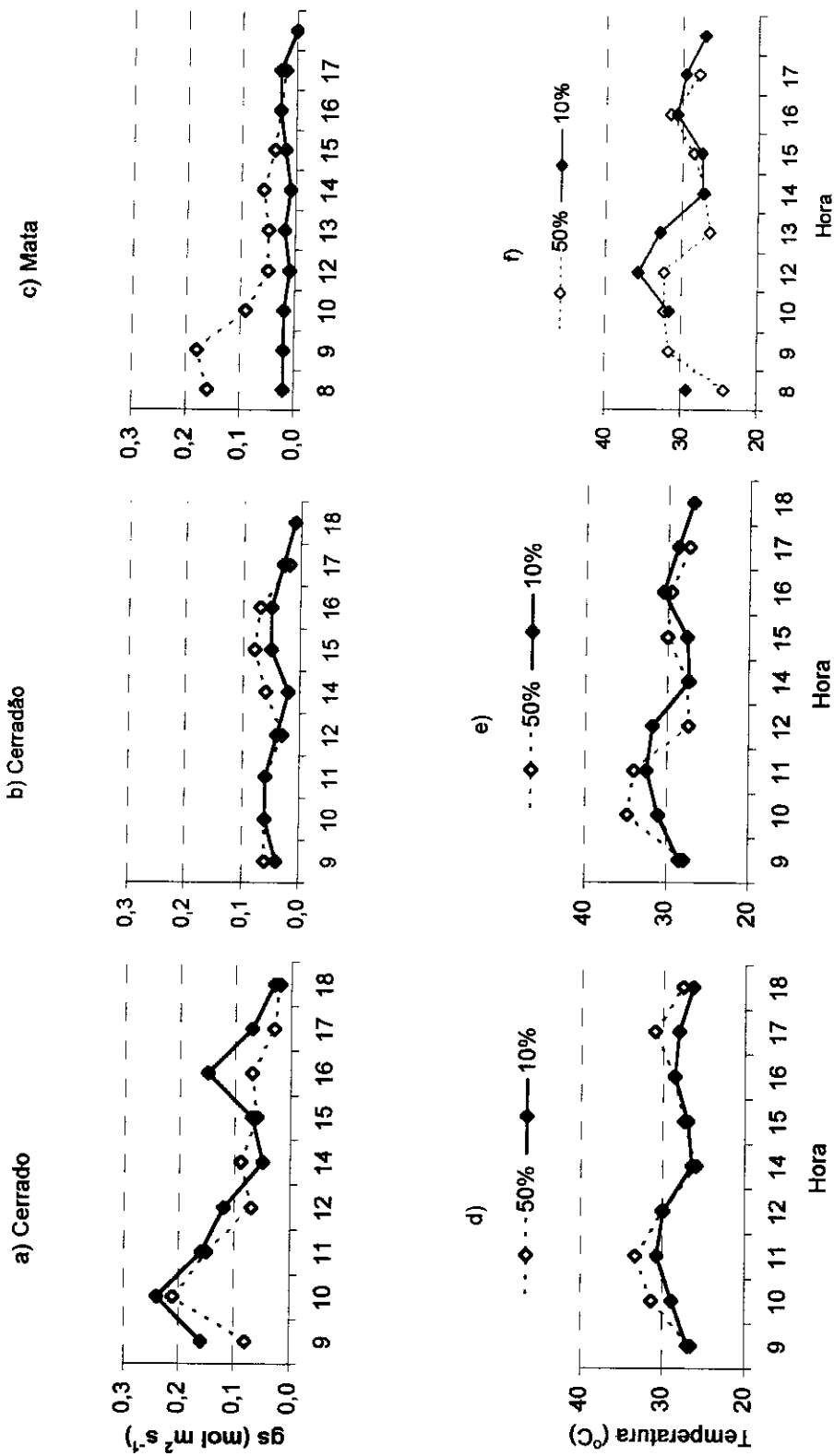


FIGURA 30. Condutância estomática (gs) (a, b, c) e temperatura foliar (d, e, f) de *D. alata* Vog. cultivadas em solo de Cerrado (a, d), Cerradão (b, e) e Mata (c, f), no decorrer do dia 09/04/99 (Exp. 1).

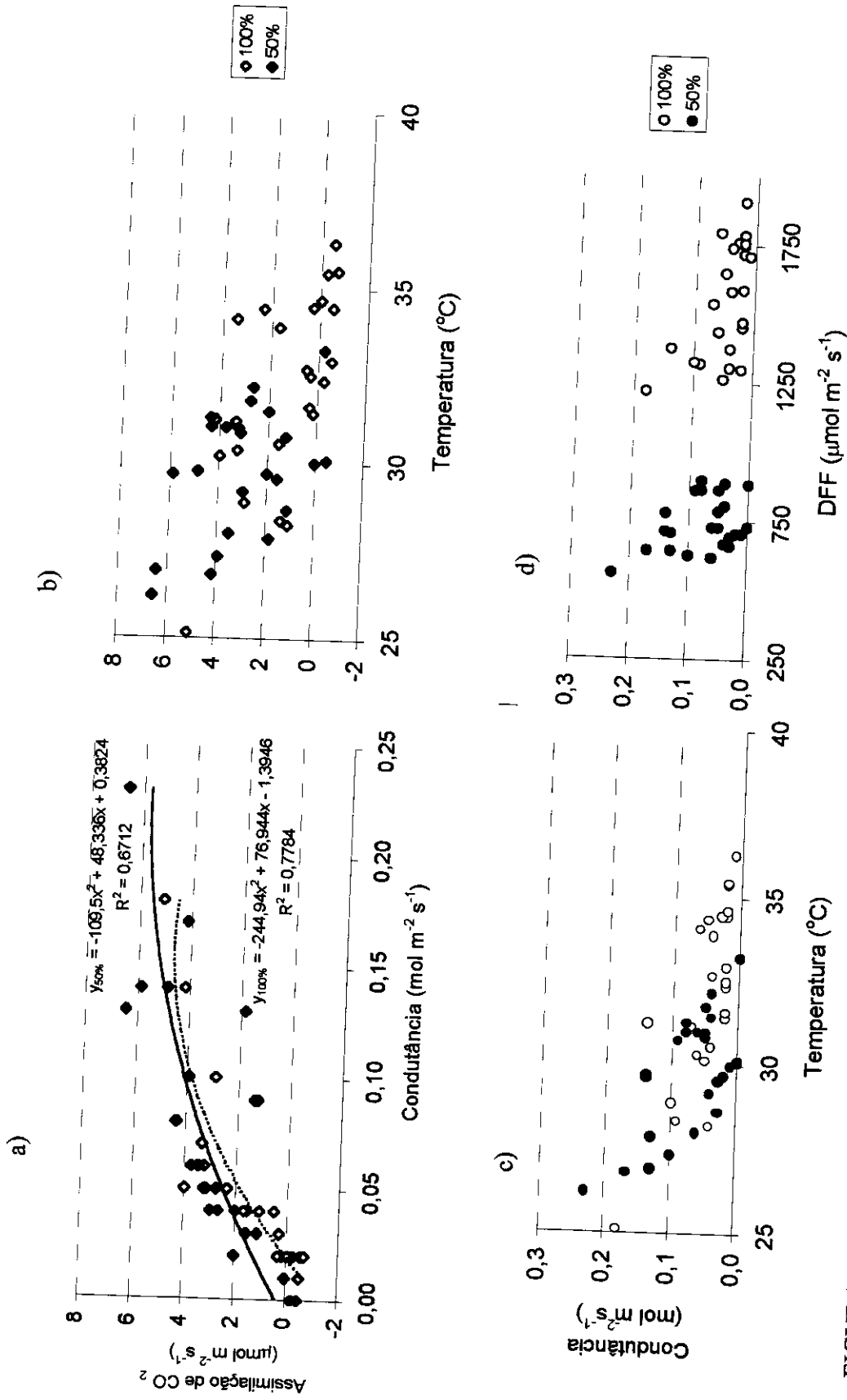


FIGURA 31. Assimilação de CO₂ (a, b) e condutância estomática (c, d) de *D. alata* Vog., cultivadas sob dois níveis de luz. (Exp. 2; 20/06/2000).

A assimilação máxima na planta cultivada sob plena luz (Fig. 32a) foi menor do que sob 50% de luz (Fig. 32b) no solo de Mata, quando a densidade de fluxo de fótons atingiu cerca de $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Valores máximos de A_{CO_2} foram observados para plantas cultivadas no solo de Mata, quando a DFF alcançou cerca de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Para esta intensidade de luz, a taxa de A_{CO_2} foi mais alta para plantas cultivadas sob 50% de luz do que aquelas sob luz plena, no solo de Mata. No entanto, as plantas apresentaram abertura estomática diferente entre tratamentos (Fig. 32 c, d).

A baixa taxa de fotossíntese alcançada pelas plantas cultivadas no solo de Cerrado foi devido a limitação na troca gasosa causada pelo fechamento estomático (Fig. 32c). A curva de A_{CO_2} em função da DFF na planta cultivada no solo de Cerrado sob luz plena (Fig. 32a) apresentou queda acentuada logo após atingir DFF de cerca de $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e A_{CO_2} de cerca de $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Esta queda ocorreu devido ao fechamento estomático (Fig. 32c). Às 10:10 h, com os estômatos relativamente fechados (Fig. 32d), as plantas cultivadas no solo de Cerrado sob 50% de luz apresentaram A_{CO_2} reduzido (Fig. 32b). Valores de condutância estomática não foram obtidos para plantas cultivadas no solo de Mata sob 50% de luz devido à falha do aparelho.

A A_{CO_2} da progênie 59 cultivada em solo de Cerrado (Fig. 33 a) foi mais alta do que a cultivada no solo de Mata, sob luz plena. A progênie 59 cultivada no solo de Cerrado apresentou curva de A_{CO_2} similar à curva da cultivada no solo de Mata no mês anterior (Fig. 32a), mas com A_{CO_2} reduzido para cerca de metade do mês de abril.

A A_{CO_2} da progênie 33 no solo de Mata (Fig. 33 b) esteve limitado pela abertura dos estômatos (dados não mostrados). Após cerca de 10 h, pode-se observar que não há mais assimilação de CO_2 em plantas sob plena luz (Fig. 33 b; 23/05/00). As progênies 59 e 33 cultivadas sob 50% de luz (Fig. 33 d, e, 25/05/00), e a progênie 3 (Fig. 33 f, 24/05/00) também apresentaram assimilação bastante reduzida entre 9:40 h e 11:30. Assim, não se pode comparar a assimilação de CO_2 entre progênies, devido a forte influência de fatores associados ao horário das medidas realizadas.

A curva de A_{CO_2} foi realizada em folíolos expostos à luz, que foram escurecidos e iniciado aumentos nos níveis de DFF. Observa-se que o aumento da condutância estomática da planta cultivada no solo de Mata contrasta com o decréscimo da mesma para planta cultivada no solo de Cerrado (Fig. 32d). O decréscimo inicial e posterior aumento na condutância da planta cultivada no solo de Cerrado sob 50% de luz (Fig. 32d) corresponde

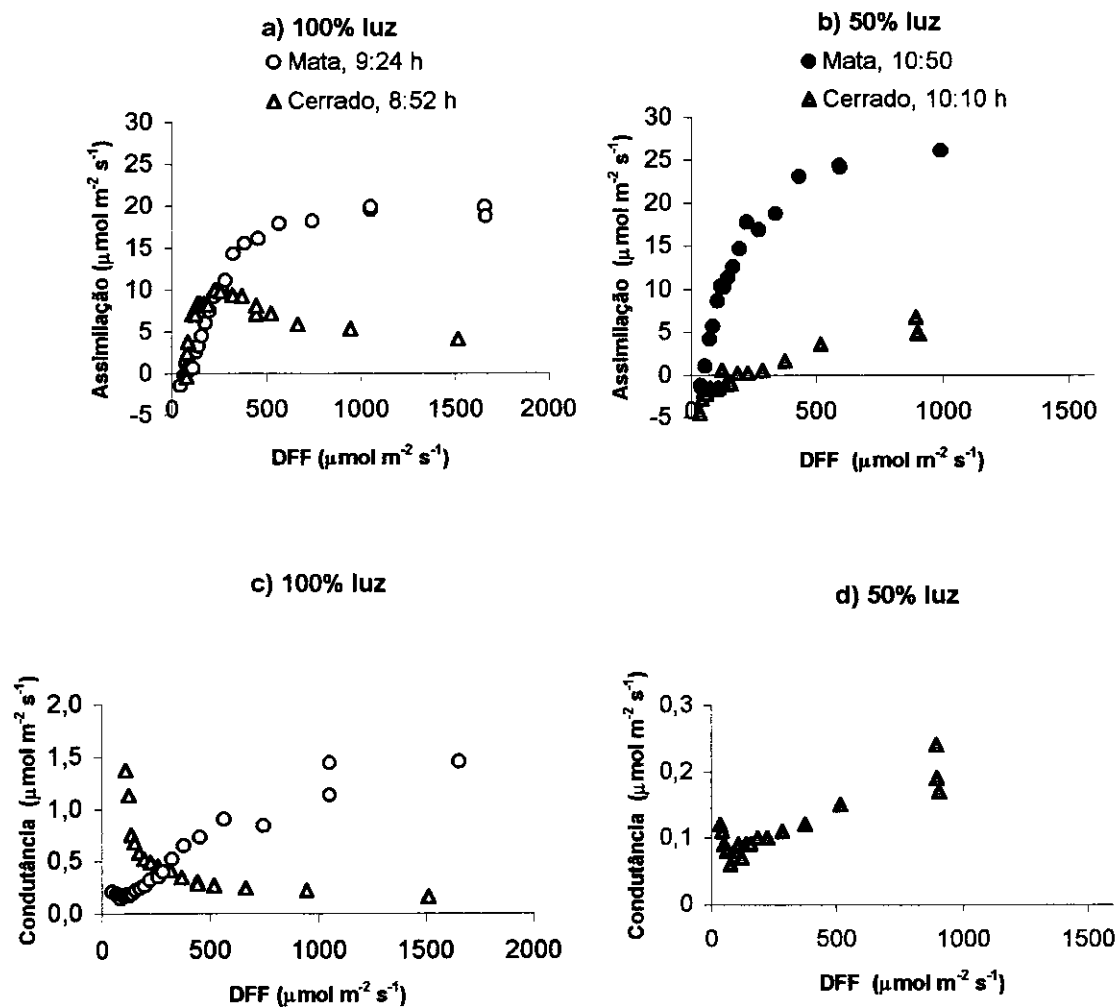


FIGURA 32. Taxa de assimilação de CO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; a e b) e condutância estomática ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; c e d) de *D. alata* Vog., progênie 59, cultivadas em solos de Mata e Cerrado, sob dois níveis de luz (a, b). Medidas do dia 27/04/00.

