

FIXAÇÃO DE NITROGÊNIO EM ÁRVORES
(NITROGEN FIXATION IN TREES)

NODULAÇÃO E FIXAÇÃO DE NITROGÊNIO EM LEGUMINOSAS FLORESTAIS

JOHANNA DÖBEREINER¹

RESUMO - A família das leguminosas muitas vezes é considerada predominantemente herbácea porque as espécies mais conhecidas como feijão, soja e forrageiras são anuais. Na verdade, entretanto, a grande maioria (97% das *Caesalpinioideae*, 95% das *Mimosoideae* e 38% das *Papilionoideae*) desta família são espécies arbóreas. Ao contrário das espécies herbáceas mais conhecidas que todas, formam nódulos e fixam N₂ pois muitas das espécies arbóreas não são capazes de nodular. Apenas uma pequena parte destas espécies (18%) tem sido examinada a respeito. Estudos recentes das espécies florestais brasileiras mais importantes adicionaram 63 espécies noduladas e 16 não-noduladas às listas disponíveis na literatura. Espécies noduladas deveriam receber preferência nos estudos de reflorestamento, e a capacidade de nodular e fixar N₂ precisa ser considerada no preparo das sementeiras. Mudanças bem noduladas obtidas de sementeiras inoculadas e sem N, na fórmula de adubação, estabelecem-se melhor e crescem muito mais rápido no campo. Para algumas das espécies mais importantes (*Mimosa caesalpiniaefolia*, *Prosopis juliflora* e *Leucaena leucocephala*), já existem inoculantes disponíveis, e para as outras espécies estão em fase de teste. Leguminosas arbóreas bem estabelecidas podem fixar até 600 kg de N/ha por ano.

Termos para indexação: *Rhizobium*, inoculação, sementeiras.

NODULATION AND NITROGEN FIXATION IN LEGUME TREES

ABSTRACT - Although herbaceous legumes are much better known, the vast majority (97% of *Caesalpinioideae*, 95% of *Mimosoideae* and 38% of *Papilionoideae*) are tree species. In contrast to the well known herbaceous species which all are able to form nodules and fix N₂, of the tree species many do not nodulate. Only a minor part of these species (18%) has been examined in this respect. Recent studies of the more important Brazilian forest trees have added 63 nodulated species and 16 non-nodulated species to the lists given in the literature. Species which nodulate should be planted in inoculated seed beds which proportion better establishment in the field and faster growth than N fertilized seed beds. For this, host plant specificities have to be better known to permit *Rhizobium* strain selections for inoculant production. For some important tree species (*Mimosa caesalpiniaefolia*, *Prosopis juliflora* and *Leucaena leucocephala*) inoculants are already available. Estimates of N₂ fixation by tree species reach 600 kg N/h/yr.

Index terms: inoculation, *Rhizobium*, seedbeds.

¹ EMBRAPA-UAPNPBS, km 47 Seropédica, 23460 Rio de Janeiro, RJ.

INTRODUÇÃO

Os silvicultores muitas vezes não se conscientizam do fato de haver fixação de nitrogênio em florestas, e de que grande parte das essências florestais nativas são leguminosas. O reflorestamento com leguminosas noduladas resulta numa recuperação de solos erodidos, enquanto plantios consecutivos de essências florestais exóticas não-leguminosas ainda agravam o esgotamento do solo.

A fixação biológica de nitrogênio e fotossíntese representam os processos básicos, responsáveis pela manutenção da vida na terra, porque são eles que reciclam o nitrogênio e o carbono da atmosfera para a terra. Ambos os processos utilizam energia solar, onde os processos industriais de produção de fertilizantes usam combustíveis fósseis. A fixação de N_2 é a redução do nitrogênio molecular da atmosfera em amônia, que por sua vez pode ser utilizada pela planta. Este processo é privativo de microorganismos procariontes, não dispondo nenhuma planta superior dos sistemas enzimáticos que permitam a utilização do nitrogênio molecular. São conhecidas associações e simbioses mais ou menos perfeitas entre microorganismos e plantas superiores, sendo a simbiose da família Leguminosae a mais perfeita e melhor conhecida.

