

ARTIGO



AUTORES:

Edilingles Pinto Vieira¹
Luiz Augusto Gomes de Souza¹

¹Inpa, 69.060-001, Manaus, AM, Brasil.

Recebido: 21/01/2011

Aprovado: 28/02/2011

AUTOR CORRESPONDENTE:

Luiz Augusto Gomes de Souza
E-mail: souzalag@inpa.gov.br

PALAVRAS-CHAVE:

Desenvolvimento sustentável
Nodulação
Fixação de N₂

KEY WORDS:

Sustainable development
Nodulation
N₂ fixation

Inoculação com rizóbios em mudas de acapu do igapó e saboarana

Inoculation with rhizobia in seedlings of Swartzia argentea and S. laevicarpa, leguminosae

RESUMO - Para avaliar o efeito da inoculação com rizóbios em acapu do igapó (*Swartzia argentea* Benth.) e saboarana (*S. laevicarpa* Amshoff.), sementes destas espécies foram postas para germinar em areia e transplantadas para sacos, com 2-3 kg de solo Argissolo Vermelho Amarelo e Latossolo Amarelo, respectivamente. Oito estirpes de rizóbios isoladas de *Swartzia* foram empregadas como inoculante. Os tratamentos foram: controle; plantas adubadas com ureia; inoculação com rizóbios. O ensaio foi conduzido em viveiro e o delineamento foi o inteiramente casualizado, com três tratamentos com oito (acapu do igapó) e quinze (saboarana) repetições. Na colheita, foi determinado o número de nódulos, o peso das folhas, caule, raízes e nódulos secos, concentração de N foliar e N-total. A inoculação com rizóbios é uma alternativa de suprimento de N para as plantas na fase viveiro, contribuindo para a formação de mudas com nódulos bem estabelecidos, aptas para o plantio definitivo. O fornecimento de N na forma de N-mineral tem efeitos inibitórios no estabelecimento de nódulos. As mudas de acapu do igapó e saboarana têm bom desenvolvimento, crescimento, nodulação e absorção de nitrogênio, quando inoculadas com estirpes de rizóbios do mesmo gênero, sugerindo que técnicas de inoculação sejam mais bem exploradas com princípios agroecológicos.

ABSTRACT - In order to evaluate the effect of inoculation with rhizobia on acapu do igapó (*Swartzia argentea* Benth.) and saboarana (*Swartzia laevicarpa* Amshoff.), seeds of these species were germinated in sand and transplanted for recipients, with 2 and 3 kg of Ultisol and Oxisol, respectively. Eight strains of isolated rhizobia of *Swartzia* were used as inoculant. The treatments were: control; plants fertilized with ureia; and inoculation with rhizobia. The assays were carried out in a nursery and were entirely random, with three treatments for eight (*Swartzia argentea*) and fifteen (*Swartzia laevicarpa*) repetitions. On harvesting, the number of nodules, the weight of the leaves, stem, roots and dry nodules and, concentrations of N-foliolate and N-total were calculated. Inoculation with Rhizobia provides an alternative supply of N for the plants during the nursery phase, contributing to the formation of seedlings with very well-established nodules, ready for planting out. The supply of N in the form of N-mineral inhibited the growth of nodules. It was also found that the seedlings of acapu do igapó and saboarana exhibited good development, growth, nodulation and nitrogen absorption, when inoculated with strains of Rhizobia of the same genus, suggesting that inoculation techniques are more profitable when ecological agricultural systems are employed.

1 Introdução

Os estudos da nodulação de leguminosas lenhosas têm sido ampliados nos últimos anos, devido à demanda por espécies de rápido crescimento, para produção de madeira e lenha, e habilidade fixadora de nitrogênio. Sob o prisma da agroecologia, buscam-se modelos tecnológicos para sistemas sustentáveis de produção. Entende-se, assim, sob o enfoque deste novo paradigma, o sistema de produção agrícola como um ecossistema próprio em que componentes importantes, como a variedade de espécies combinadas no tempo ou no espaço, a decomposição e ciclagem de materiais, a redução dos impactos negativos da mecanização e do uso de agrotóxicos possam ser mais bem manipulados.

Neste contexto, as simbioses e associações entre componentes do sistema são valorizadas. Sob o prisma do manejo das entradas e saídas do agroecossistema, são recomendados processos biológicos economicamente compensadores, como a simbiose rizóbio-leguminosas (FRANCO; FARIA, 1997). Entretanto, ainda há muito questionamento sobre que espécies de leguminosas podem ser selecionadas para suprimento de nitrogênio aos agroecossistemas via fixação biológica de N_2 .

Na família *Fabaceae* (*Leguminosae*) são inúmeras as espécies de interesse econômico, produtoras de alimentos, forrageiras, madeiráveis, medicinais, produtoras de óleos e resinas, tanino, cortiça, lenha e carvão (NAS, 1979), fornecendo um produto e, portanto, existindo a possibilidade de exploração para obtenção de renda. Há, também, grande plasticidade entre indivíduos da família, quanto ao hábito de crescimento, sendo encontradas árvores de grande porte, árvores médias e pequenas, arvores, lianas, ervas de crescimento indeterminado, ervas de ciclo anual (DUCKE, 1949).