100% de luz

50% de luz

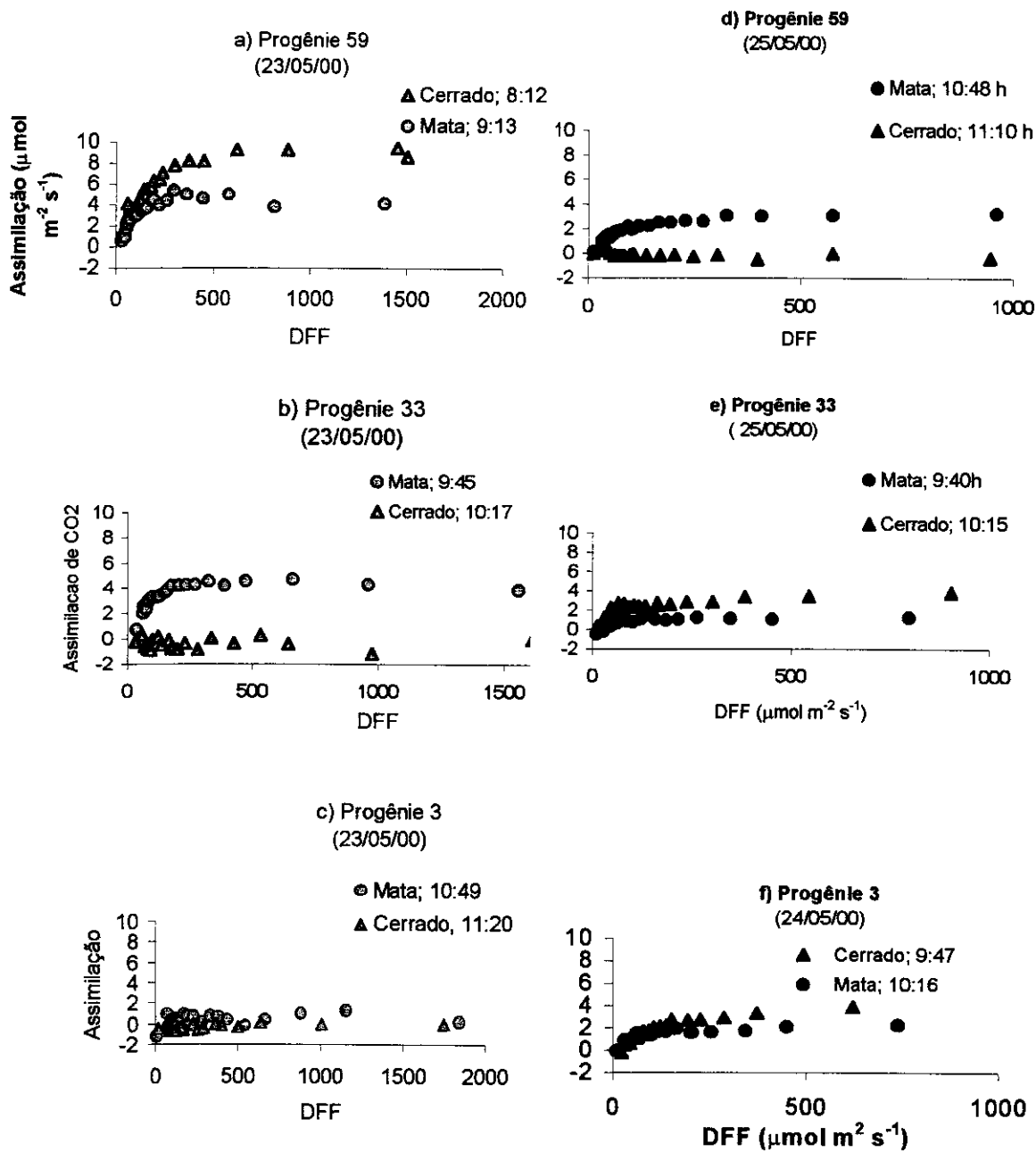


FIGURA 33. Assimilação de CO₂ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em função da densidade de fluxo de fótons (DFF, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de *D. alata* Vog. da progênie 3 (a, d), progênie 33 (b, e) e progênie 59 (c, f) cultivadas sob plena luz (a, b, c) e 50% de luz (d, e, f) no viveiro. (Exp. 2).

ao fechamento dos estômatos devido o escurecimento do folíolo, que, com o aumento da DFF, voltaram a se abrir. Na planta cultivada no solo de Cerrado sob luz plena, não houve reabertura estomática.

Fluorescência da clorofila

Os valores de rendimento quântico avaliados antes da incidência dos primeiros raios solares do dia (F_v/F_m), ou no decorrer do dia (F_v'/F_m'), indicam o estado do aparato fotossintético. As folhas são consideradas estressadas ou não recuperadas, quando apresentam valores de F_v/F_m abaixo de 0,72 antes do amanhecer, por exemplo, após um dia sujeito à luz intensa ou deficiência hídrica.

Plantas de *D. alata* Vog. cultivadas no solo de Cerrado sob 50% de luz apresentaram valores máximos de taxa de transporte de elétrons, em função da densidade de fluxo de fótons, mais baixos que as cultivadas sob solo de Cerradão e Mata (Fig. 34). Sob 10% de luz, algumas plantas crescidas no solo de Cerrado apresentaram valores baixos de ETR (Fig. 34), indicando que o rendimento quântico destes folíolos está baixo.

Durante um dia, maior número de folíolos das plantas sob 10% de luz receberam incidência luminosa mais alta durante o período da manhã (Fig. 35 a, b, c). Valores de rendimento quântico abaixo de 0,6 nas plantas cultivadas nos solos de Cerrado e Cerradão sob 10% de luz indicam limitação no aparato fotossintético. O baixo rendimento quântico no período da manhã (Fig. 35a, 09/04/99) indica plantas cultivadas no solo de Cerrado e Cerradão (Fig. 35b) com algum outro fator limitante à assimilação de CO₂. A maioria das plantas cultivadas no solo de Mata sob 10% de luz alcançaram valores de rendimento quântico entre 0,6 e 0,8.

Plantas cultivadas sob 50% de luz receberam intensidades diferentes no decorrer do dia (Fig. 36a, b, c), mas todos os folíolos entre 13 e 14 horas receberam baixa luz. A maioria dos valores de rendimento quântico em plantas cultivadas sob 50% de luz em solo de Cerrado foram abaixo de 0,4 até 13 h (Fig. 36d), alcançando valores mais altos antes das 14 h e às 18h quando houve queda no DFF (Fig. 34a). Mas, as cultivadas no solo de Cerrado e Mata, sob 50% de luz, apresentaram variados valores de rendimento quântico acima de 0,4 durante o período de maior incidência do dia (Fig. 36e, f), alcançando assim ETR mais altos que plantas cultivadas no solo de Cerrado (Fig. 34).

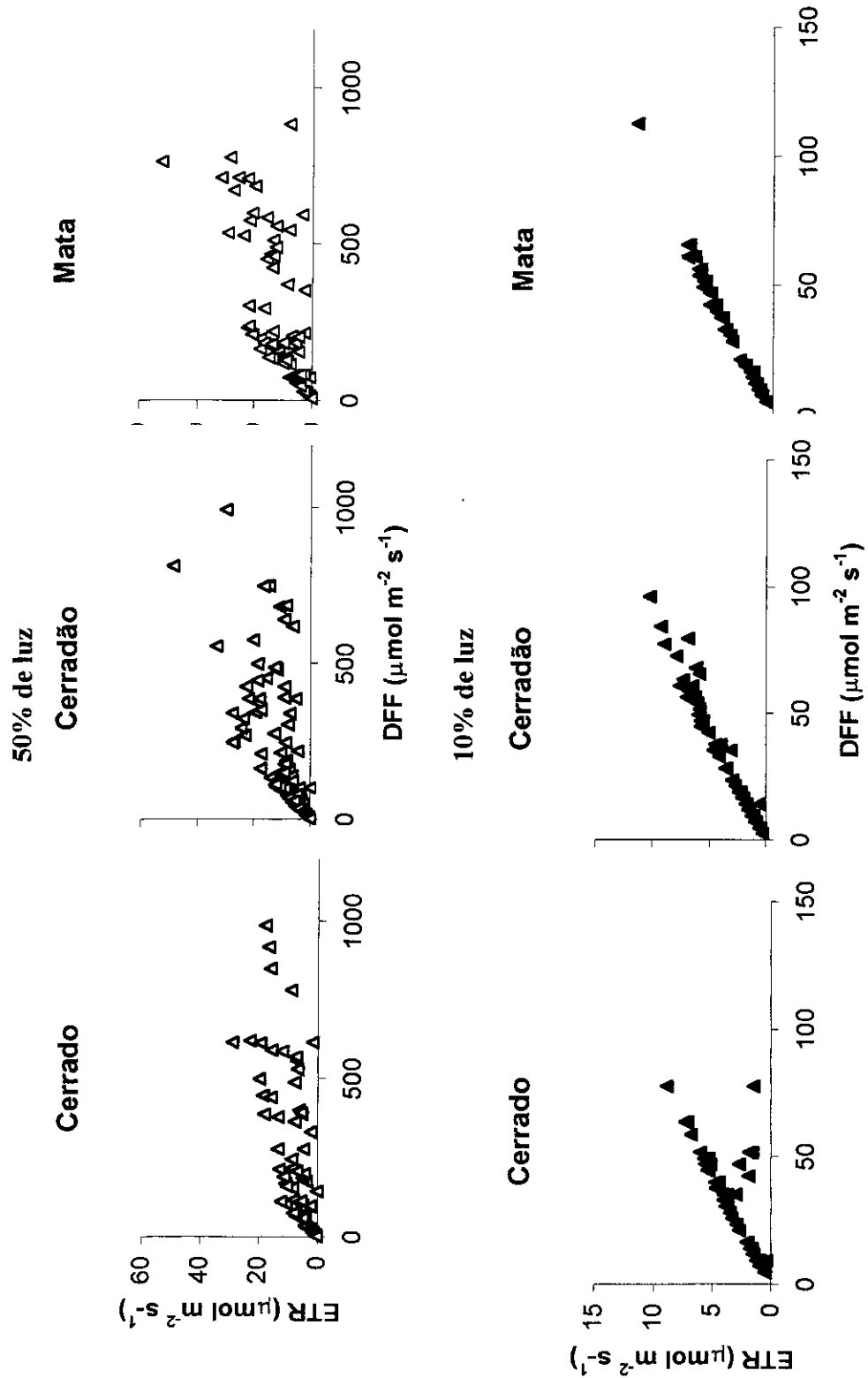


FIGURA 34. Taxa de transporte aparente de elétrons (ETR) em função da densidade de fluxo de fótons (DFF) de *D. alata* Vog. cultivada em três solos e dois níveis de luz, em casa de vegetação (Exp. 1).

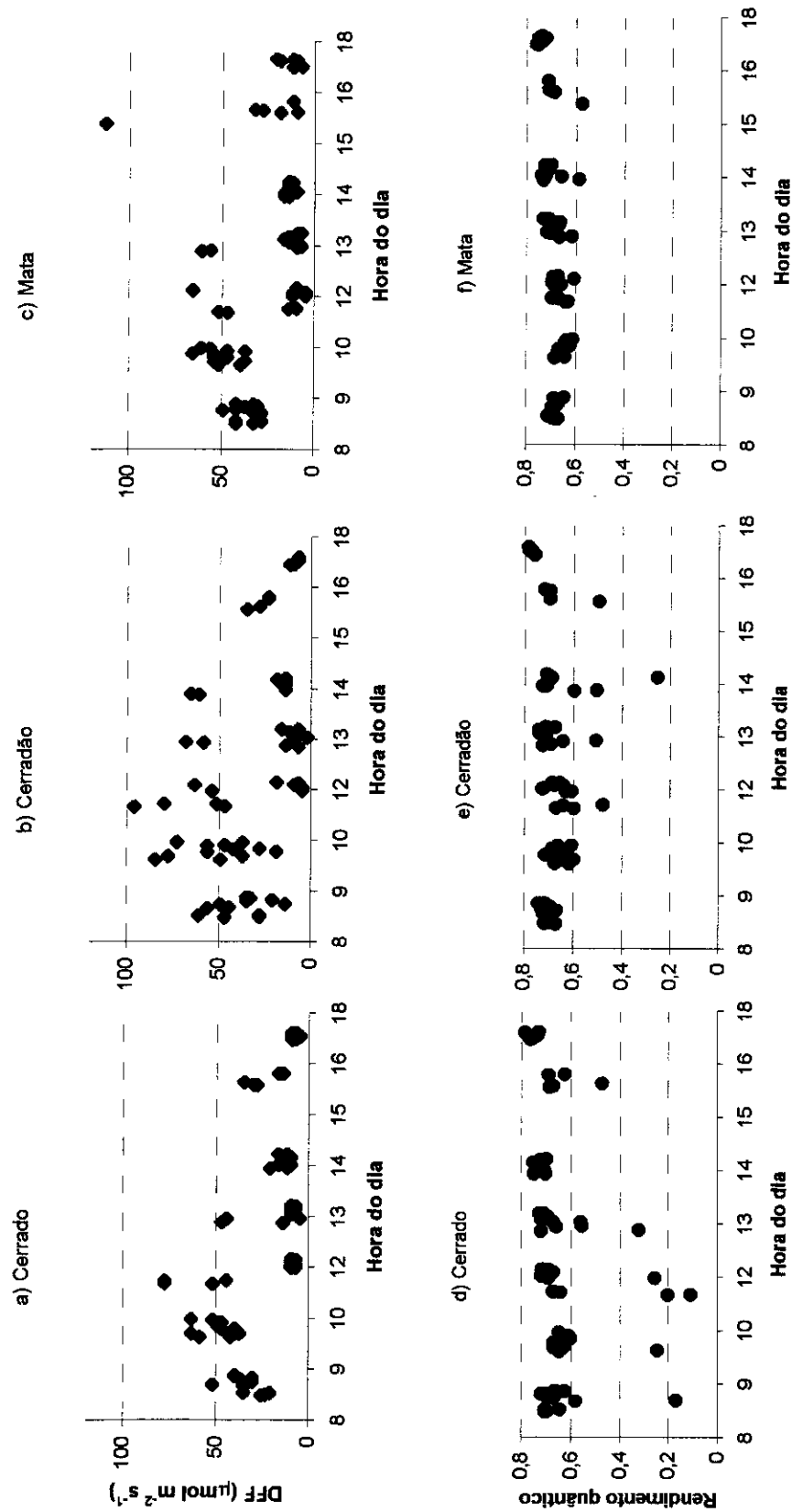


FIGURA 35. Densidade de fluxo de fótons (DFF) e rendimento quântico (Fv'/Fm') diário (09/04/99) de *D. alata* Vog. cultivada sob 10% de luz, em diferentes solos, na casa de vegetação (Exp. 1).