A falta de informações sobre as leguminosas arbóreas não se justifica, já que a grande maioria de espécies da família Leguminosae é arbórea (Tabela 1). Destas espécies, apenas pequena parte foi examinada a respeito de sua nodulação (9, 15 e 20% das espécies de *Caesalpinioideae*, *Mimosoideae* e *Papilionoideae* resp.) (Allen & Allen 1981). Na Tabela 2, resumimos dados relativos as espécies usadas em hortos florestais brasileiros e/ou recomendadas para o reflorestamento. Destacamos nesta Tabela o número de espécies encontradas com nódulos no Brasil e não incluídas em Allen & Allen (1981). São dez espécies de *Caesalpinioideae*, 25 de *Mimosoideae* e 27 de *Papilionoideae*. À lista de espécies incapazes de formar nódulos acrescentamos 14, 0 e 2 espécies, respectivamente, nas três subfamílias. Estes resultados salientam o desconhecimento da capacidade de formar nódulos e fixar nitrogênio das nossas espécies florestais em uso generalizado. Na Tabela 3, estão resumidas as informações mais recentes a respeito destas espécies, informações estas não contidas na lista mais recente de espécies arbóreas, preparada pelo NIFTAL, Hawaii (Halliday 1983), mostrando mais uma vez a deficiência de informações sobre as espécies comuns brasileiras. Detalhes sobre espécies e formas de nódulos serão apresentados em outro trabalho neste Simpósio (Faria et al. 1983).

É amplamente conhecido que as leguminosas arbóreas podem nodular e fixar nitrogênio tão eficientemente como as herbáceas, isto é, obter todo o nitrogênio necessário do ar, para um desenvolvimento normal da planta. Como o crescimento das espécies arbóreas se estende por muitos anos e as plantas atingem tamanho muito superior ao das herbáceas, a taxa de crescimento durante o período máximo de crescimento também é muito superior à das leguminosas herbáceas. Sendo assim, para cobrir as necessidades de nitrogênio, há nestas espécies, também, uma taxa de fixação de nitrogênio muito superior à das herbáceas. Na Tabela 4, são resumidos dados máximos encontrados na literatura para demonstrar o potencial. Obviamente, não haverá sempre fixação de quantidades tão altas de nitrogênio, sendo dependente, por um lado, da fertilidade do solo que determina a taxa de crescimento e, por outro, da disponibilidade de nitrogênio no solo.

Tanto plantas herbáceas como perenes preferem assimilar nitrogênio mineral do solo, sendo fixada apenas a quantidade necessária para atender as necessidades. Desta forma, quantidade de N_2 , como as citadas na Tabela 4, somente serão fixadas em solos onde pouco ou nenhum N está disponível. Em florestas ou savanas em equilíbrio, há um reciclamento constante dos nutrientes, inclusive do nitrogênio com perdas mínimas e, portanto, as muitas leguminosas que fazem parte de ecossistemas naturais raras

TABELA 1. Ocorrência de árvores na família Leguminosae (Tutin 1958).

	Gêneros lenhosos (%)	Espécies lenhosas (%)
Subfamílias		
<i>Mimosoideae</i>	84	95
<i>Caesalpinoideae</i>	97	97
<i>Papilionoideae</i>	61	38
Tribos de Papilionoideae		
<i>Sophoreae</i>	97	98
<i>Podalyrieae</i>	88	92
<i>Dalbergieae</i>	100	100
<i>Phaseoleae</i>	32	24
<i>Galegeae</i>	62	18
<i>Hedysareae</i>	38	17
<i>Vicieae</i>	0	0
<i>Loteae</i>	22	4
<i>Trifolieae</i>	25	1
<i>Genisteae</i>	82	67

TABELA 2. Ocorrência de nodulação em gêneros florestais de interesse para o Brasil (Allen & Allen 1981).

Gênero	N.º de espécies conhecidas	N.º de espécies	
		nodulação c/nódulos	observada s/nódulos
<i>Caesalpinoideae</i>			
<i>Apuleia</i>	2	0	0 + 1
<i>Bauhinia</i>	550-575	1	26 + 1
<i>Caesalpinia</i>	200	0	14 + 2
<i>Cassia</i>	600	44 + 1 ^a	55 + 3
<i>Copaifera</i>	25	1	1 + 1
<i>Cyanometra</i>	60-70	0	3
<i>Delonix</i>	3	0 + 1	2
<i>Dialum</i>	70	1 + 1	2 + 1
<i>Dimorphandra</i>	25	1 + 2	0
<i>Eperua</i>	11	1	3
<i>Hymenaea</i>	25-30	1	1
<i>Macrolobium</i>	50	0	1
<i>Melanoxylon</i>	2	0 + 1	0
<i>Moldenhauera</i>	5	0 + 1	0
<i>Mora</i>	10	1	2
<i>Parkinsonia</i>	2-4	0	2
<i>Peltogyne</i>	27	0	1 + 2
<i>Peltophorum</i>	15	0	2 + 1
<i>Pterogyne</i>	1	0	1
<i>Schizolobium</i>	4-5	0	1

TABELA 2. Continuação.