Há uma demanda por maiores informações sobre a capacidade de resposta de leguminosas arbóreas nodulíferas quando inoculadas com rizóbios específicos ou homólogos e muitas espécies nativas foram pouco pesquisadas quanto à eficiência da simbiose, limitando a adoção de alternativas biológicas nas práticas de cultivo (SPRENT, 2000). Desse modo, a propriedade da fixação de nitrogênio em simbiose com rizóbios, característica da maioria das leguminosas, as torna de interesse potencial na combinação de espécies dos sistemas de produção sustentáveis (ALLEN; ALLEN, 1981). Tal propriedade oferece um serviço que pode ser explorado a partir da vocação de cada espécie, havendo aquelas

apropriadas para o sombreamento dos cultivos, reflorestamento, adubação verde, apicultura, cobertura do solo, controle de erosão, recuperação de áreas degradadas, levando a práticas como as de cultivos intercalados ou consorciados e outras aplicações agrícolas que favorecem a produção.

Na Amazônia, sabe-se que, no rio Negro, crescem várias espécies do gênero *Swartzia*, dentre elas a saboarana (*Swartzia laevicarpa*), o arabá (*S. polyphylla*), a acapu do igapó (*S. argentea*), coração de negro (*S. corrugata*) e faveira (*S. sericea*), que são consideradas economicamente importantes, pelo valor de sua madeira (SILVA; SOUZA, 2002). Estudos sobre a nodulação espontânea de *Swartzia laevicarpa* foram conduzidos na Amazônia Central (MOREIRA; MOREIRA; SILVA, 1995), evidenciando a necessidade de novas pesquisas sobre a eficiência do processo simbiótico em espécies congêneres.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a habilidade fixadora de nitrogênio de acapu do igapó e saboarana, na fase viveiro, em resposta à inoculação com estirpes de rizóbio e adubação nitrogenada.

2 Material e Métodos

Esta pesquisa foi conduzida no Laboratório de Microbiologia do Solo (LMS) e no viveiro do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – CPCA/Inpa, no Campus do V-8, em Manaus, AM, durante os anos de 2009 e 2010.

As sementes de acapu do igapó (*Swartzia argentea* Benth.) foram coletadas de árvores localizadas nas matas de igapó do rio Negro, município de São Gabriel da Cachoeira, AM (Herbário do Inpa nº 220887) e as de saboarana (*Swartzia laevicarpa* Amshoff.) foram provenientes de árvores matrizes plantadas na Estação Experimental de Fruticultura Tropical do Inpa, município de Manaus, AM.

A germinação das sementes foi acompanhada em sementeiras, constituídas por caixas de plástico preenchidas com areia. A semeadura foi feita a 2 cm de profundidade. O acompanhamento da germinação e manutenção da umidade do substrato foi feito diariamente, até que o processo de germinação das sementes se completasse. Os substratos utilizados foram: para *S. argentea* o solo Argissolo Vermelho Amarelo (LVA), coletado sob sistemas agroflorestais, na Estação Experimental de Olericultura do Inpa; e, para *S. laevicarpa*, o solo Latossolo Amarelo (LA), coletado em área de pastagem na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Amazo-

nas, ambos no município de Manaus, AM. Após a coleta, os solos foram peneirados em malha de 5 cm, e em seguida distribuídos nos recipientes com capacidade para 1,91 e 3,33 kg de solo, respectivamente. Uma amostra de cada solo foi separada para análise, que foi efetuada no Laboratório Temático de Solos e Plantas – LTSP do Inpa, e os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas de amostras dos solos Argissolo Vermelho Amarelo e Latossolo Amarelo utilizados nos experimentos com acapu do igapó (*Swartzia argentea*) e saboarana (*S. laevicarpa*).

Classe de solo	pH (H ₂ O)	Ca	Mg	K	Al	P	Fe	Zn	Mn
		-----cmol _c kg ⁻¹ -----					-----mg kg ⁻¹ -----		
Argissolo	4,31	1,86	0,37	0,11	0,65	8,5	192,0	5,7	2,9
Latossolo	4,62	0,35	0,13	0,10	1,00	1,5	313,0	2,6	2,6

Os solos Argissolo Vermelho Amarelo e Latossolo Amarelo receberam uma adubação básica constituída por 476 mg kg⁻¹ de superfosfato triplo, 172 mg kg⁻¹ de cloreto de potássio e 1 g kg⁻¹ de calcário dolomítico e solução líquida de micronutrientes para solo, 1 mL kg⁻¹ (HALLIDAY, 1984). A solução líquida de micronutrientes foi preparada de acordo com Eira, Almeida e Silva (1972).

Na condução dos experimentos foram adotados três tratamentos: (1) controle (plantas sem inoculação e sem N mineral); (2) adubação com ureia (TN), 178 mg kg⁻¹ (LVA/acapu do igapó) e 90,1 mg kg⁻¹ (LA/saboarana); (3) inoculação com rizóbios 5 mL planta⁻¹. No preparo do inoculante líquido, em meio YMA sem agar, foram utilizadas oito estirpes da coleção do LMS, isoladas de nódulos de *Swartzia*: Inpa 581, 591, 594, 609, 624, 798, 801 e 802, misturadas em coquetel. O período de incubação foi de 8 dias, em agitador mecânico horizontal. No tratamento TN, houve parcelamento aos 3 e aos 33 dias do transplantio, incorporando-se o fertilizante diretamente no solo, com o auxílio de um bastão de vidro.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com 3 tratamentos e 8 e 15 repetições, para o acapu do igapó e saboarana, respectivamente, em consonância com as plântulas disponíveis. Após o transplantio, aos 60 dias após a semeadura, o comprimento do caule, medido com o auxílio de uma régua, e o diâmetro do colo das plantas, aferido com um paquímetro digital, foram obtidos aos 1, 32, 60, 91, 122, 153, 182 e 204 dias para o acapu do igapó, e aos 2, 32, 73, 105, 124, 172 e 185 dias para a saboarana. Estimativas do incremento do crescimento mensal em comprimento do caule e

diâmetro do colo foram realizadas segundo Benincasa (1988).