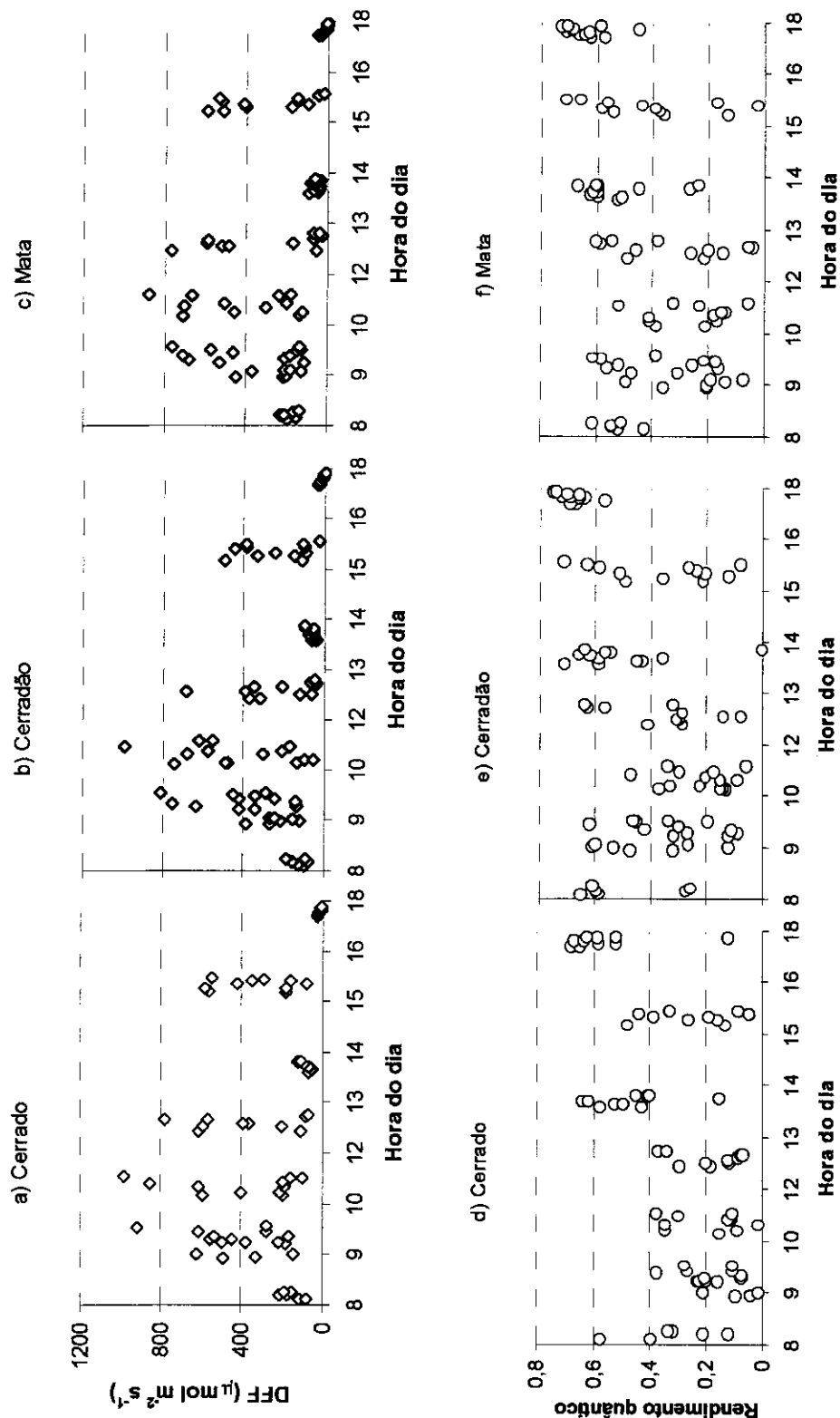


FIGURA 36. Densidade de fluxo de fótons (DFF) e rendimento quântico (F_v/F_m) diário (09/04/99) de *D. alata* Vog. cultivada sob 50% de luz, em diferentes solos, na casa de vegetação (Exp. 1).

D. alata Vog. apresentou inibição no rendimento quântico inicial, devido principalmente à intensidade de luz no mês de maio e aos fatores edáficos no mês de fevereiro, contribuindo para a variação dos valores de F_v/F_m (Anexo VI). A luz teve influência em todas as avaliações, enquanto o solo e a progênie ocasionalmente contribuíram no decréscimo de F_v/F_m .

No mês de fevereiro, baixos valores de F_v/F_m foram obtidos na maioria dos tratamentos, exceto para plantas cultivadas no solo de Cerrado sob 50% de luz (Fig. 37a, b). Provavelmente, no mês de fevereiro, as chuvas devem ter afetado as condições de aeração do solo de Mata, causando danos no aparato fotossintético. Sob 50% e 100% de luz, no mês de fevereiro, menores valores foram observados em plantas cultivadas no solo de Mata do que Cerrado, mas, no mês de maio, não foram observados valores de F_v/F_m menores que 0,4.

No mês de maio, as plantas cultivadas no solo de Cerrado (Fig. 37c) apresentaram melhor potencial para realização da fotossíntese, com exceção das plantas sob alta intensidade de luz. Neste mês, plantas sob luz plena, tanto as cultivadas no solo de Mata como no de Cerrado, devem ter recebido excesso de luz, mesmo com a inclinação dos folíolos. A maioria das plantas sob 12,5% e 25% de luz, cultivadas no solo de Cerrado, apresentaram valores de F_v/F_m próximos de 0,75, mostrando melhores condições que as plantas cultivadas no solo de Mata. É provável que as baixas concentrações de manganês foliar das plantas cultivadas no solo de Mata (Fig. 24) tenham afetado o fotossistema II.

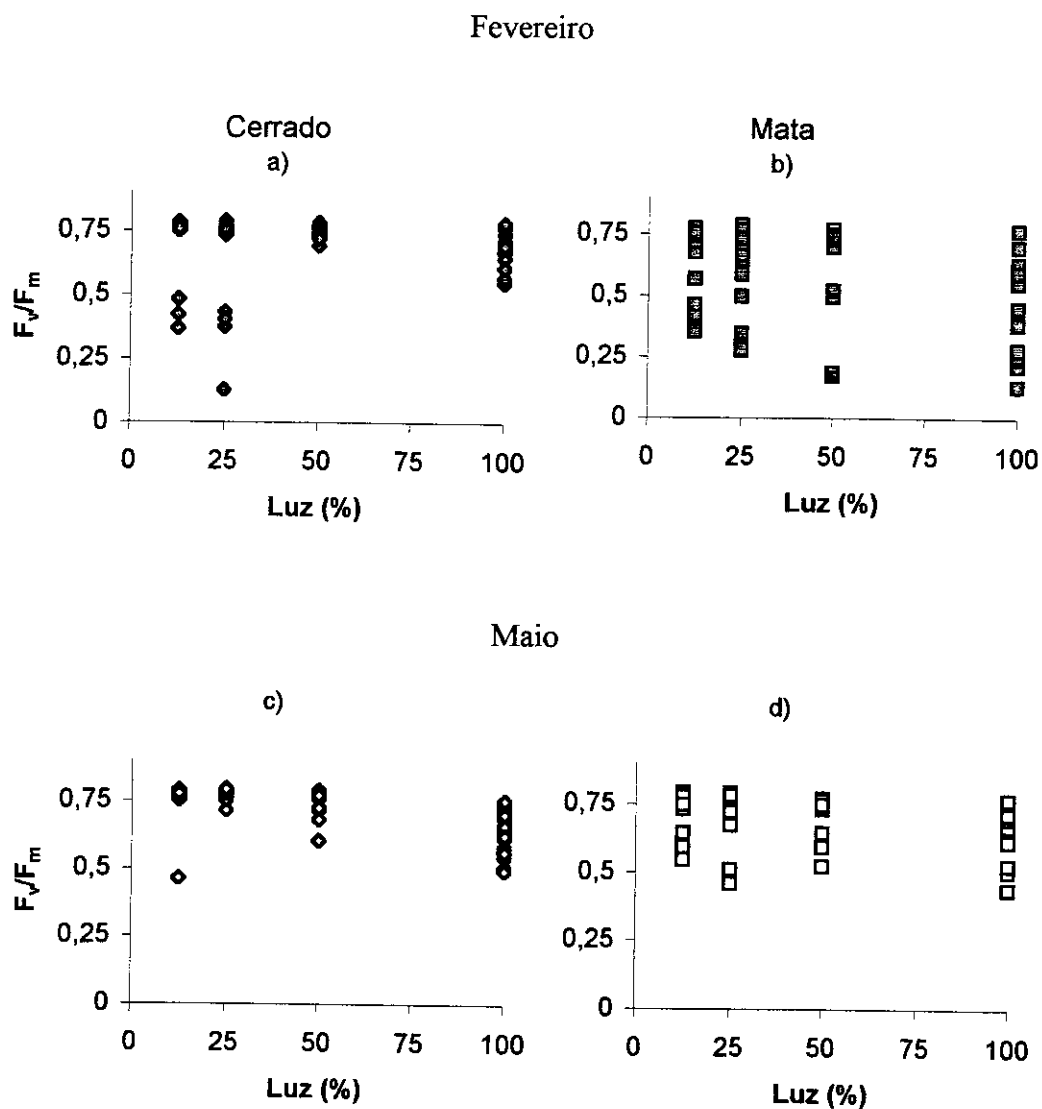


FIGURA 37. Valores de rendimento quântico (F_v/F_m) antes da incidência da luz solar, de *D. alata* Vog. cultivada sob quatro intensidades de luz, apresentando diferenças nos solos de Cerrado (a, c) e Mata (b, d), durante dois dias nos meses de fevereiro (a, b) e maio (c, d). Cada intensidade de luz contém 36 pontos, muitos sobrepostos.

DISCUSSÃO

Crescimento em altura

O crescimento em altura de *Dipteryx alata* Vog. foi rápido nos primeiros dois meses (Fig. 2b e 3), tendo pouco acréscimo após este período, com exceção apenas das plantas cultivadas sob 10% de luz no solo de Mata, em casa de vegetação. Resultados similares foram obtidos em experimento de nutrição (Melo, 1999) e comparação entre progênies (Corrêa, 1999) crescidas sob uma intensidade de luz. Comparando os dois experimentos do presente trabalho, a maior altura média em casa de vegetação (30 cm nas plantas cultivadas sob 10% de luz no solo de Mata) foi o dobro da maior altura média no viveiro (14 cm nas plantas cultivadas sob 50% de luz no solo de Cerrado), após 28 semanas. Nas plantas cultivadas no solo de Mata sob 10% de luz, a maior altura (Fig. 2a) resultou de um número maior de entrenós (Fig. 3b) e de folhas (Fig. 2b) do que plantas sob 50% de luz. No viveiro (Tab. 10), a altura das plantas sob plena luz foi menor que sob outras intensidades de luz, mas não houve diferença entre solos de Mata e Cerrado.

O menor crescimento em altura de *D. alata* Vog. sob luz plena (Fig. 2b e 3a) foi contrário do resultado observado por Melhem (1972), que obteve maior crescimento sob luz plena, e com os resultados de Carvalho e Felfili (1988), que observaram maior altura apenas nas plantas sob 5% de luz. Dados contrastantes de crescimento em altura entre esses experimentos devem estar relacionados com fatores ambientais. A observação de Melhem (1972), de que o crescimento na sombra foi afetado pela baixa temperatura e alta umidade do solo de Mata, parece estar coerente com os resultados obtidos no viveiro. As plantas cultivadas no solo de Mata na casa de vegetação, onde a temperatura foi mais alta e a umidade do solo controlada, cresceram mais do que no viveiro, onde receberam água abundante das chuvas (talvez em excesso), além da irrigação.