Gênero	N.º de espécies conhecidas	N.º de espécies	
		nodulação c/nódulos	observada s/nódulos
<i>Sclerolobium</i>	25-30	2	0
<i>Tachigalia</i>	22	0 + 1	2
<i>Tamarindus</i>	1	0	1
Total conhecido	1873-1923	53 + 8	120 + 12

^a Adicionados por Faria et al. 1983, Campello 1976, Ribeiro Júnior 1981, Vasconcellos 1980 e Magalhães et al. 1982.

Mimosoideae

<i>Acacia</i>	800-900	206 + 1	11
<i>Adenanthera</i>	12	0 + 4	3
<i>Albizia</i>	150	32 + 1	0
<i>Calliandra</i>	150	10 + 1	3
<i>Cedrelinga</i>	1	0 + 1	0
<i>Entata</i>	30-40	5 + 1	0
<i>Enterolobium</i>	8-10	2 + 1	0
<i>Inga</i>	150-300	13 + 3	4
<i>Leucaena</i>	50	3	0
<i>Mimosa</i>	600	22 + 1	3
<i>Parapiptadenia</i>	3	1 + 2	0
<i>Parkia</i>	50-60	4	1
<i>Piptadenia</i>	11-15	1 + 3	2
<i>Pithecellobium</i>	100-200	13 + 3	1
<i>Phathymenia</i>	3-4	0 + 1	0
<i>Prosopis</i>	45	6	3
<i>Pseudosamanea</i>	1	0 + 1	0
<i>Samanea</i>	20	1	0
<i>Stryphnodendron</i>	15	2 + 2	0
Total conhecido	2500-2920	351 + 26	37

Papilionoideae

<i>Aeschynomene</i>	150-250	44	0
<i>Amburana</i>	2	0	0
<i>Andira</i>	35	1 + 3	1
<i>Bowdichia</i>	2	0 + 1	1
<i>Centrolobium</i>	5	0 + 3	0
<i>Cyanopsis</i>	3-4	3	0
<i>Dalbergia</i>	100-300	15 + 3	1
<i>Derris</i>	70-80	5 + 2	1
<i>Dioclea</i>	30-50	2	0
<i>Diptotropis</i>	14	0 + 2	1
<i>Dipteryx</i>	10	0	1
<i>Erythrina</i>	108	27 + 1	0
<i>Gliricidia</i>	6-9	1	0
<i>Hymenolobium</i>	8-12	1 + 2	0

TABELA 2. Continuação.

Gênero	N.º de espécies conhecidas	N.º de espécies	
		nodulação	observada
		c/nódulos	s/nódulos
<i>Lonchocarpus</i>	175	11	1
<i>Machaerium</i>	150	3 + 5	0
<i>Ormosia</i>	100-120	5 + 2	0
<i>Platycyanus</i>	2	0	0
<i>Platymiscium</i>	30	3 + 1	0
<i>Platypodium</i>	2-3	0 + 2	0
<i>Poecilanthe</i>	7	0 + 1	0
<i>Pterocarpus</i>	60-70	14	0 + 1
<i>Pterodon</i>	4	0	0
<i>Swartzia</i>	130	7 + 3	7
<i>Vataireopsis</i>	3	0	0 + 1
<i>Zollernia</i>	8-10	0	0 + 2
Total conhecido	12215-12792	2416 + 28	47 + 2

TABELA 3. Lista complementar da nodulação de árvores leguminosas de importância econômica no Brasil.

	N.º de espécies	N.º de espécies noduladas	N.º de espécies noduladas não citadas como tais
<i>Caesalpinioideae</i>	19	7	4
<i>Mimosoideae</i>	14	13	1
<i>Papilionoideae</i>	23	20	5

* Observações em espécies não contidas na lista mestre de árvores fixadoras de nitrogênio NFTA.

TABELA 4. Estimativas de fixação de N₂ em árvores tropicais.