A avaliação das plantas foi efetuada aos 204 dias para o acapu do igapó e 185 dias para a saboarana. Nesta fase, foi extraída a planta inteira de cada vaso, separando-se a parte aérea das raízes, para determinação do peso seco das raízes, parte aérea, caule, folhas e dos nódulos, além de ter sido feita a contagem do número de nódulos. A secagem do material vegetal foi feita a 65 °C, por 72 horas.

O teor de N foliar foi determinado pelo método de destilação ácida e titulação de Kjeldhal, estimando-se em seguida o N-total (mg/planta). Foi adicionalmente determinada a matéria seca total, a relação raiz/parte aérea e o peso específico dos nódulos (peso seco dos nódulos/número de nódulos).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. Na análise, os dados da contagem dos nódulos foram transformados em $\sqrt{(x+0,01)}$ (CENTENO, 1990) e os valores de N-foliar (%) foram transformados para arco-seno $\sqrt{(x+0,01)}$. Adicionalmente, foram feitas correlações entre variáveis de desenvolvimento, nodulação e absorção de nitrogênio.

3 Resultados e Discussão

As mudas de acapu do igapó desenvolveram-se satisfatoriamente e, aos 204 dias, apresentaram qualidade adequada para o plantio definitivo. Foi verificado que, na fase de viveiro, esta espécie foi atacada por formigas cortadeiras (*Atta sexdens sexdens*), o que afetou diretamente suas medidas de crescimento, seguido do rebroto e recuperação. O comprimento do caule não foi afetado pelos tratamentos, cuja média geral foi de 49,3 cm (Tabela 2). Aos 204 dias, as plantas que foram adubadas com ureia (TN) e as que foram inoculadas (T-inoculado) tiveram o comprimento do caule maior que as plantas do tratamento controle. No tratamento T-inoculado o incremento mensal em comprimento do caule foi de 1,9 cm mês⁻¹ e no TN foi cumulativo e progressivo, estimado em 2,7 cm mês⁻¹ (Tabela 2).

Foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos aos 60 e 204 dias, para o diâmetro do colo das mudas de acapu do igapó (Tabela 3). Aos 60 dias, as plantas do tratamento controle apresentavam diâmetro do colo superior ao das plantas do T-inoculado; entretanto, aos 204 dias, as plantas inoculadas tiveram diâmetro do colo maior que as do tratamento controle, demonstran-

do o efeito benéfico e progressivo da inoculação na fase de formação das mudas. O incremento diamétrico mensal foi de 0,2 cm mês⁻¹, para as mudas do tratamento controle, e 0,4 cm mês⁻¹, nas plantas dos tratamentos TN e T-inoculado. Foi demonstrado que o crescimento inicial das mudas de acapu do igapó pode ser classificado como lento, independente dos tratamentos.

Tabela 2. Efeito da inoculação com rizóbios no comprimento do caule (cm) de mudas de acapu do igapó (*Swartzia argentea*) em solo Argissolo Vermelho Amarelo, coletado em área de sistemas agroflorestais, sob enviveiramento.

Tratamentos	Dias após o transplantio							
	1	32	60	91	122	153	182	204
Controle	44,1 a	45,6 a	46,8 a	50,1 a	52,5 a	47,9 a	49,0 a	42,6 a
TN	33,3 a	40,1 a	42,5 a	45,5 a	49,6 a	51,2 a	51,8 a	51,4 a
T-inoculado	41,4 a	34,8 a	37,7 a	41,1 a	43,3 a	45,1 a	45,3 a	54,1 a
C.V (%)	22,56	24,35	24,36	21,99	20,02	25,70	24,90	22,60
Teste F	3,19 ^{ns}	2,46 ^{ns}	1,55 ^{ns}	1,62 ^{ns}	1,89 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,58 ^{ns}	2,31 ^{ns}

*, ** e ns = significativo a 1 e 5% e não significativo.

Tabela 3. Efeito da inoculação com rizóbios no diâmetro do colo (mm) de mudas de acapu do igapó (*Swartzia argentea*) em solo Argissolo Vermelho Amarelo, coletado em área de sistemas agroflorestais, sob enviveiramento.

Tratamentos	Dias após o transplantio							
	1	32	60	91	122	153	182	204
Controle	3,9 a	4,2 a	4,9 a	4,9 a	5,7 a	5,5 a	5,6 a	5,2 a
TN	3,4 a	4,0 a	4,4 ab	4,9 a	5,6 a	5,8 a	6,1 a	6,2 a
T-inoculado	3,5 a	3,6 a	4,2 b	4,2 a	5,4 a	4,8 a	5,5 a	6,4 a
C.V (%)	20,24	13,28	11,40	16,92	18,75	22,60	19,64	16,77
Teste F	1,03 ^{ns}	2,02 ^{ns}	3,47*	2,46 ^{ns}	0,17 ^{ns}	1,25 ^{ns}	0,55 ^{ns}	3,68*

*, ** e ns = significativo a 1 e 5% e não significativo.