A altura média de *D. alata* Vog. de cerca de 11 cm na casa de vegetação e de 8 cm no viveiro, após quatro semanas de semeadura, foi menor que a observada por outros autores. Melo (1999) obteve cerca de 12,5 cm, e Corrêa (1999) observou variação média de 9,40 cm a 21,37 cm de altura entre 150 progênies meio irmãos de *D. alata* Vog. de um mês de idade. Corrêa (1999) obteve correlações significativas de massa de sementes com altura e diâmetro basal de plântulas de 30 dias ($r^2 = 0,489$ e $0,438$; respectivamente) nestas 150 progênies meio irmãos. Segundo este autor, frutos e sementes do norte/nordeste do estado de Goiás foram menores em comparação com aquelas das regiões sudeste e

inesperada, e contrastante com a menor produção nas plantas sob 12,5% de luz em relação aos outros níveis de luz no viveiro. Plantas cultivadas sob 10% de luz tiveram mais massa foliar do que aquelas sob 50% de luz na casa de vegetação (Fig. 4, Tab. 4), mas não houve diferença entre os níveis de luz no viveiro. Neste último caso, mais massa foliar e matéria seca total foi produzida no solo de Cerrado do que de Mata (Tab. 10; Fig. 11). Diferenças entre progênes quanto à massa foliar foram observadas apenas no viveiro, onde a progênie que produziu menos folhas foi a que alcançou a menor matéria seca total (Tab. 9; Fig. 16). Assim, a massa foliar causou uma relação positiva com a produção de matéria seca total, indicando que a intensidade de luz, solo e progênie afetaram o crescimento inicial de *D. alata* Vog. dependendo também de outros fatores ambientais.

A germinação dos frutos de *D. alata* Vog. no campo estaria iniciando após cerca de 45 dias do início das chuvas (Filgueiras e Silva, 1975; Melhem, 1972), e a emergência das plântulas estaria ocorrendo aproximadamente em dezembro. Após a emergência, a altura inicial desta espécie estaria entre 5 a 10 cm, representada pela inserção das folhas primárias (Fig. 4 e 5). Na altura de 5 e 10 cm do solo, no período de maior incidência luminosa diária nas fitofisionomias de Campo sujo e Cerradão no mês de dezembro, a densidade de fluxo de fótons foi de 200 a 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Kanegae *et al.*, 2000). Nesta faixa de intensidade luminosa, equivalente a 12,5% até 50% de luz no viveiro, a massa foliar de *D. alata* Vog. não foi afetada pela intensidade de luz, mas pelo solo, nos dois experimentos deste trabalho (Tab. 4 e 10).

Não houve influência da luz sobre a matéria seca e área basal do caule (Tab. 4, 6 e 10), mas a razão caule/matéria seca total diminuiu com o aumento da intensidade de luz (Fig. 19a). A razão caule/massa seca total da planta variou com o tempo e intensidade luminosa (Fig. 19a), sendo cada vez maior nas plantas sob 12,5% de luz. O aumento da massa seca do caule com o tempo, nas plantas sob 12,5% de luz no viveiro, não foi acompanhado pelo aumento na altura ou área basal, indicando que a densidade do caule deve ter alterado.

Diferença entre progênes na massa seca caulinar foi observada apenas no viveiro, onde menor massa caulinar foi produzida pela progênie 33 e maior pela progênie 3, aos 247 dias (Fig. 16c). Esta última progênie, não utilizada no experimento da casa de vegetação, também apresentou maior razão caule/matéria seca total do que as outras (Fig. 19c). Diferenças no material utilizado podem explicar os resultados diferentes obtidos nos

dois experimentos. A progênie de menor massa de semente foi a que produziu menor massa caulinar e menor área basal aos 247 dias, no viveiro, estando de acordo com a correlação positiva entre área basal e massa de sementes obtida por Corrêa (1999) aos 30 dias, entre 150 progênies cultivadas sob 50% de luz.

A proporção de massa seca do caule em relação à massa seca total muda com o tempo nas espécies arbóreas (Larcher, 2000). *D. alata* Vog. alcançou menos de 25% de massa seca caulinar em relação ao total sob 12,5% de luz, 247 dias após o início da germinação, no presente trabalho. Melo (1999) também observou menor alocação de massa seca para o caule comparado com folha e raiz para esta espécie, aos 210 dias de cultivo (Fig. 43). Isto indica que a alocação de recursos para o caule desta espécie arbórea foi baixa neste período, e a mudança deve ocorrer, provavelmente, após passar pela primeira estação seca. Mesmo para as plantas cultivadas sob baixa intensidade de luz onde, geralmente, o crescimento da parte aérea é favorecido, a maior alocação da matéria seca foi para a raiz (> 50%), aos 247 dias (Fig. 20a).

Menor massa caulinar produzida por *D. alata* Vog. no solo de Cerrado na casa de vegetação foi, novamente, oposto ao resultado obtido no viveiro, onde menor massa caulinar foi obtida no solo de Mata. A adição de Mg e P aumentou a produção de matéria seca de caule (Melo, 1999) ou parte aérea (Ulhôa, 1997), mas, respostas à adição de cálcio foram contraditórios. Melo (1999) não observou diferença no crescimento em altura ou matéria seca de caule de *D. alata* Vog. cultivado em vasos contendo um latossolo vermelho escuro, mas Ulhôa (1997) observou efeito negativo da adição de cálcio na parte aérea, num latossolo vermelho amarelo. Nas deficiências nutricionais de N, P (Marschner *et al.*, 1996) e S (Ericsson, 1995), os carboidratos não utilizados na síntese protéica para crescimento da parte aérea tornam-se disponíveis ao crescimento radicular (Marschner *et al.*, 1996). No presente trabalho, com a maior disponibilidade de cálcio, magnésio e fósforo no solo de Mata do que de Cerrado (Tab. 2), seria esperado que a alocação de recursos para a parte aérea fosse maior nas plantas cultivadas no solo de Mata. O resultado contraditório dos dois experimentos talvez seja devido a pouca importância da alocação de recursos para o caule nesta fase de crescimento, ou consequência de outros fatores nutricionais discutidas nesse item.

As raízes secundárias foram acentuadamente mais longas no solo de Cerrado do que no solo de Mata aos 45 dias nas progênies 3 e 59 (Fig. 11), mas, aos 90 dias de cultivo, a

interação entre solo e progênie não foi mantida. Raízes secundárias de plantas cultivadas no solo de Cerrado permaneceram mais longas, destacando-se as plantas sob 50% de luz em ambos os solos (Fig. 12). Mais matéria seca de raiz secundária foi observada em plantas crescidas no solo de Cerrado, e sob intensidades mais altas de luz (100% e 50%) do que baixas (25% e 12,5%), aos 90 dias (Tab. 11).

A matéria seca da raiz principal foi afetada pela intensidade luminosa e progênie desde 45 dias e persistiu até a terceira e última avaliação aos 247 dias, enquanto o efeito do solo só foi verificado aos 247 dias (Tab. 11). Novamente, o efeito da luz, do solo e da progênie sobre a produção de matéria seca da raiz principal resultou em respostas contraditórias entre os dois experimentos. No viveiro, a resposta a luz foi similar a da raiz secundária, com mais massa seca nas plantas sob intensidades mais altas de luz, mas o inverso foi obtido na casa de vegetação para os solos de Cerrado e Mata (Fig. 6b). Respostas para alocação de recursos para parte subterrânea com a intensidade de luz ou disponibilidade de nutriente dependem da espécie da planta (Canham *et al.*, 1996; Grubb *et al.*, 1996; Reynolds e Dantonio, 1996; Veenendaal *et al.*, 1996), mas respostas diferentes para a mesma espécie geralmente pode ser causado pela variabilidade genética (James e Bell, 2000; St Clair e Sniezko, 1999), herança maternal (Castro, 1999; Wulff *et al.*, 1999), origem geográfica (Benowicz *et al.*, 2000; Van Rijn *et al.*, 2000) ou ontogenia (Gedroc *et al.*, 1996).

A razão raiz/parte aérea foi mais alta nas plantas cultivadas no solo de Cerrado do que de Mata e foi significativamente mais alta sob luz plena e 50% de luz, do que outros níveis de luz, aos 247 dias (Fig. 17). Mas, este resultado contrastou com a menor produção de raiz e da razão raiz/matéria seca total sob 50% de luz do que 10% de luz nos solos de Cerrado e Mata, obtidas na casa de vegetação (Fig. 5b). A menor razão raiz/parte aérea sob intensidades mais baixas de luz observado no viveiro está de acordo com os resultados obtidos por outros autores (Barbosa *et al.*, 2000; Felfili *et al.*, 1999; Kitajima, 1994; Minotta e Pinzauti, 1996). A razão raiz/parte aérea aumenta com a deficiência de nitrogênio e fósforo (Cakmak *et al.*, 1994; Ericsson, 1995). Melo (1999) observou decréscimo na razão raiz/parte aérea de *D. alata* Vog. com a adição de N, mas não com a adição de P. Se a alta intensidade de luz e deficiência nutricional favorecem o crescimento radicular em relação à parte aérea (Browner, 1962), a maior disponibilidade de carboidrato para o crescimento da raiz nos solos de Cerrado sob intensidades de luz mais altas pode

explicar o resultado obtido no viveiro, mas não da casa de vegetação, onde mais massa radicular foi observada nas plantas sob 10% do que 50% de luz, nos solos de Mata e Cerrado.

Além da fertilidade do solo, outros fatores como disponibilidade de água, temperatura e densidade de raízes afetam a razão raiz/parte aérea (Browner, 1962a; Klepper, 1991). A deficiência hídrica afeta negativamente a concentração de N e P nas folhas e raízes, abertura estomática, fotossíntese líquida e formação de novas folhas, restringindo o crescimento da parte aérea (Browner, 1962b) e favorecendo a alocação de recursos para a raiz (Klepper, 1991). O excesso de água causa anoxia, provocando decréscimo na absorção de nutrientes e fechamento estomático, diminuindo o crescimento radicular (Browner, 1962b). Assim, a água da irrigação somado à chuva no viveiro pode ter causado anoxia nas plantas cultivadas no solo de Mata, cuja drenagem foi mais lenta que a do solo de Cerrado. Na casa de vegetação, a adição de água de maneira mais controlada, aliada à maior temperatura e demanda evaporativa causada pela ventilação artificial pode ter até causado falta de água no decorrer do dia, nos solos com menor disponibilidade de água, restringindo o crescimento da planta. Devido à maior contribuição do sistema radicular para a matéria seca total, os tratamentos que resultaram em maior massa radicular alcançaram maior massa total (Fig. 4c, 7b).

O sistema radicular parece ser um importante parâmetro morfológico para avaliar o desenvolvimento de *D. alata* Vog. Para a sobrevivência de plântulas nos ambientes com veranicos e seca sazonal do Cerrado, a estruturação, distribuição da raiz, e o seu comprimento e massa devem ser fundamentais para captar e armazenar água suficiente até ultrapassar a fase de deficiência hídrica. Assim, a parte aérea das mudas de *D. alata* Vog. no pré-plantio pode refletir muito pouco quanto ao potencial de desenvolvimento e sobrevivência no campo, se a parte subterrânea da muda apresentar pouco desenvolvida.

Fatores nutricionais

Em ambos os experimentos, foram observados sintomas de desequilíbrio nutricional nos folíolos. Houve necrose nas extremidades apicais dos folíolos e clorose entre nervuras, simultaneamente. Na casa de vegetação, estes sintomas surgiram apenas nas folhas primárias, após a primeira emissão de folhas definitivas, e foram independentes de solo e mais acentuados nas plantas sob 50% de luz. No viveiro, estes sintomas surgiram mais

tarde nas folhas definitivas e foram mais acentuados nas plantas cultivadas nos solos de Mata. A causa do sintoma não foi esclarecida.

Diferença significativa na concentração de nutrientes foliares nas plantas cultivadas sob luz plena foi observada para cálcio. Nas plantas cultivadas no solo de Mata a concentração de cálcio foliar foi mais que o dobro do Cerrado (Fig. 22). A concentração de cálcio nas folhas de plantas cultivadas no solo de Cerrado no viveiro alcançou valores próximos aos observados por Ulhôa (1997) e Melo (1999). Ulhôa (1997) observou crescimento menor de *D. alata* Vog. com adição de alta quantidade de cálcio no solo de Cerrado contendo baixa concentração de fósforo. Maior disponibilidade de cálcio no solo de Mata utilizado no experimento em viveiro (Tab. 2) pode ter reduzido a raiz secundária (Fig. 11 e 12; Tab. 10). O cálcio em excesso no solo pode afetar a estrutura de raízes (Kerley, 2000), inibir o crescimento de raiz pela alteração do pH (Tang e Turner, 1999) ou afetar o transporte de fósforo para a folha e causar acúmulo de carboidratos na folha (Ruiz e Romero, 1998).

O menor crescimento de *D. alata* Vog. sob 50% de luz no solo de Mata comparado com o crescimento sob 10% de luz no mesmo solo, na casa de vegetação, pode ter sido causado pelo excesso de cálcio absorvido sob a maior intensidade de luz. O cálcio é transportado através do xilema pelo fluxo de transpiração (Marschner, 1995). Na casa de vegetação, a ventilação artificial aliado à intensidade mais alta de luz deve ter aumentado a demanda evaporativa das plantas, levando muito cálcio para as folhas, diminuindo a área foliar das plantas no solo de Mata, com teor alto deste elemento (Tab. 2). O excesso de cálcio diminui a concentração de clorofila nas folhas jovens de planta calcífuga (Tang *et al.*, 1995), reduz o comprimento dos folíolos (Tang *et al.*, 1995) e pode afetar o funcionamento dos estômatos (McLaughlin e Wimmer, 1999), diminuindo a capacidade fotossintética (Silva *et al.*, 1994), e o crescimento da planta (Tang *et al.*, 1995).