Espécies	Região	Kg N ₂ /ha/ano	Referências
<i>Leucaena larisiliqua</i>	Trópico úmido	500	Anon., 1977
<i>Acacia mearnsii</i>	Planaltos tropicais	200	Orchard & Darby, 1956
<i>Casuarina equisetifolia</i>	Zona árida	58	Dommergues, 1963
<i>Casuarina littoralis</i>	Trópico úmido	218	Silvester, 1977
<i>Parasponia</i>	Trópico úmido	850	Trinick, 1980

Dados adaptados de Dommergues 1982.

vezes apresentam nódulos mesmo, nas espécies conhecidas como fixadoras de N_2 (Bonnier & Brakel 1970). Apenas em áreas onde o equilíbrio foi perturbado ou em florestas ou savanas de regeneração, estas espécies são encontradas com nódulos abundantes. Em outras palavras, ecossistemas em equilíbrio raras vezes são limitados pela disponibilidade de nitrogênio, mas sim por outros elementos (Döbereiner & Campello 1977). Isto porque um ecossistema dificilmente atinge o clímax por deficiência de N, pois, neste caso, as leguminosas presentes formariam mais nódulos ou então se multiplicariam em detrimento de outras espécies incapazes de fixar N_2 , até que outro equilíbrio seja atingido, limitado pelo fosfato ou outro elemento.

Já que a nodulação e a fixação de nitrogênio têm papel preponderante em florestas em regeneração e principalmente no reflorestamento, há muitas possibilidades de fazer uso desta característica. Serão discutidos neste simpósio (Silva et al. 1983) alternativas para viveiros que estimulam a formação de nódulos e o estabelecimento das mudas no campo. Adubação com fosfato, Mo e sem N é o tratamento mais óbvio para garantir mudas bem noduladas. A inoculação dos viveiros com estirpes de *Rhizobium* selecionadas depende da disponibilidade de informações sobre a inoculação cruzada e da seleção de estirpes superiores aos existentes no solo. Como pode ser visto na Tabela 5, há diferenças entre estirpes e espécies e, de uma maneira geral, as estirpes mais eficientes foram obtidas da mesma espécie em que foram inoculadas. Exemplos da necessidade de seleção de estirpes serão apresentados neste simpósio (Faria et al. 1983).

A possibilidade da inoculação com macerado de nódulos em bracinga (*Mimosa scabrella*) é ilustrada na Tabela 6. Inoculação de sementeiras de areia com sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) resultou em

TABELA 5. Inoculação cruzada entre 11 estirpes de *Rhizobium*, 11 espécies florestais e 1 forrageira (Campello 1976).

Espécies	Origem das estirpes										
	<i>Acacia molissima</i>	<i>Albizia lebbek</i>	<i>Entada polyphylla</i>	<i>Leucaena leucocephala</i>	<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>	<i>Anadenanthera peregrina</i>	<i>Pithecellobium dulce</i>	<i>Prosopis juliflora</i>	<i>Erythrina speciosa</i>	<i>Sesbania marginata</i>	<i>Stylosanthes schofield</i>
<i>Acacia molissima</i>	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-
<i>Albizia lebbek</i>	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Entada polyphylla</i>	+	-	+	+	+	+	-	+	-	-	+
<i>Leucaena leucocephala</i>	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
<i>Mimosa scabrella</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Mimosa laticifera</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Anadenanthera peregrina</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Pithecellobium sp.</i>	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-
<i>Prosopis juliflora</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Erythrina velutina</i>	+	+	-	-	-	+	-	+	+	+	-
<i>Sesbania marginata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Stylosanthes schofield</i>	+	-	-	-	-	+	-	-	+	-	+

mudas maiores que as crescidas pelo método habitual de areia com esterco, e as mudas inoculadas, abundantemente noduladas, mostraram um estabelecimento no campo de 94% contra um de apenas 54% das mudas das sementeiras com esterco que não estavam noduladas. O crescimento das mudas inoculadas também foi três vezes mais rápido nos primeiros seis meses (Tabela 7).

Verificamos, portanto, uma série de alternativas para o reflorestamento com eucalipto que precisou ser examinada, criteriosamente, sob aspectos de produtividade e qualidade das madeiras de um lado, e pela multiplicidade de uso de inúmeras espécies leguminosas nativas pelo outro. Pouco foi feito até hoje para selecionar ou mesmo melhorar estas espécies para uma ou outra finalidade, e, apenas, uma avaliação cuidadosa do conjunto de vantagens econômicas e ecológicas permitirá a escolha de um ou de outro sistema, para cada uma das finalidades.

TABELA 6. Efeito da inoculação com nódulos macerados na nodulação e crescimento da Bracatinga (*Mimosa scabrella*) (Poggiani 1981).

Tratamento	Altura (cm)	Peso seco (g/planta)	N % de folhas	N total das folhas (g/planta)	Peso seco dos nódulos (g/planta)
Inoculação ^a	71,06	386,0	2,08	3,45	6,6
Testemunha	62,77	245,8	1,42	1,50	0

^a Todas plantas foram fertilizadas com NPK (5:14:3).