O peso seco das raízes, folhas e relação raiz/parte aérea das mudas de acapu do igapó não foram influenciados pelos tratamentos (Tabela 4). As mudas inoculadas acumularam 36,5% mais biomassa seca na parte aérea, comparadas ao tratamento controle ($p < 0,05$), equivalendo aos valores observados no tratamento TN.

Para o acapu do igapó o peso seco do caule aumentou com a inoculação, sendo 39,7% maior que no tratamento controle, sugerindo que a prática de inoculação pode resultar em mudas com caule mais vigoroso.

Os valores da relação raiz/parte aérea para o acapu do igapó sugerem que, em todos os trata-

mentos, as mudas apresentavam qualidade para o plantio. Segundo Sturion (1981), mudas com relação raiz/parte aérea entre 0,3-0,4 são adequadas ao plantio definitivo.

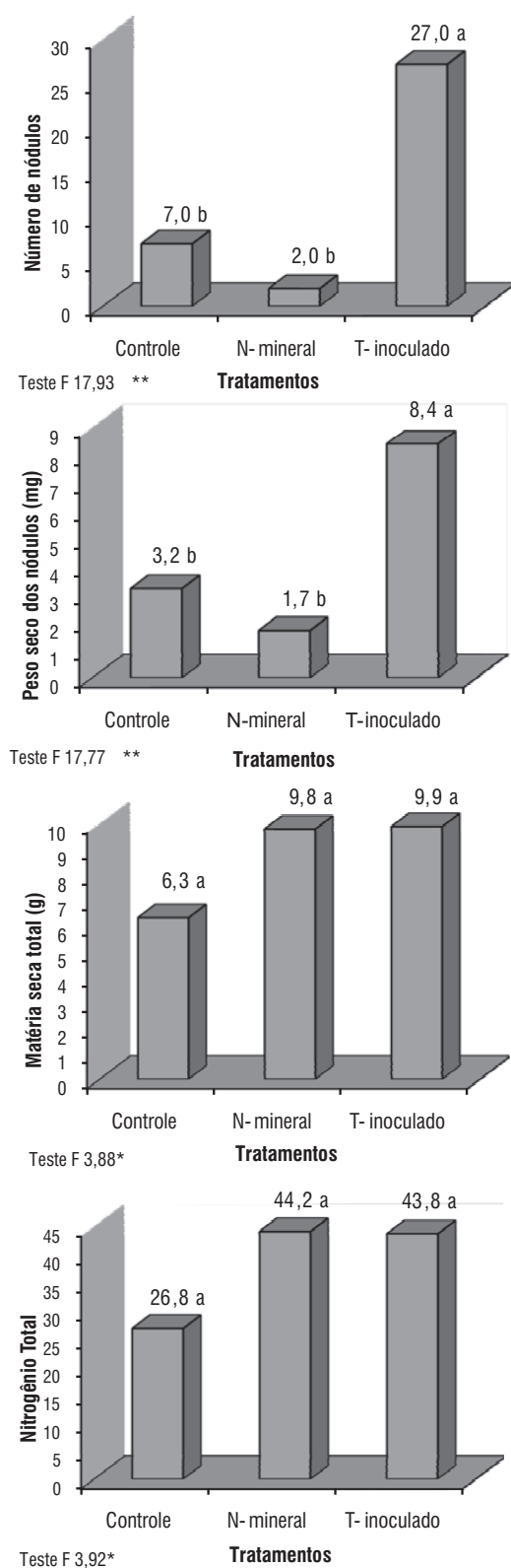
Tabela 4. Efeito da inoculação com rizóbios na distribuição da biomassa e relação raiz/parte aérea de mudas de acapu do igapó (*Swartzia argentea*) em solo Argissolo Vermelho Amarelo, coletado em área de sistemas agroflorestais, aos 204 dias de enviveiramento.

Tratamentos	Peso da parte aérea seca	Peso das raízes secas	Peso das folhas secas	Peso do caule seco	Relação raiz/parte aérea
	g				
Controle	4,48 a	1,81 a	1,23 a	3,25 b	0,41 a
TN	6,94 a	2,90 a	1,95 a	5,00 ab	0,42 a
T-inoculado	7,06 a	2,63 a	1,90 a	5,39 a	0,37 a
C.V (%)	34,56	37,41	36,21	36,45	22,43
Teste F	3,74*	3,06 ^{ns}	3,30 ^{ns}	3,76*	0,76 ^{ns}

*, ** e ns = significativo a 1 e 5% e não significativo.

O exame do sistema radicular das plantas do acapu do igapó identificou nódulos ramificados do tipo astragaloide na classificação de Corby (1981), de cor marrom claro, em raízes marrons. A inoculação com rizóbios favoreceu os indicadores relacionados à nodulação das mudas, estimulando significativamente a formação e desenvolvimento dos nódulos do acapu do igapó (Figura 1). Quando as plantas foram inoculadas, 27 nódulos foram formados, em média, superando as plantas do tratamento controle e do TN. Houve também um desenvolvimento nodular correspondente à quantidade de nódulos formados, o que evidencia uma baixa densidade de rizóbios presentes na população nativa do solo. No tratamento TN, o número de nódulos formados foi inferior ao tratamento controle, o que foi atribuído ao efeito inibidor do N-mineral sobre a iniciação nodular em plantas que têm disponibilidade de N no solo.