A concentração de manganês foliar de *D. alata* Vog. crescendo no viveiro em solo de Mata (média de 52 mg/kg) obtida neste trabalho (Tab. 12) foi menor que os níveis observados por Araújo e Haridasan (1988) nas folhas de leguminosas (acima de 290 mg/kg). Dependendo da planta, concentrações de manganês abaixo de 10 a 20 mg/kg nas folhas inteiramente expandidas podem causar deficiência, como clorose internervural nas folhas mais jovens (Marschner, 1995). A deficiência de manganês pode causar alteração na ultra-estrutura da membrana do tilacóide, afetando a formação dos grana, e consequência

negativa sobre a evolução de O₂ (Marschner, 1995). Também diminui o crescimento radicular, tanto da raiz principal como da lateral, devido à alteração no metabolismo de síntese da lignina e falta de carboidrato (Marschner, 1995). Com um suprimento adequado de Mn (279 mg/kg de massa foliar), plântulas de *Betula pendula* Roth. produziram 20% de massa radicular em relação à matéria seca total, enquanto as deficientes alcançaram apenas 8%, e menor área foliar específica (Göransson, 1994). Concentração de 636 mg/kg de Mn nas folhas de leguminosas mais comuns nos solos mesotróficos (Araújo e Haridasan, 1988) pode ser indicio de que este grupo de plantas tem ponto crítico de manganês alto. O manganês é absorvido pela planta na forma reduzida (Mn²⁺) no solo, e sua disponibilidade é alterada quando reduzida pelo pH básico, atividade microbiana, exsudados da raiz e solos encharcados (Marschner, 1995). A menor concentração de Mn por massa seca (Fig. 23) e por área foliar no solo de Mata (Tab. 14) e baixa formação de raízes neste solo, indicam que a falta deste nutriente pode ter causado o menor crescimento de *D. alata* Vog. neste solo, devido ao excesso de água, no viveiro. Estudo específico de concentração foliar de manganês pode esclarecer a sua importância para esta espécie.

A concentração foliar de S em *D. alata* Vog. foi mais alta nas plantas cultivadas no solo de Mata do que Cerrado (Tab. 12), ao contrário da disponibilidade deste elemento no solo (Tab. 2). Plantas de *D. alata* Vog. cultivadas no solo de Mata alcançaram concentrações próximas ao limite mínimo de 0,09% de S nas folhas. Segundo Marschner (1995), de um modo geral seria necessário cerca de 0,1 a 0,5% de S na matéria seca da planta para se obter um desenvolvimento satisfatório. No solo utilizado por Ulhôa (1997) houve aumento na disponibilidade de enxofre com o aumento na dose de calcário (Tab. 3), apesar de ter utilizado carbonato de cálcio para estabelecer os diferentes níveis de cálcio e igual quantidade de sulfato de potássio. Esse autor não analisou a concentração de S na planta. Baixos teores de aminoácidos sulfurados nas sementes (Togashi e Sgarbieri, 1994) e concentração de 0,03% na folha (Melo, 1999) indicam que esta espécie não deve ser exigente para este nutriente.

As concentrações de alumínio e ferro por área foliar de *D. alata* Vog. não diferiram entre solos de Mata e Cerrado. Ambos os nutrientes apresentaram alta concentração por área foliar nas plantas sob luz plena (Tab. 13) associado à redução na área foliar (Tab. 8).

É possível que plantas cultivadas no solo de Cerrado tenham se beneficiado da micorriza, pois foi observada micorrização aos 45 dias, alta porcentagem de colonização

aos 90 dias e presença de maior número de esporos de fungos micorrízicos no solo de Cerrado do que de Mata, aos 247 dias. O efeito da micorriza no crescimento das plantas está relacionado com a taxa e extensão da colonização radicular (Abbott e Robson, 1981; Medina *et al.*, 1988), enquanto a produção de esporos está associado ao crescimento da planta e não à colonização radicular (Daft e Nicolson, 1972; Giovannetti *et al.*, 1988), podendo ocorrer exceções (Antunes e Cardoso, 1991). Embora os esporos das espécies de fungos presentes no solo nem sempre correspondem com as espécies presentes na raiz (Brundrett *et al.*, 1999), a colonização ocorre com maior intensidade quando há disponibilidade de carboidratos na raiz (Graham *et al.*, 1997; Pearson *et al.*, 1994). Esta condição é favorecida em plantas sob alta intensidade de luz ou baixa disponibilidade de nutrientes como fósforo (Reinhard *et al.*, 1994), auxiliando na absorção de nutrientes em solos menos férteis (George *et al.*, 1995; Siqueira *et al.*, 1998) como as do Cerrado (Reis, 1999). A micorriza que modifica a estrutura da raiz (Berta *et al.*, 1995) ou a microbiota no solo (Schreiner *et al.*, 1997) pode favorecer o aumento na absorção de água (Buwalda, 1993) ou nutrientes (Clark e Zeto, 2000). Embora plantas com massa de sementes acima de uma grama alcance menor benefício com a micorriza (Zangaro *et al.*, 2000), sua contribuição pode ser alta para *D. alata* Vog. (Rosado e Carvalho, 1998).

Fisiologia das mudas

Foram constatadas variações morfológicas de folíolos de *D. alata* Vog. frente a diferentes condições de luz e solo, já relatadas para outras espécies. O aumento no número de estômatos com aumento da luminosidade (Holmes e Cowling, 1993; Furukawa, 1997), redução na área foliar (Holmes e Cowling, 1993; Tognetti *et al.*, 1998) e na área foliar específica (Grubb *et al.*, 1996; Schiefthaler *et al.*, 1999) sob alta intensidade de luz foram apresentadas pelas plantas jovens de *D. alata* Vog.

A inclinação vertical dos folíolos de *D. alata* Vog. diminui a incidência luminosa próximo ao meio dia, como observada em outras espécies tropicais (Lovelock e Clough, 1992; Clearwater e Gould, 1995; He *et al.*, 1996; King, 1997; Ishida *et al.*, 1999). Não apresenta movimento, como o heliotropismo, característica de espécies que controlam a incidência de luz diariamente (Caldas *et al.*, 1997; Watling *et al.*, 1997).

Maior concentração de clorofila *b* por área foliar foi observado nos folíolos sob sombra do que sob plena luz (Fig. 23a), estando de acordo com o resultado obtido por

CONCLUSÕES

A alta intensidade de luz diminuiu o crescimento em altura de *D. alata* Vog.

A baixa fertilidade do solo favoreceu o maior desenvolvimento radicular de *D. alata* Vog.

A alta intensidade de luz em solos com alta disponibilidade de cálcio aumentou a concentração de cálcio nas folhas.

O excesso de cálcio absorvido e a deficiência de manganês podem ter causado redução no sistema radicular de *D. alata* Vog., reduzindo o seu crescimento.

A taxa de fotossíntese de *D. alata* Vog. foi limitada pela condutância estomática, sendo mais alta no início do período da manhã.

O rendimento quântico de *D. alata* Vog. foi reduzido pela alta intensidade de luz e provavelmente pelo excesso de umidade do solo na época das chuvas.

BIBLIOGRAFIA

- Abbott, L.K.; Robson, A.D. 1981. Infectivity and effectiveness of five endomycorrhizal fungi: competition with indigenous fungi in field soils. **Australian Journal of Agricultural Research** 32: 631-639.
- Abrams, M.D.; Kloeppel, B.D.; Kubiske, M.E. 1992. Ecophysiological and morphological responses to shade and drought in two contrasting ecotypes of *Prunus serotina*. **Tree Physiology** 10: 343-355.
- Adams III, W.W.; Demmig-Adams, B.; Verhoeven, A.S.; Barker, D.H. 1995. Photoinhibition during winter stress - involvement of sustained xanthophyll cycle dependent energy dissipation. **Australian Journal of Plant Physiology** 22: 261-276.
- Allen, M.T.; Pearcy, R.W. 2000. Stomatal behavior and photosynthetic performance under dynamic light regimes in a seasonally dry tropical rain forest. **Oecologia** 122: 470-478.
- Almeida, S.P.; Silva, J.A.; Ribeiro, J.F. 1990. **Aproveitamento alimentar de espécies nativas dos Cerrados: araticum, baru, cagaita e jatobá**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC. 83 p.
- Anderson, J.M. 1986. Photoregulation of the composition, function, and structure of thylakoid membranes. **Annual Review of Plant Physiologist** 37: 93-136.
- Anderson, J.M.; Aro, E.M. 1994. Grana stacking and protection of Photosystem II in thylacoid membranes of higher plant leaves under sustained high irradiance: an hypothesis. **Photosynthesis Research** 41: 315-326.
- Anderson, J.M.; Park, Y.I.; Chow, W.S. 1997. Photoinactivation and photoprotection of photosystem II in nature. **Physiologia Plantarum** 100: 214-223.
- Anderson, W.B.; Eickmeier, W.G. 1998. Physiological and morphological responses to shade and nutrient additions of *Claytonia virginica* (Portulacaceae): implications for the "vernal dam" hypothesis. **Canadian Journal of Botany-Revue Canadienne De Botanique** 76: 1340-1349.
- Antunes, V.; Cardoso, E.J.B.N. 1991. Growth and nutrient status of *Citrus* plants as influenced by mycorrhiza and phosphorus application. **Plant and Soil** 131: 11-19.

- Araújo, G.M.; Haridasan, M. 1988. A comparison of the nutritional status of two forest communities on mesotrophic and dystrophic soils in Central Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis** 19: 1075-4089.
- Arens, K. 1958. Considerações sobre a causa do xeromorfismo foliar. **Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, Botânica** 15: 1-56.
- Aro, E.M.; McCaffery, S.; Anderson, J.M. 1993. Photoinhibition and D1 protein-degradation in peas acclimated to different growth irradiances. **Plant Physiology** 103: 835-843.
- Augspurger, C.K. 1984. Light requirements of neotropical tree seedlings: a comparative study of growth and survival. **Journal of Ecology** 72: 777-795.
- Balakrishnan, K.; Rajendran, C.; Kulandaivelu, G. 2000. Differential responses of iron, magnesium, and zinc deficiency on pigment composition, nutrient content, and photosynthetic activity in tropical fruit crops. **Photosynthetica** 38: 477-479.
- Barbosa, A.R.; Yamamoto, K.; Válio, I.F.M. 2000. Effect of light and temperature on germination and early growth of *Vochysia tucanorum* Mart., Vochysiaceae, in cerrado and forest soil under different radiation levels. **Revista Brasileira de Botânica** 22: 275-280.
- Benowicz, A.; Guy, R.; El-Kassaby, Y. 2000. Geographic pattern of genetic variation in photosynthetic capacity and growth in two hardwood species from British Columbia. **Oecologia** 123: 168-174.
- Berta, G.; Fusconi, A.; Trotta, A. 1993. VA Mycorrhizal infection and the morphology and function of root systems. **Environmental and Experimental Botany** 33: 159-173.
- Berta, G.; Trotta, A.; Fusconi, A.; Hooker, J.E.; Munro, M.; Atkinson, D.; Giovannetti, M.; Morini, S.; Fortuna, P.; Tisserant, B.; Gianinazzi-Pearson, V.; Gianinazzi, S. 1995. Arbuscular mycorrhizal induced changes to plant growth and root system morphology in *Prunus cerasifera*. **Tree Physiology** 15: 281-293.
- Bigras, F.J. 2000. Selection of white spruce families in the context of climate change: heat tolerance. **Tree Physiology** 20: 1227-1234.

- Bilger, W.; Björkman, O. 1991. Temperature dependence of violaxanthin deepoxidation and nonphotochemical fluorescence quenching in intact leaves of *Gossypium hirsutum* L and *Malva parviflora* L. **Planta** 184: 226-234.
- Björkman, O.; Demmig, B. 1987. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77-K among vascular plants of diverse origins. **Planta** 170: 489-504.
- Bonaccorso, F.J.; Glanz, W.E.; Sandford, C.M. 1980. Feeding assemblages of mammals at fruiting *Dipteryx panamensis* (Papilionaceae) trees in Panama - seed predation, dispersal, and parasitism. **Revista de Biologia Tropical** 28: 61-72.
- Bonetti, R.; Oliveira, L.A.; Magalhães, E.M.M. 1984. População de *Rhizobium* spp. e ocorrência de micorriza VA em culturas de essências florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 19: 137-142.
- Botezelli, L. 1998. **Estudo do armazenamento de sementes de quatro procedências de baru, *Dipteryx alata* Vogel**. Lavras, MG: Universidade Federal de Lavras. 115 p. Tese de Mestrado
- Botezelli, L.; Davide, A.C.; Malavasi, M.M. 2000. Características dos frutos e sementes de quatro procedências de baru, *Dipteryx alata* Vogel (baru). **Cerne** 6: 9-18.
- Brownwer, R. 1962a. Distribution of dry matter in the plant. **Netherlands Journal of Agricultural Science** 10: 361-376.
- Brownwer, R. 1962b. Nutritive influences on the distribution of dry matter in the plant. **Netherlands Journal of Agricultural Science** 10: 399-408.
- Brundrett, M.C.; Jasper, D.A.; Ashwath, N. 1999. Glomalean mycorrhizal fungi from tropical Australia II. The effect of nutrient levels and host species on the isolation of fungi. **Mycorrhiza** 8: 315-321.
- Buwalda, J.G. 1993. The carbon costs of root systems of perennial fruit crops. **Environmental and Experimental Botany** 33: 131-140.
- Cakmak, I.; Hengeler, C.; Marschner, H. 1994. Partitioning of shoot and root dry-matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency. **Journal of Experimental Botany** 45: 1245-1250.

- Caldas, L.S.; Lüttge, U.; Franco, A.C.; Haridasan, M. 1997. Leaf heliotropism in *Pterodon pubescens*, a woody legume from the Brazilian cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal** 9: 1-7.
- Canham, C.D.; Berkowitz, A.R.; Kelly, V.R.; Lovett, G.M.; Ollinger, S.V.; Schnurr, J. 1996. Biomass allocation and multiple resource limitation in tree seedlings. **Canadian Journal of Forest Research** 26: 1521-1530.
- Carvalho, E.V.T.; Felfili, J.M. 1988. Comportamento das plântulas de *Apuleia leiocarpa* (Vog) Macbr. e *Dipteryx alata* Vog. sob quatro níveis de sombreamento. In: **Congresso de iniciação científica da Universidade de Brasília**. Brasília: Universidade de Brasília. 30 p.
- Carvalho, P.E.R. 1994. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ. 640 p.
- Castro, A.A.J.F. 1994. **Comparação florística (Brasil) e fitossociológica (PiauÍ-São Paulo) de amostras de Cerrado**. Campinas, SP: UNICAMP. 520 p. Doutorado
- Castro, J. 1999. Seed mass versus seedling performance in Scots pine: a maternally dependent trait. **New Phytologist** 144: 153-161.
- Castro, Y.; Fetcher, N.; Fernandez, D.S. 1995. Chronic photoinhibition in seedlings of tropical trees. **Physiologia Plantarum** 94: 560-565.
- Cavalcante, M.S.; Montagna, R.G.; Lopez, G.A.C.; Mucci, E.S.F. 1982. Durabilidade natural de madeiras em contato com o solo-II. **Silvicultura em São Paulo** serieA: 1383-1389.
- Cavelier, J. 1996. Environment factors and ecophysiological processes along altitudinal gradients in wet tropical mountains. In: **Tropical forest plant ecophysiology**. (S.S. Mulkey; R.L. Chazdon ; A.P. Smith, eds.). New York: Chapman & Hall. 399-439 p.
- Clark, R.B.; Zeto, S.K. 2000. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. **Journal of Plant Nutrition** 23: 867-902.
- Clearwater, M.; Gould, K. 1995. Leaf orientation and light interception by juvenile *Pseudopanax crassifolius* (Cunn) C. Koch in a partially shaded forest environment. **Oecologia** 104: 363-371.