TABELA 7. Efeito da inoculação com *Rhizobium* sp. de sementes ou sementeiras de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) no seu estabelecimento no campo (Döbereiner 1967).

	% covas com plantas vivas	Altura após 7 meses (cm)	Crescimento após plantio no campo (cm)
Sementeira com esterco	52	40	13
Sementeira inoculada	94	62	31
Semeio direto de sementes inoculadas d.m.s.	78	6	6

REFERÊNCIAS

- ALLEN, O.N. & ALLEN, E.K. The leguminosae-A source book of characteristics, uses, and nodulation. Wisconsin, The University of Wisconsin Press, 1981. 812p.
- BONNIER, C. & BRAKEL, J. Problème spécifique des légumineuses tropicales. In: SEMINÁRIO METODOL. PLANEJ. PESQ. LEG. TROP., 1970. As leguminosas na Agricultura Tropical; Anais. p.28-51.
- CAMPELO, A.B. "Caracterização e especificidade de *Rhizobium* spp. de leguminosas florestais. Rio de Janeiro, UFRRJ, 1976. Tese Mestrado.

- DÖBEREINER, J. Efeito da inoculação de sementeiras de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) no estabelecimento e desenvolvimento de mudas no campo. *Pesq. agropec. bras.*, 2:301-5, 1967.
- DÖBEREINER, J. & CAMPELLO, A.B. Importance of legumes and their contribution to tropical agriculture. In: HARDY, R.W.F. & GIBSON, A.H., eds. *A treatise on dinitrogen fixation; agronomy and ecology*, 1977. p.191-220.
- DOMMERGUES, Y. Ensuring effective symbiosis in nitrogen-fixing trees. In: GRAHAM, P.H. & HARRIS, S.C., eds. *Biological nitrogen fixation technology for tropical agriculture*. Cali, Colombia, 1982. p.395-412.
- FARIA, S.M.; MOREIRA, V.C. & FRANCO, A.A. Seleção de estirpes de *Rhizobium* spp. para espécies de leguminosas florestais. In: SIMPÓSIO SOBRE FIXAÇÃO DE N₂ EM ÁRVORES TROPICAIS. Anais. Rio de Janeiro, EMBRAPA-PNPBS/UFRRJ, 1983.
- HALLIDAY, J. Host *Rhizobium*-Mycorrhiza interactions and genotype selection. In: SIMPÓSIO SOBRE FIXAÇÃO DE N₂ EM ÁRVORES TROPICAIS. Anais. Rio de Janeiro, EMBRAPA-PNPBS-UFRRJ, 1983.
- MAGALHÃES, F.M.M.; MAGALHÃES, L.M.S.; OLIVEIRA, L.A. de & DÖBEREINER, J. Ocorrência de nodulação em leguminosas florestais de terra firme nativas da região de Manaus-AM. *Acta Amaz.*, 12(3):509-14, 1982.
- NORRIS, D.O. Lime in relation to the nodulation of tropical legumes. In: HALLSWORTH, E.G., ed. *Nutrition of the legumes*. New York, Academic Press, 1958. p.164-82.
- POGGIANI, F.; SIMÕES, J.W.; MENDES FILHO, J.A.A. & MORAES, A.N. Utilização de espécies florestais de rápido crescimento na recuperação de áreas degeneradas. Piracicaba, IPEF, 1981. 25p. (Série Técnica, 2).
- RIBEIRO JÚNIOR, W.Q. & LOPES, E.S. Levantamento de nodulação em mudas de leguminosas florestais, 1981. No prelo.
- SILVA, E.M.R. da; FARIA, S.M. de; CAMPELLO, E.F.C. & ASCONEGUI, M.A.M. de. Efeito de doses crescentes de fosfato de rocha na fixação de nitrogênio e desenvolvimento de mudas de leguminosas florestais. In: SIMPÓSIO SOBRE FIXAÇÃO DE N₂ EM ÁRVORES TROPICAIS. Anais. Rio de Janeiro, EMBRAPA-PNPBS/UFRRJ, 1983.
- TUTIN, T.G. Classification of the legumes. In: HALLSWORTH, E.G., ed. *Nutrition of the legumes*. New York, Academic Press, 1958. p.3-14.
- VASCONCELLOS, J.I.P. Fixação biológica do nitrogênio em plantas de interesse econômico do Nordeste. CNPq/FCPC/UFC, 1980. Relatório Técnico Anual.