Observou-se que mudas de leguminosas arbóreas com nódulos estabelecidos têm maior tolerância às condições adversas após o plantio definitivo, retomando logo em seguida o seu crescimento (RIBEIRO JÚNIOR; LOPES; FRANCO, 1987). Galiana et al. (1998) verificaram que a inoculação com rizóbios na fase viveiro tem efeito positivo no crescimento de *Acacia mangium* aos 39 meses após o plantio, em solos africanos. Adicionalmente, a tecnologia de inoculação com rizóbios é de baixo custo e adequada para espécies florestais encontradas em países como o Brasil (DOBEREINER, 1984).



As plantas inoculadas apresentaram 4,9 vezes mais biomassa nodular que as que receberam ureia, evidenciando a efetividade da inoculação. Observa-se também que, mesmo não tendo sido verificadas diferenças significativas entre tratamentos na matéria seca total e N-total das mudas de acapu do igapó, o desenvolvimento das plantas inoculadas foi equivalente ao das que receberam N-mineral, ambas claramente diferenciadas do tratamento controle. Sabe-se que, quando ocorre o suprimento excessivo de N em cultivos agrícolas em condições de campo, pode ocorrer o desenvolvimento excessivo de biomassa aérea e até mesmo tombamento das plantas (MARSCHNER, 1990). Grossman et al. (2005), trabalhando no México com *Acacia koa*, *A. mangium* e *Gliricidia sepium*, demonstraram que a média de biomassa de mudas inoculadas foi significativamente maior do que em plantas supridas com N-mineral, apoiando a hipótese de que as práticas de inoculação de leguminosas arbóreas podem favorecer o desenvolvimento da planta.

Observou-se correlação positiva ($p < 0,05$) entre as variáveis: biomassa seca dos nódulos e a matéria seca total das mudas de *Swartzia argentea* (Figura 2), sugerindo que, quanto maior a biomassa seca dos nódulos, maior a matéria seca total das mudas, evidenciando a eficiência da simbiose fixadora de N_2 . Faria et al. (1995) inocularam mudas de *Albizia lebbek* em Latossolo Vermelho Escuro distrófico e verificaram que, embora a inoculação com rizóbios tenha proporcionado o desenvolvimento das mudas, foi menos eficiente que a adubação nitrogenada de 175 mg kg^{-1} de N por planta.

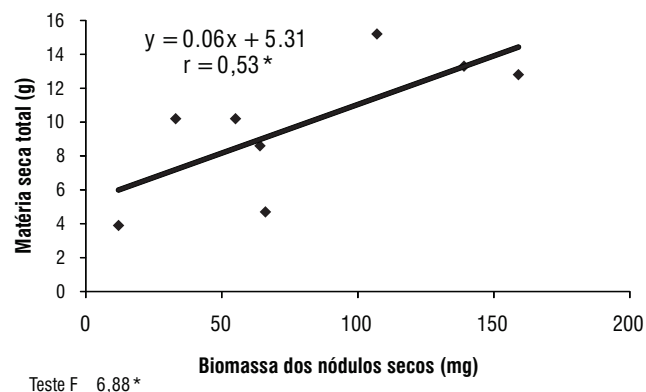


Figura 1. Efeito da inoculação com rizóbios no número e peso dos nódulos secos, matéria seca total e nitrogênio total de mudas de acapu do igapó (*Swartzia argentea*), em solo Argissolo Vermelho Amarelo, coletado em área de sistemas agroflorestais, aos 204 dias de enviveiramento. *; ** = significativo a 1 e 5%.

Figura 2. Correlação entre a biomassa dos nódulos secos e a matéria seca total de plantas de acapu do igapó (*Swartzia argentea*), inoculadas com rizóbios em solo Argissolo Vermelho Amarelo, coletado em área de sistemas agroflorestais, aos 204 dias de enviveiramento.

*; ** = significativo a 1 e 5%.

Tabela 5. Efeito da inoculação com rizóbios no comprimento do caule (cm) de mudas de saboarana (*Swartzia laeviscarpa*) em solo Latossolo Amarelo, coletado em área de pastagem, sob enviveiramento.

Tratamentos	Dias após o transplantio						
	2	32	73	105	124	172	185
Controle	69,9 a	75,3 a	89,2 a	98,4 a	104,3 a	115,6 a	120,5 a
TN	70,3 a	77,9 a	87,3 a	102,6 a	107,9 a	122,2 a	124,4 a
T-inoculado	72,0 a	75,3 a	90,8 a	101,9 a	106,9 a	121,6 a	123,7 a
C.V (%)	16,24	13,24	13,34	11,19	11,13	11,71	11,27
Teste F	0,14 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,38 ^{ns}	1,02 ^{ns}	0,34 ^{ns}

*, ** e ns = significativo a 1 e 5% e não significativo.

No segundo experimento, as mudas de saboarana já apresentavam 70,7 cm de comprimento do caule aos dois dias após o transplantio e o período de enviveiramento alcançou 185 dias. O comprimento do caule das mudas de saboarana não foi influenciado pelos tratamentos (Tabela 5). O incremento mensal foi de 8,3, 8,9 e 8,5 cm mês⁻¹, para o tratamento controle, TN e T-inoculado, respectivamente. O estudo, conduzido por Moreira, Moreira e Silva (1995), que avaliaram *Swartzia laeviscarpa* em 5 diferentes substratos, mostrou que as mudas não diferiram no comprimento do caule aos 4 meses de enviveiramento.