- Corrêa, G.C. 1999. **Avaliação comportamental de plantas de baru (*Dipteryx alata* Vog.) nos cerrados do Estado de Goiás.** Goiânia: Universidade Federal de Goiás. 111 p. Tese de Doutorado.
- Daft, M.J.; Nicolson, T.N. 1972. Effect of *Endogone* mycorrhiza on plant growth. IV. Quantitative relationships between the growth of the host and the development of the endophyte in tomato and maize. **New Phytologist** 71: 287-295.
- Demmig-Adams, B.; Adams, W.W. 1992. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology** 43: 599-626.
- Dodd, I.C.; Critchley, C.; Woodall, G.S.; Stewart, G.R. 1998. Photoinhibition in differently coloured juvenile leaves of *Syzygium* species. **Journal of Experimental Botany** 49: 1437-1445.
- Dreyer, E.; Fichter, J.; Bonneau, M. 1994. Nutrient content and photosynthesis of young yellowing Norway spruce trees (*Picea abies* L. Karst) following calcium and magnesium fertilization. **Plant and Soil** 160: 67-78.
- Ducke, A. 1948. As espécies brasileiras do gênero *Coumarouna* Aubl. ou *Dipteryx* Schreb. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** 20: 39-56.
- Eiten, G. 1972. The cerrado vegetation of Brazil. **Botanical Review** 38: 201-341.
- Ellsworth, D.S.; Reich, P.B. 1996. Photosynthesis and leaf nitrogen in five Amazonian tree species during early secondary succession. **Ecology** 77: 581-594.
- Ericsson, T. 1995. Growth and shoot/root ratio of seedlings in relation to nutrient availability. **Plant and Soil** 169: 205-214.
- Evans, J.R. 1989. Partitioning of nitrogen between and within leaves grown under different irradiances. **Australian Journal of Plant Physiology** 16: 533-548.
- Farnsworth, E.J.; Ellison, A.M. 1996. Sun-shade adaptability of the red mangrove, *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae): changes through ontogeny at several levels of biological organization. **American Journal of Botany** 83: 1131-1143.
- Felfili, J.M.; Haridasan, M.; Mendonça, R.C.; Filgueiras, T.S.; Silva Junior, M.C.; Rezende, A.V. 1994. Projeto Biogeografia do Bioma Cerrado: vegetação e solos. **Caderno de Geociências** 12: 75-166.

- Felfili, J.M.; Hilgert, L.F.; Franco, A.C.; Sousa-Silva, J.C.; Nogueira, M.V.P. 1999. Comportamento de plântulas de *Sclerolobium paniculatum* Vog. var. *rubiginosum* (Tul.) Benth. sob diferentes níveis de sombreamento, em viveiro. **Revista Brasileira de Botânica** 22: 297-301.
- Ferreira, M.B. 1980. Frutos comestíveis nativos do cerrado em Minas Gerais. **Informe Agropecuário** 6: 19-23.
- Ferri, M.G. 1955. Contribuição ao conhecimento da ecologia do cerrado e da caatinga. Estudo comparativo da economia d'água de sua vegetação. **Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, Botânica** 12: 1-170.
- Filgueiras, T.S.; Silva, E. 1975. Estudo preliminar do baru (Leg. Faboideae). **Brasil Florestal** 6: 33-39.
- Fonseca, C.E.L.; Figueiredo, S.A.; Silva, J.A. 1994. Influência da profundidade e da luminosidade na germinação de sementes de baru (*Dipteryx alata* Vog.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 29: 653-659.
- Forget, P.M. 1993. Postdispersal predation and scatterhoarding of *Dipteryx panamensis* (Papilionaceae) seeds by rodents in Panama. **Oecologia** 94: 255-261.
- Furukawa, A. 1997. Stomatal frequency of *Quercus myrsinaefolia* grown under different irradiances. **Photosynthetica** 34: 195-199.
- Gaba, V.; Black, M. 1983. The control of cell growth by light. In: **Photomorphogenesis**. (W. Shropshire Jr. ; H.P. Mohr, eds.). Berlin: Springer-Verlag. 358-400 p.
- Gasson, P. 1999. Wood anatomy of the tribe Dipterygeae with comments on related papilionoid and caesalpinoid Leguminosae. **Iawa Journal** 20: 441-455.
- Gedroc, J.J.; McConnaughay, K.D.M.; Coleman, J.S. 1996. Plasticity in root shoot partitioning: Optimal, ontogenetic, or both? **Functional Ecology** 10: 44-50.
- Genty, B.; Briantais, J.M.; Baker, N. 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica et Biophysica Acta** 990: 87-92.
- George, E.; Marschner, H.; Jakobsen, I. 1995. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in uptake of phosphorus and nitrogen from soil. **Critical Reviews in Biotechnology** 15: 257-270.

- Giovannetti, M.; Mosse, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist** 84: 489-500.
- Giovannetti, M.; Schubert, A.; Cravero, M.C.; Salutini, L. 1988. Spore production by the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus monosporum* as related to host species, root colonization and plant enhancement. **Biology and Fertility of soils** 6: 120-124.
- Godde, D.; Dannehl, H. 1994. Stress-induced chlorosis and increase in D1-protein turnover precede photoinhibition in spinach suffering under magnesium/sulphur deficiency. **Planta** 195: 291-300.
- Göransson, A. 1994. Growth and nutrition of small *Betula pendula* plants at different relative supply rates of manganese. **Tree Physiology** 14: 375-388.
- Graham, J.H.; Duncan, L.W.; Eissenstat, D.M. 1997. Carbohydrate allocation patterns in citrus genotypes as affected by phosphorus nutrition, mycorrhizal colonization and mycorrhizal dependency. **New Phytologist** 135: 335-343.
- Grubb, P.J.; Lee, W.G.; Kollmann, J.; Wilson, J.B. 1996. Interaction of irradiance and soil nutrient supply on growth of seedlings of ten European tall-shrub species and *Fagus sylvatica*. **Journal of Ecology** 84: 827-840.
- Grubb, P.J.; Metcalfe, D.J. 1996. Adaptation and inertia in the Australian tropical lowland rain-forest flora: Contradictory trends in intergeneric and intrageneric comparisons of seed size in relation to light demand. **Functional Ecology** 10: 512-520.
- Haase, R.; Hirooka, R.Y. 1998. Structure, composition and small litter dynamics of a semi-deciduous forest in Mato Grosso, Brazil. **Flora** 193: 141-147.
- Hakam, N.; Khanizadeh, S.; Ell, J.R.; Richer, C. 2000. Assessing chilling tolerance in roses using chlorophyll fluorescence. **Hortscience** 35: 184-186.
- Haridasan, M.; Araújo, G.M. 1988. Aluminium accumulating species in two forest communities in Cerrado region of Central Brazil. **Forest Ecology and Management** 24: 15-26.
- Harley, J.L.; Smith, S.E. 1983. **Mycorrhizal Symbiosis**. London: Academic Press. 483 p.
- Harper, J.L. 1977. **Population biology of plants**. Oxford: Academic Press. 892 p.

- He, J.; Chee, C.W.; Goh, C.J. 1996. 'Photoinhibition' of *Heliconia* under natural tropical conditions: The importance of leaf orientation for light interception and leaf temperature. **Plant Cell and Environment** 19: 1238-1248.
- Hogan, K.P. 1996. Ecotypic variation in the physiology of tropical plants. In: **Tropical forest plant ecophysiology**. (S.S. Mulkey; R.L. Chazdon ; A.P. Smith, eds.). New York: Chapman & Hall. 497-530 p.
- Holmes, P.M.; Cowling, R.M. 1993. Effects of shade on seedling growth, morphology and leaf photosynthesis in six subtropical thicket species from the eastern Cape, South Africa. **Forest Ecology and Management** 61: 199-220.
- Hovenden, M.; Brodribb, T. 2000. Altitude of origin influences stomatal conductance and therefore maximum assimilation rate in Southern Beech, *Nothofagus cunninghamii*. **Australian Journal of Plant Physiology** 27: 451-456.
- Ishida, A.; Toma, T.; Marjenah. 1999. Leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence in relation to leaf angle, azimuth, and canopy position in the tropical pioneer tree, *Macaranga conifera*. **Tree Physiology** 19: 117-124.
- James, S.A.; Bell, D.T. 2000. Influence of light availability on leaf structure and growth of two *Eucalyptus globulus* ssp *globulus* provenances. **Tree Physiology** 20: 1007-1018.
- Jiao, J.; Grodzinski, B. 1996. The effect of leaf temperature and photorespiratory conditions on export of sugars during steady-state photosynthesis in *Salvia splendens*. **Plant Physiology** 111: 169-178.
- Johnson, J.D.; Tognetti, R.; Michelozzi, M.; Pinzauti, S.; Minotta, G.; Borghetti, M. 1997. Ecophysiological responses of *Fagus sylvatica* seedlings to changing light conditions. 2. The interaction of light environment and soil fertility on seedling physiology. **Physiologia Plantarum** 101: 124-134.
- Kageyama, P.Y. 1990. Genetic structure of tropical tree species of Brazil. In: **Reproductive Ecology of Tropical Forest Plants**. (K.S. Bawa ; M. Hadley, eds.). : Parthenon. 375-387 p.
- Kanegae, M.F.; Braz, V.S.; Franco, A.C. 2000. Efeitos da seca sazonal e disponibilidade de luz na sobrevivência e crescimento de *Bowdichia virgilioides* em duas

- fitofisionomias típicas do cerrados do Brasil Central. **Revista brasileira de Botânica** 23: 457-466.
- Kao, W.Y.; Tsai, T.T. 1998. Tropic leaf movements, photosynthetic gas exchange, leaf delta C-13 and chlorophyll a fluorescence of three soybean species in response to water availability. **Plant Cell and Environment** 21: 1055-1062.
- Kerley, S.J. 2000. Changes in root morphology of white lupin (*Lupinus albus* L.) and its adaptation to soils with heterogeneous alkaline/acid profiles. **Plant and Soil** 218: 197-205.
- King, D.A. 1997. The functional significance of leaf angle in *Eucalyptus*. **Australian Journal of Botany** 45: 619-639.
- Kirchhof, G.; Pendar, K. 1993. **Delta-T Scan**. User Manual. Cambridge: N. Webbp.
- Kitajima, K. 1994. Relative importance of photosynthetic traits and allocation patterns as correlates of seedling shade tolerance of 13 tropical trees. **Oecologia** 98: 419-428.
- Kitajima, K. 1996. Ecophysiology of tropical tree seedlings. In: **Tropical forest plant ecophysiology**. (S.S. Mulkey; R.L. Chazdon ; A.P. Smith, eds.). New York: Chapman & Hall. 559-596 p.
- Klepper, B. 1991. Root-shoot relationships. In: **Plant root: the hidden half** 10. (Y. Waisel; A. Eshel ; U. Kafkafi, eds.). New York: Marcel Dekker. 265-286 p.
- Klich, M.G. 2000. Leaf variations in *Elaeagnus angustifolia* related to environmental heterogeneity. **Environmental and Experimental Botany** 44: 171-183.
- Knudson, L.L.; Tibbitts, T.W.; Edwards, G. 1977. Measurement of ozone injury by determination of leaf chlorophyll concentration. **Plant Physiology** 60: 606-608.
- Koske, R.E.; Gemma, J.N. 1989. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. **Mycological Research** 92: 486-505.
- Krause, G.H.; Weis, E. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology** 42: 313-349.
- Krivosheeva, A.; Tao, D.; Ottander, C.; Wingsle, G.; Dube, S.; Oquist, G. 1996. Cold acclimation and photoinhibition of photosynthesis in Scots pine. **Planta** 200: 296-305.
- Laing, W.; Greer, D.; Sun, O.; Beets, P.; Lowe, A.; Payn, T. 2000. Physiological impacts of Mg deficiency in *Pinus radiata*: growth and photosynthesis. **New Phytologist** 146: 47-57.

- Langenheim, J.H.; Osmond, C.B.; Brooks, A.; Ferrar, P.J. 1984. Photosynthetic responses to light in seedlings of selected Amazonian and Australian rainforest tree species. **Oecologia** 63: 215-224.
- Larcher, W. 2000. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa. 531 p.
- Leishman, M.R.; Westoby, M. 1994. The role of large seed size in shaded conditions. Experimental evidence. **Functional Ecology** 8: 205-214.
- Leitão, M.R.S.M.M. 1997. Fixação de nitrogênio por espécies arbóreas. In: **Biologia dos solos dos Cerrados**. (M.A.T. Vargas ; M. Hungria, eds.). Planaltina: EMBRAPA-CPAC. 155-186 p.
- Long, S.P.; Humphries, S.; Falkowski, P.G. 1994. Photoinhibition of photosynthesis in nature. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology** 45: 633-662.
- Lorenzi, H. 1992. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nossa Odessa: Editora Plantarum. 352 p.
- Lovelock, C.E.; Clough, B.F. 1992. Influence of solar radiation and leaf angle on leaf xanthophyll concentrations in mangroves. **Oecologia** 91: 518-525.
- Lu, C.M.; Zhang, J.H. 1998. Effects of water stress on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and photoinhibition in wheat plants. **Australian Journal of Plant Physiology** 25: 883-892.
- Lu, C.M.; Zhang, J.H. 2000a. Heat induced multiple effects on PSII in wheat plants. **Journal of Plant Physiology** 156: 259-265.
- Lu, C.M.; Zhang, J.H. 2000b. Photosynthetic CO₂ assimilation, chlorophyll fluorescence and photoinhibition as affected by nitrogen deficiency in maize plants. **Plant Science** 151: 135-143.
- Malavasi, M.d.M.; Malavasi, U.C.; Davide, A.C. 1999. Efeito da dinâmica do regime de radiação solar na área foliar específica e nos teores de clorofilas em mudas de *Pouteria ramiflora* (Mart) Radlk e *Dipteryx alata* Vogel. In: **Congresso e Exposição Internacional sobre florestas, 5.**(BIOSFERA, ed.). Curitiba: p.
- Marschner, H. 1995. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press. 889 p.