Tabela 6. Efeito da inoculação com rizóbios no diâmetro do colo (mm) de mudas de saboarana (*Swartzia laeviscarpa*) em solo Latossolo Amarelo, coletado em área de pastagem, sob enviveiramento.

Tratamentos	Dias após o transplantio						
	2	32	73	105	124	172	185
Controle	5,2 a	5,6 a	6,3 a	6,9 b	7,6 b	8,1 b	8,5 b
TN	5,4 a	5,8 a	6,7 a	7,1 ab	7,8 ab	8,4 ab	8,7 ab
T-inoculado	5,2 a	6,0 a	6,6 a	7,4 a	8,3 a	8,8 a	9,2 a
C.V (%)	12,52	13,88	9,93	8,34	9,52	8,73	7,93
Teste F	0,78 ^{ns}	1,01 ^{ns}	1,65 ^{ns}	3,47*	3,35*	3,19 ^{ns}	4,26*

*, ** e ns = significativo a 1 e 5% e não significativo.

O tratamento de inoculação com rizóbios favoreceu o crescimento diamétrico das mudas já aos 105 dias de viveiro, quando as plantas inoculadas apresentavam maior diâmetro do colo que as plantas do tratamento controle ($p < 0,05$), igualando-se às plantas que receberam N-mineral (Tabela 6). Aos 124 e 172 dias, essas diferenças permaneceram e, por ocasião da colheita, as mudas inoculadas foram significativamente maiores ($p < 0,05$) que as do tratamento controle. Em muitos estudos silviculturais

da fase de produção de mudas, o diâmetro do colo da planta tem sido considerado como um indicador da qualidade da muda para o plantio (ATIK, 1992; ARCO-VERDE; MOREIRA, 1998). O incremento mensal em diâmetro do colo da saboarana foi de 0,5 mm mês⁻¹ para mudas do tratamento controle e TN e 0,7 mm mês⁻¹ para mudas inoculadas com rizóbios.

A prática da inoculação favoreceu ($p < 0,05$) o desenvolvimento da biomassa seca da parte aérea e do caule da saboarana, comparado às plantas do tratamento controle (Tabela 7). Para o desenvolvimento radicular as mudas de saboarana inoculadas desenvolveram 32,7% mais raízes que as plantas não inoculadas e que não receberam N. Com relação à biomassa da parte aérea e do caule, este incremento foi de 17,9 e 17,7%, respectivamente. Foi também constatado que o suprimento das mudas com N-mineral favoreceu a biomassa foliar, comparada ao controle ($p < 0,05$), não diferindo das plantas do T-inoculado.

Tabela 7. Efeito da inoculação com rizóbios na distribuição da biomassa e relação raiz/parte aérea de mudas de saboarana (*Swartzia laeviscarpa*) em solo Latossolo Amarelo, coletado em área de pastagem, aos 185 dias de enviveiramento.

Tratamentos	Peso da parte aérea seca	Peso das raízes secas	Peso das folhas secas	Peso do caule seco	Relação raiz/parte aérea
	g				
Controle	19,14 b	4,74 b	5,70 b	13,46 b	0,25 a
TN	22,50 ab	5,64 ab	7,23 a	15,25 ab	0,25 a
T-inoculado	23,31 a	7,04 a	6,95 ab	16,36 a	0,30 a
C.V (%)	20,37	28,35	26,23	20,33	22,43
Teste F	3,76*	7,42**	3,40*	3,44*	3,36*

*, ** e ns = significativo a 1 e 5% e não significativo.

A relação raiz/parte aérea não foi alterada pelos tratamentos, no entanto o T-inoculado apresentou valor-relação que enquadra as mudas como de boa qualidade para o plantio. Mudas consideradas de boa qualidade para o plantio, segundo Sturion (1981), são aquelas que apresentam relação raiz/parte aérea na faixa de 0,3-0,4.

Os nódulos formados em saboarana apresentavam morfologia similar à de acapu do igapó, ou seja, o formato coraloide do tipo astragaloide, de cor marrom claro, estabelecido em raízes também marrons. Corby (1981) sugere que as leguminosas mais primitivas, de hábito arbóreo, formam nódulos ramificados, com vários sítios fixadores de N₂ localizados na região apical das ramificações, con-

forme observado para as espécies estudadas, ao passo que os mais evoluídos, em geral esféricos, estão associados a espécies de hábito herbáceo e/ou arbustivo.

A adição de N mineral ao substrato resultou na inibição total da iniciação nodular, enquanto que as plantas inoculadas formaram, em média, 66 nódulos (Figura 3). Por outro lado, o número médio de 47 nódulos formados em plantas do tratamento controle indica a presença de estirpes nativas compatíveis com a saboarana, no solo Latossolo Amarelo estudado, sugerindo possivelmente um potencial de adaptação desta espécie a áreas de terra firme da Amazônia. O mesmo padrão de resposta se reflete no peso específico dos nódulos, mesmo considerando-se que nas plantas inoculadas o desenvolvimento individual dos nódulos foi 32,5% maior que o das plantas do tratamento controle. Uma das etapas da iniciação nodular em raízes de leguminosas é a multiplicação do rizóbio na rizosfera. A inoculação antecipa essa etapa quando milhares de células de rizóbios encontram as raízes das plantas (FRANCO; NEVES, 1992), revelando assim um dos objetivos da inoculação feita nos experimentos com acapu do igapó e saboarana.