- Marschner, H.; Kirkby, E.A.; Cakmak, I. 1996. Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients. **Journal of Experimental Botany** 47: 1255-1263.
- Maxwell, K.; Johnson, G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. **Journal of Experimental Botany** 51: 659-668.
- McLaughlin, S.B.; Wimmer, R. 1999. Tansley Review No. 104 - Calcium physiology and terrestrial ecosystem processes. **New Phytologist** 142: 373-417.
- Medina, O.A.; Sylvia, D.M.; Krestschmer Jr., A.E. 1988. Response of siratro to vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. I. Selection of effective vesicular-arbuscular fungi in amended soil. **Soil Science Society of America Journal** 52: 416-419.
- Melhem, T.S. 1972. **Fisiologia da germinação das sementes de *Dipteryx alata* Vog. (Leguminosae-Lotoideae)- contribuição ao seu estudo**. São Paulo: Universidade de São Paulo. 215 p. Tese de Doutorado.
- Melo, J.T. 1999. **Respostas de mudas de espécies arbóreas do Cerrado a nutrientes em latossolo vermelho escuro**. Brasília: Universidade de Brasília. 104 p. Tese de Doutorado.
- Metcalf, D.J.; Grubb, P.J. 1995. Seed mass and light requirement for regeneration in South-East Asian rain forest. **Canadian Journal of Botany** 73: 817-826.
- Minotta, G.; Pinzauti, S. 1996. Effects of light and soil fertility on growth, leaf chlorophyll content and nutrient use efficiency of beech (*Fagus sylvatica* L) seedlings. **Forest Ecology and Management** 86: 61-71.
- Miranda, J.C.C.; Miranda, L.N. 1997. Micorriza arbuscular. In: **Biologia dos solos dos Cerrados**. (M.A.T. Vargas ; M. Hungria, eds.). Planaltina: EMBRAPA-CPAC. 69-123 p.
- Montagnini, F.; Sancho, F. 1994. Net nitrogen mineralization in soils under six indigenous tree species, an abandoned pasture and a secondary forest in the Atlantic lowlands of Costa Rica. **Plant and Soil** 162: 117-124.
- Morales, F.; Abadia, A.; Belkhodja, R.; Abadia, J. 1994. Iron deficiency induced changes in the photosynthetic pigment composition of field grown pear (*Pyrus communis* L) leaves. **Plant Cell and Environment** 17: 1153-1160.

- Moustakas, M.; Ouzounidou, G. 1994. Increased nonphotochemical quenching in leaves of aluminum stressed wheat plants is due to Al^{3+} induced elemental loss. **Plant Physiology and Biochemistry** 32: 527-532.
- Niinemets, U. 1998. Adjustment of foliage structure and function to a canopy light gradient in two co-existing deciduous trees. Variability in leaf inclination angles in relation to petiole morphology. **Trees-Structure and Function** 12: 446-451.
- Niinemets, U. 1999. Components of leaf dry mass per area - thickness and density- alter leaf photosynthetic capacity in reverse directions in woody plants. **New Phytologist** 144: 35-47.
- Niinemets, U.; Kull, O.; Tenhunen, J.D. 1998. An analysis of light effects on foliar morphology, physiology, and light interception in temperate deciduous woody species of contrasting shade tolerance. **Tree Physiology** 18: 681-696.
- Nogueira, A.C. 1993. Influência da profundidade de semeadura na germinação e desenvolvimento inicial de *Dipteryx alata* Vog. In: **Congresso Florestal Panamericano/Congresso Florestal Brasileiro**. Curitiba, PR: Sociedade Brasileira de Fruticultura/Sociedade Brasileira de Engenheiros Florestais. 429-431 p.
- Ögren, E.; Evans, J.R. 1992. Photoinhibition of photosynthesis *in situ* in six species of *Eucalyptus*. **Australian Journal of Plant Physiology** 19: 223-232.
- Oliveira, A.N. 1988. **Varição genética entre e dentro de procedências de baru (*Dipteryx alata* Vog.)**. Lavras, MG: Universidade Federal de Lavras. 80 p. Tese de Mestrado
- Park, Y.I.; Chow, W.S.; Anderson, J.M. 1996. Chloroplast movement in the shade plant *Tradescantia albiflora* helps protect photosystem II against light stress. **Plant Physiology** 111: 867-875.
- Pearcy, R.W. 2000. Acclimation to sun and shade. In: **Photosynthesis: A Comprehensive Treatise** 1, revista. (A.S. Raghavendra, ed.). Cambridge: Cambridge University Press. 250-263 p.
- Pearson, J.N.; Abbott, L.K.; Jasper, D.A. 1994. Phosphorus, soluble carbohydrates and the competition between 2 arbuscular mycorrhizal fungi colonizing subterranean clover. **New Phytologist** 127: 101-106.

- Phillips, J.M.; Haymann, D.S. 1970. Improved procedure for clearing and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of the British Mycological Society** 55: 158.
- Plesnicar, M.; Kastori, R.; Petrovic, N.; Pankovic, D. 1994. Photosynthesis and chlorophyll fluorescence in sunflower (*Helianthus annuus* L) leaves as affected by phosphorus nutrition. **Journal of Experimental Botany** 45: 919-924.
- Pohill, R.M.; Raven, P.H. 1981. *Advances in Legume Systematics*, part1. Kew:Royal Botanic Garden
- Poorter, L.; Oberbauer, S.F. 1993. Photosynthetic induction responses of two rainforest tree species in relation to light environment. **Oecologia** 96: 193-199.
- Prado, C.H.B.A.; Moraes, J.A.P.V. 1997. Photosynthetic capacity and specific leaf mass in twenty woody species of Cerrado vegetation under field conditions. **Photosynthetica** 33: 103-112.
- Ramalho, J.C.; Pons, T.L.; Groeneveld, H.W.; Nunes, M.A. 1997. Photosynthetic responses of *Coffea arabica* leaves to a short-term high light exposure in relation to N availability. **Physiologia Plantarum** 101: 229-239.
- Ratter, J.A.; Askew, G.P.; Montgomery, R.F.; Gifford, D.R. 1978. Observations on forests of some mesotrophic soils in Central Brazil. **Revista brasileira de Botânica** 1: 47-58.
- Ratter, J.A.; Bridgewater, S.; Atkinson, R.; Ribeiro, J.F. 1996. Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado vegetation II: comparison of the woody vegetation of 98 areas. **Edinburgh Journal of Botany** 53: 153-180.
- Ratter, J.A.; Bridgewater, S.; Ribeiro, J.F.; Dias, T.A.B.; Silva, M.R. 2000. Estudo preliminar da distribuição das espécies lenhosas da fitofisionomia Cerrado sentido restrito nos estados compreendidos pelo bioma Cerrado. **Boletim do Herbário Ezechias Paulo Heringer** 5: 5-43.
- Reinhard, S.; Weber, E.; Martin, P.; Marschner, H. 1994. Influence of phosphorus supply and light-intensity on mycorrhizal response in *Pisum-Rhizobium-Glomus* symbiosis. **Experientia** 50: 890-896.
- Reis, M.J.O.d. 1999. **Eficiência micorrízica em plantas nativas do cerrado**. Brasília: UnB. 103 p. Tese de Doutorado

- Reynolds, H.L.; Dantonio, C. 1996. The ecological significance of plasticity in root weight ratio in response to nitrogen: Opinion. **Plant and Soil** 185: 75-97.
- Ribeiro, J.F.; Sano, S.M.; Brito, M.A.; Fonseca, C.E.L. 2000. Baru (*Dipteryx alata* Vog.). In: **Frutas Nativas**(L.C. Donadio, ed.). Jaboticabal: Funep. 41 p.
- Ribeiro, J.F.; Walter, B.M.T. 1998. Fitofisionomias do Cerrado. In: **Cerrado: ambiente e flora.** (S.M. Sano ; S.P. Almeida, eds.). Planaltina: EMBRAPA CPAC. 89-166 p.
- Riddoch, I.; Lehto, T.; Grace, J. 1991. Photosynthesis of tropical tree seedlings in relation to light and nutrient supply. **New Phytologist** 119: 137-147.
- Rijkers, T.; Vries, P.J.; Pons, T.L. 2000. Photosynthetic induction in saplings of three shade-tolerant tree species: comparing understorey and gap habitats in French Guiana rain forest. **Oecologia** 125: 331-340.
- Rosado, S.C.S.; Carvalho, D. 1998. Variações na dependência micorrízica de genótipos de baru (*Dipteryx alata* Vog.- Fabaceae). In: **Reunião Brasileira de Fertilidade de Solos e Nutrição de plantas,23.; Reunião Brasileira sobre micorrizas, 7.** Caxambu, MG: UFLA. 826 p.
- Ruban, A.V.; Horton, P. 1995. Regulation of nonphotochemical quenching of chlorophyll fluorescence in plants. **Australian Journal of Plant Physiology** 22: 221-230.
- Ruiz, J.M.; Romero, L. 1998. Calcium impact on phosphorus and its main bioindicators: Response in the roots and leaves of tobacco. **Journal of Plant Nutrition** 21: 2273-2285.
- Sage, R.F.; Reid, C.D. 1994. Photosynthetic response mechanisms to environmental change in C3 plants. In: **Plant-environment interactions** 10. (R.E. Wilkinson, ed.). New York: Marcel Dekker, Inc. 413-500 p.
- Sano, S.M.; Vivaldi, L.J.; Spehar, C.R. 1999. Diversidade morfológica de frutos e sementes de baru (*Dipteryx alata* Vog.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 34: 513-518.
- Santos, M.F.; Ribeiro, W.R.C.; Faiad, M.G.R.; Sano, S.M. 1997. Fungos associados as sementes de baru (*Dipteryx alata* Vog.). **Revista Brasileira de Sementes** 19: 135-139.

- Schieffhale, U.; Russell, A.W.; Bolhar-Nordenkamp, H.R.; Critchley, C. 1999. Photoregulation and photodamage in *Schefflera arboricola* leaves adapted to different light environments. **Australian Journal of Plant Physiology** 26: 485-494.
- Schindler, C.; Lichtenthaler, H.K. 1996. Photosynthetic CO₂ assimilation, chlorophyll fluorescence and zeaxanthin accumulation in field grown maple trees in the course of a sunny and a cloudy day. **Journal of Plant Physiology** 148: 399-412.
- Schlichting, C. 1986. The evolution of phenotypic plasticity in plants. **Annual Review of Ecology and Systematic** 17: 667-693.
- Schmid, B.; Dolt, C. 1994. Effects of maternal and paternal environment and genotype on offspring phenotype in *Solidago altissima* L. **Evolution** 48: 1525-1549.
- Schreiber, U.; Bilger, W.; Hormann, H.; Neubauer, C. 2000. Chlorophyll fluorescence as a diagnostic tool: basics and some aspects of practical relevance. In: **Photosynthesis: A Comprehensive Treatise** 1. (A.S. Raghavendra, ed.). Cambridge: Cambridge University Press. 320-336 p.
- Schreiber, U.; Bilger, W.; Neubauer, C. 1995. Chlorophyll fluorescence as a noninvasive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. In: **Ecophysiology of photosynthesis**. (E.D. Schulze; M.M. Caldwell, eds.). Berlin: Springer-Verlag. 49-70p.
- Schreiner, R.P.; Mihara, K.L.; McDaniel, H.; Bethlenfalvay, G.J. 1997. Mycorrhizal fungi influence plant and soil functions and interactions. **Plant and Soil** 188: 199-209.
- Silva, D.L.R.d.; Ruiz, L.P.; Atkinson, C.J.; Mansfield, T.A. 1994. Physiological disturbances caused by high rhizospheric calcium in the calcifuge *Lupinus luteus*. **Journal of Experimental Botany** 45: 585-590.
- Sinclair, J.; Park, Y.; Chow, W.; Anderson, J. 1996. Target theory and the photoinactivation of Photosystem II. **Photosynthesis Research** 50: 33-40.
- Singsaas, E.L.; Ort, D.R.; Lucia, E.H. 2000. Diurnal regulation of photosynthesis in understory saplings. **New Phytologist** 145: 39-49.
- Siqueira, A.C.M.F.; Nogueira, J.C.B.; Kageyama, P.Y. 1993. Conservação de recursos genéticos *ex situ* do cumbaru (*Dipteryx alata* Vog.) - Leguminosae. **Revista do Instituto Florestal** 5: 231-243.
- Siqueira, J.O.; Carneiro, M.A.C.; Curi, N.; Rosado, S.C.S.; Davide, A.C. 1998. Mycorrhizal colonization and mycotrophic growth of native woody species as related

- to successional groups in Southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management** 107: 241-252.
- Smith, N.J. 1991. Sun and shade leaves: clues to how salal (*Gaultheria shallon*) responds to overstory stand density. **Canadian Journal of Forest Research** 21: 300-305.
- St Clair, J.B.; Sniezko, R.A. 1999. Genetic variation in response to shade in coastal Douglas-fir. **Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere** 29: 1751-1763.
- Tang, C.; Robson, A.D.; Adams, H. 1995. High Ca is not the primary factor in poor growth of *Lupinus angustifolius* L. in high pH soil. **Australian Journal of Agricultural Research** 46: 1051-1062.
- Tang, C.; Turner, N.C. 1999. The influence of alkalinity and water stress on the stomatal conductance, photosynthetic rate and growth of *Lupinus angustifolius* L. and *Lupinus pilosus* Murr. **Australian Journal of Experimental Agriculture** 39: 457-464.
- Terashima, I.; Hikosaka, K. 1995. Comparative Ecophysiology of Leaf and Canopy Photosynthesis. **Plant Cell and Environment** 18: 1111-1128.
- Thiele, A.; Krause, G.; Winter, K. 1998. In situ study of photoinhibition of photosynthesis and xanthophyll cycle activity in plants growing in natural gaps of the tropical forest. **Australian Journal of Plant Physiology** 25: 189-195.
- Thomazini, L.I. 1974. Mycorrhiza in plants of the cerrado. **Plant and Soil** 41: 707-711.
- Togashi, M.; Sgarbieri, V.C. 1994. Caracterização química parcial do fruto do baru (*Dipteryx alata* Vog.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos** 14: 85-95.
- Tognetti, R.; Minotta, G.; Pinzauti, S.; Michelozzi, M.; Borghetti, M. 1998. Acclimation to changing light conditions of long term shade grown beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings of different geographic origins. **Trees Structure and Function** 12: 326-333.
- Ulhôa, M.L. 1997. **Efeito da calagem e adubação fosfatada no crescimento inicial e nutrição de plantas de baru (*Dipteryx alata* Vog.), fruta-de-lobo (*Solanum lycocarpum* St. Hil.) e tingui (*Magonia pubescens* St. Hil.)**. Lavras, MG: Universidade Federal de Lavras. 74 p. Tese de Mestrado

- Valladares, F.; Martinez-Ferri, E.; Balaguer, L.; Perez-Corona, E.; Manrique, E. 2000. Low leaf-level response to light and nutrients in Mediterranean evergreen oaks: a conservative resource-use strategy? **New Phytologist** 148: 79-91.
- Valladares, F.; Pearcy, R.W. 1997. Interactions between water stress, sun-shade acclimation, heat tolerance and photoinhibition in the sclerophyll *Heteromeles arbutifolia*. **Plant Cell and Environment** 20: 25-36.
- Van Hinsberg, A. 1998. Maternal and ambient environmental effects of light on germination in *Plantago lanceolata*: correlated responses to selection on leaf length. **Functional Ecology** 12: 825-833.
- Van Rijn, C.P.E.; Heersche, I.; Van Berkel, Y.E.M.; Nevo, E.; Lambers, H.; Poorter, H. 2000. Growth characteristics in *Hordeum spontaneum* populations from different habitats. **New Phytologist** 146: 471-481.
- Veenendaal, E.M.; Swaine, M.D.; Lecha, R.T.; Walsh, M.F.; Abebrese, I.K.; OwusuAfriyie, K. 1996. Responses of West African forest tree seedlings to irradiance and soil fertility. **Functional Ecology** 10: 501-511.
- Virgin, H.I.; Egneus, H. 1983. Control of plastid development in higher plants. In: **Photomorphogenesis**. (W. Shroshpore Jr. ; H.P. Mohr, eds.). Berlin: Springer-Verlag. 289-311 p.
- Walters, M.B.; Reich, P.B. 2000. Seed size, nitrogen supply, and growth rate affect tree seedling survival in deep shade. **Ecology** 81: 1887-1901.
- Walz, H. 1993. **Portable Chlorophyll Fluorometer PAM-2000 and Data Acquisition Software DA-2000**. Handbook of operation, with examples of practical applications. 2. ed. Effeltrich: Heinz Walz GmbH. 199 p.
- Warren, C.R.; Adams, M.A.; Chen, Z. 2000. Is photosynthesis related to concentration of nitrogen and Rubisco in leaves of Australian native plants? **Australian Journal of Plant Physiology** 27: 407-416.
- Watling, J.; Robinson, S.; Woodrow, I.; Osmond, C. 1997. Responses of rainforest understorey plants to excess light during sunflecks. **Australian Journal of Plant Physiology** 24: 17-25.
- Wilson, P.; Thompson, K.; Hodgson, J. 1999. Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies. **New Phytologist** 143: 155-162.

- Wulff, R.D.; Causin, H.F.; Benitez, O.; Bacalini, P.A. 1999. Intraspecific variability and maternal effects in the response to nutrient addition in *Chenopodium album*. **Canadian Journal of Botany** 77: 1150-1158.
- Zangaro, W.; Bononi, V.L.R.; Trufen, S.B. 2000. Mycorrhizal dependence, inoculum potencial and habitat preference of native woody species in South Brazil. **Journal of Tropical Ecology** 16: 603-622.
- Ziegenhagen, B.; Kausch, W. 1995. Productivity of young shaded oaks (*Quercus robur* L.) as corresponding to shoot morphology and leaf anatomy. **Forest Ecology and Management** 72: 97-108.

ANEXO I. Valores de F obtidos por análise de variância da biomassa produzida por *D. alata* Vog., após 310 a 315 dias de cultivo (Exp. 1).

Fontes de variação	G.L.	Folha	Caule	Raiz principal	Total raiz	Matéria seca total	Raiz/parte aérea
Solo	2	31,99***	23,16***	3,13	9,87***	26,28***	20,01***
Luz	1	6,24*	3,94	12,46**	8,28**	10,57**	0,21
Progénie	1	0,02	0,24	24,62***	6,90*	2,45	2,86
Progénie x Solo	2	0,36	0,47	4,86*	8,04**	4,47*	3,52*
Luz x Solo	2	3,18	3,07	6,44**	6,23**	6,08**	2,39
Progénie x Luz	1	3,55	3,95	0,00	2,39	4,82*	2,13
Luz x Progénie x Solo	2	0,74	0,29	1,52	2,02	0,32	5,20*

* P < 0,05; ** P < 0,01 e *** P < 0,001.

ANEXO II. Valores de F obtidos por análise de variância da área foliar, área foliar específica (AFE) e razão entre a massa seca dos órgãos e massa seca total (MST) produzida por *D. alata* Vog., cultivado em viveiro, após três períodos de crescimento (Exp. 2.).

Fontes de variação	G.L.	Área foliar	AFE	Folha/ MST	Caule/ MST	Raiz/ MST
<i>45 dias</i>						
Luz	3	2,37	50,35***	6,77***	3,76*	14,53***
Solo	1	0,63	0,23	1,05	14,67***	23,80***
Progênie	2	21,61***	0,33	2,45	1,32	3,99*
Luz x solo	3	0,95	1,69	0,42	2,11	1,17
Luz x progênie	6	0,36	1,17	2,43*	0,08	1,37
Solo x progênie	2	2,55	0,39	6,33**	1,02	3,19*
Luz x solo x progênie	6	0,93	1,41	0,99	1,05	2,02
<i>90 dias</i>						
Luz	3	7,85***	7,59***	17,15***	3,53*	14,41***
Solo	1	7,65**	2,22	5,93*	1,58	5,48*
Progênie	2	30,0***	0,50	6,37**	4,86*	6,52**
Luz x solo	3	0,14	2,09	0,22	0,74	0,12
Luz x progênie	6	1,97	0,46	1,02	1,23	0,44
Solo x progênie	2	0,06	0,87	1,18	6,75**	0,48
Luz x solo x progênie	6	0,64	1,42	0,59	1,53	0,68
<i>247 dias</i>						
Luz	3	5,33**	29,07***	1,73	7,66***	10,84***
Solo	1	8,82**	0,05	2,17	0,08	5,31*
Progênie	2	1,97	1,94	7,05**	4,68*	11,07***
Luz x solo	3	0,66	0,28	3,47*	1,04	1,74
Luz x progênie	6	0,48	1,05	1,02	0,29	0,21
Solo x progênie	2	0,21	0,44	0,74	0,56	0,58
Luz x solo x progênie	6	0,83	0,05	1,26	0,94	1,53

* p < 5%; ** < 1%; *** < 0,01%.

Anexo III. Valores de F obtidos por análise de variância da biomassa produzida por *D. alata* Vog., cultivado em viveiro, após três períodos de crescimento. (Exp. 2.)

Fontes de variação	G.L.	Folha	Caule	Raiz principal	Raiz secundária	Raiz total	MS total	Raiz/ parte aérea
<i>45 dias</i>								
Luz	3	0,77	0,35	10,77***	8,76***	14,24***	6,85***	16,53***
Solo	1	0,47	3,99*	1,84	14,99***	12,47***	1,73	25,24***
Progénie	2	22,94***	36,83***	33,22***	14,74***	33,03***	39,53***	4,2*
Luz x Solo	3	0,59	0,63	0,88	0,80	0,36	0,28	1,09
Luz x Progénie	6	1,21	1,22	2,22	0,52	1,51	0,78	1,59
Solo x Progénie	2	1,74	0,02	2,10	2,50	3,70*	1,49	4,06*
Luz x Solo x Progénie	6	0,38	0,51	1,21	1,34	1,65	1,07	2,17
<i>90 dias</i>								
Luz	3	3,81*	6,61***	10,22***	10,22***	14,33***	8,69***	11,02***
Solo	1	12,28**	15,94***	2,29	64,82***	22,17***	23,43***	2,37
Progénie	2	26,35***	22,59***	19,06***	13,22***	21,83***	31,06***	3,09*
Luz x Solo	3	1,05	2,15	2,42	4,15*	1,22	1,49	0,37
Luz x Progénie	6	1,10	1,70	0,87	1,31	1,35	1,45	0,23
Solo x Progénie	2	0,75	2,29	0,97	1,78	1,76	1,47	0,28
Luz x Solo x Progénie	6	0,59	1,77	0,70	0,38	0,51	0,78	0,21
<i>247 dias</i>								
Luz	3	1,56	1,96	5,72**	7,08***	7,75***	5,16**	7,47***
Solo	1	6,43*	24,39***	16,33***	9,55**	17,99***	20,63***	4,11*
Progénie	2	1,62	19,79***	13,60***	4,46*	10,69***	13,56***	9,98***
Luz x Solo	3	2,04	0,58	0,63	1,02	0,93	1,13	1,66
Luz x Progénie	6	0,46	1,10	0,92	0,49	0,61	0,73	0,26
Solo x Progénie	2	0,55	1,04	0,00	0,50	0,05	0,10	0,12
Luz x Solo x Progénie	6	1,04	0,92	0,82	0,27	0,58	0,43	1,29

* P < 0,05; ** P < 0,01 e *** P < 0,001.

----- Valores de F -----

ANEXO IV. Valores de F obtidos por análise de variância de concentração de nutrientes foliares por matéria seca de *D. alata* Vog. (Exp. 2).

Fontes de variação	G.L.	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Zn	B	Fe
Luz	3	8,01***	7,52***	2,82*	6,39**	2,19	3,11*	0,26	5,01**	4,27*	1,26
Solo	1	17,53***	25,19***	1,70	354,38***	11,96***	38,26***	217,14***	14,76***	56,24***	0,09
Progénie	2	3,86*	9,77***	7,08**	3,33*	8,99***	0,36	8,06**	1,61	0,04	1,3
Luz x Solo	3	1,76	1,62	0,23	2,26	0,18	1,14	3,09*	1,36	2,10	0,49
Luz x Progénie	6	0,85	1,41	1,71	0,69	0,77	0,74	0,56	1,49	0,87	0,22
Solo x Progénie	2	1,77	1,24	0,27	13,87***	1,79	0,59	2,62	0,74	0,29	0,24
Solo x Progénie x Luz	6	1,14	1,53	0,36	1,59	2,17	0,67	1,75	1,89	1,15	0,24

Níveis de significância dos tratamentos * p < 5%, ** < 1%, *** < 0,1%.

Anexo V. Valores de F obtidos por análise de variância de concentração de nutrientes foliares por área foliar (Exp. 2).

Fontes de variação	G.L.	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Zn	Al	B	Fe
Luz	3	10,36**	6,92***	6,42***	13,75***	18,48***	16,86***	2,05	6,06***	24,62***	15,98***	5,95***
Solo	1	3,74	16,69***	0,04	84,17***	6,07*	16,59***	136,22***	17,98***	0,52	51,71***	0,79
Progénie	2	0,97	7,43**	4,22**	0,32	2,64	0,67	7,54**	3,69*	1,19	0,25	1,50
Solo x Luz	3	5,32**	3,49*	0,73	6,45***	0,27	4,21*	6,29**	3,72*	1,38	4,72**	0,27
Progénie x Luz	6	0,94	1,07	0,71	0,29	0,44	0,84	0,62	1,29	0,34	0,95	0,27
Solo x Progénie	2	0,61	1,95	2,35	3,78*	0,75	1,78	0,34	3,57*	1,45	0,71	1,77
Solo x Progénie x Luz	6	1,71	1,82	1,32	0,44	2,90*	2,22	2,95	1,73	2,13	1,26	1,07

Níveis de significância do tratamento: * p < 5%; ** p < 1%; *** p < 0,1%.

ANEXO VI. Valores de F obtidos por análise de variância, para F_v/F_m de *D. alata* Vog. antes do amanhecer (Exp. 2).

Fontes de variação	G.L.	Valores de F			
		Data da medida			
		24/02/00	25/02/00	12/05/00#	24/05/00
Solo	1	9,93**	11,90***	6,96*	1,46
Luz	3	2,45*	5,34**	99,52***	12,23***
Progênie	2	0,00	0,26	4,99**	2,61
Progênie x Luz	6	1,29	1,31	7,03**	0,99
Solo x Luz	3	1,82	5,89**	1,05	0,49
Solo x Progênie	2	0,96	4,63*	7,02**	1,14
Solo x Progênie x Luz	6	1,55	0,72	6,56**	0,80
<i>100% de luz</i>					
Solo	1	10,05**	22,08***	3,38	0,03
Progênie	2	2,32	0,51	0,94	1,40
Solo x Progênie	2	1,70	0,20	0,48	1,16

Mensuradas apenas plantas sob 50% e 100% de luz.

Nível de significância do tratamento: * P < 0,05; ** P < 0,01 e *** P < 0,001.