A adubação com N mineral inibiu o estabelecimento dos nódulos nas plantas de saboarana e o desempenho de mudas inoculadas foi equivalente aos nódulos formados pela população nativa de rizóbios do solo, sugerindo que doses elevadas de N-mineral não devem ser aplicadas na formação de mudas desta espécie. Outros resultados de pesquisas com leguminosas arbóreas consideram que a aplicação de N-mineral inibe a nodulação (GOI, SPRENT; JACOB-NETO, 1997).

Favorecidas pela presença de formas de N-mineral prontamente disponíveis no solo, as mudas de saboarana supridas com ureia acumularam maior N-total em sua biomassa que as plantas do tratamento controle. Embora o tratamento inoculado não tenha propiciado a melhor resposta quanto ao acúmulo de N-total, não houve diferenças estatísticas entre este tratamento e o das mudas que receberam N-mineral, aos 185 dias de enviveiramento. Demonstrando o potencial alternativo desta tecnologia em relação ao fornecimento de N para a planta, na fase de formação de mudas (Figura 3).

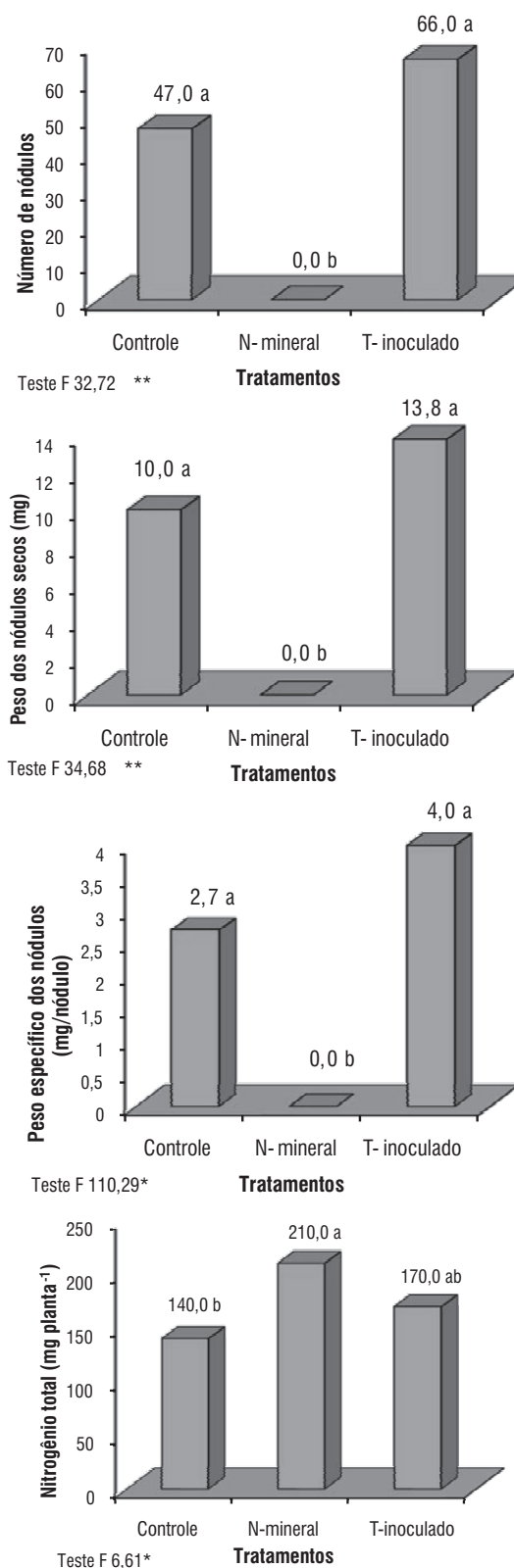


Figura 3. Efeito da inoculação com rizóbios no número de nódulos, peso dos nódulos secos, peso específico dos nódulos e nitrogênio total de mudas de saboarana (*Swartzia laevicarpa*), em solo Latossolo Amarelo, coletado em área de pastagem, aos 185 dias de enviveiramento. *, ** = significativo a 1 e 5%.

Observou-se correlação positiva significativa ($r = 0,86$) entre a biomassa dos nódulos secos, que foi obtida por planta, e os teores de N-total das mudas de *Swartzia laevicarpa* (Figura 4). Desse modo, quanto maior o peso dos nódulos, maior foi a absorção de N nas folhas da planta, ratificando a eficiência da fixação biológica de nitrogênio.

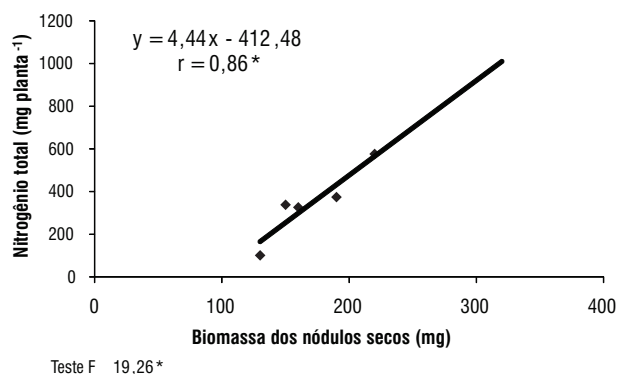


Figura 4. Correlações entre a biomassa seca dos nódulos e nitrogênio total de plantas de saboarana (*Swartzia laevicarpa*), inoculadas com rizóbios em solo Latossolo Amarelo, coletado em área de pastagem, aos 185 dias de enviveiramento.*¹

*, ** = significativo a 1 e 5%.

Esses resultados podem ser comparados a outros que seguem a mesma linha, como o realizado em solos de Pernambuco, onde correlação significativa ($r = 0,84$) entre a biomassa seca dos nódulos e o N-total na parte aérea das plantas de *Clitoria fairchildiana* foi verificada por Souza et al. (2007). Estes autores adotaram a correlação destas variáveis como uma medida da eficiência da fixação de N_2 . Na planta, o nitrogênio acumula-se principalmente na biomassa foliar, onde ocorre a síntese de proteínas, fotossíntese, duplicação celular (MARSCHNER, 1990).

Os solos estudados apresentavam populações nativas de rizóbios compatíveis para o acapu do igapó e a saboarana, mesmo não sendo o seu ambiente de ocorrência natural. Bala et al. (2003) consideram que uma leguminosa introduzida em uma área nova, diferente do seu ambiente de origem, só vai formar nódulos e fixar N_2 se rizóbios compatíveis estiverem presentes no solo. Assim, a contribuição da fixação biológica em tratamentos não inoculados se deve aos rizóbios nativos e, nos inoculados, trata-se de uma somatória dos rizóbios nativos e inoculados. Rodríguez-Echeverría e Pérez-Fernández (2005) consideram que a inoculação de leguminosas com estirpes de rizóbios selecionadas maximiza a probabilidade de sobrevivência das plantas após

o plantio e reintroduz, nos solos muitas vezes degradados, rizóbios nativos benéficos ao desenvolvimento das plantas. Os resultados desta pesquisa experimental sugerem que técnicas de inoculação, sobretudo em leguminosas arbóreas, sejam mais exploradas com princípios agroecológicos.

4 Conclusões

A inoculação com rizóbios em mudas de acapu do igapó e saboarana substituiu a necessidade de N mineral, proporcionou elevada nodulação, bem como mudas com qualidade para plantio definitivo.

O comprimento do caule das mudas de acapu do igapó e saboarana não foi afetado pelos tratamentos, ao passo que, ao final dos experimentos, as mudas de ambas as espécies apresentaram crescimento diamétrico favorecido pela inoculação com rizóbios.

O fornecimento de N na forma de N-mineral inibiu a formação de nódulos, desfavorecendo o processo simbiótico.

Referências

- ALLEN, O.N.; ALLEN, E.K. *The leguminosae: a source book of characteristics, uses and nodulation*. Wisconsin: The University Press, 1981. 812p.
- ARCO-VERDE, M.; MOREIRA, M.A.B. *Viveiros florestais. Construção, custos, cuidados e atividades desenvolvidas para a produção de mudas*. Boa Vista: Embrapa - CPAF, 1998. 32p. (Documentos, 3).
- ATIK. *Seeds and plant propagation*. Philippines: Agroforestry Technology Information Kit N°. 5, 1992. 106p.
- BALA, A.; MURPHY, P.J.; OSUNDE, A.O.; GILLER, K.E. Nodulation of tree legumes and the ecology of their native rhizobial populations in tropical soils. *Applied Soil Ecology*, v.22, n.3, p.211-223, 2003.
- BENINCASA, M.M.P. *Análises de crescimento de plantas (Noções básicas)*. Jaboticabal: Funep, 1988. 42p.
- CENTENO, A.J. *Curso de estatística aplicada à biologia*. Goiânia: UFG, Centro Editorial, 1990. 188p. (Coleção Didática, 3).
- CORBY, H.D.L. The systematic value of leguminous root nodules. In: POLHILL, R. M.; RAVEN, P.H. (Eds.). *Advances in legume systematic. Proceedings*

- of the International Legume Conference. London: Royal Botanical Gardens, 1981. Part 2, p. 657-670.
- DOBEREINER, J. Nodulação e fixação de nitrogênio em leguminosas florestais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.19, p.83-90, 1984.
- DUCKE, A. *Notas sobre a flora neotrópica - II. As leguminosas da Amazônia Brasileira*. Belém: Boletim Técnico do IAN, 1949. 249p.
- EIRA, P.A.; ALMEIDA, D.L.; SILVA, W.C. Fatores nutricionais limitantes do desenvolvimento de três leguminosas forrageiras de um solo podzólico vermelho amarelo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Sér. Agron., v.7, p.185-192, 1972.
- FARIA, M.P.; SIQUEIRA, J.O.; VALE, F.R.; CURI, N. Crescimento de leguminosas arbóreas em resposta a fósforo, nitrogênio, fungo micorrízico e rizóbio. I. *Albizia lebbek* (L.) Benth. *Revista Árvore*, v.19, n.3, p.293-307, 1995.
- FRANCO, A.A.; NEVES, M.C.P. Fatores limitantes à fixação biológica de nitrogênio. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. (Eds.). *Microbiologia do solo*. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.219-230.
- FRANCO, A.A.; FARIA, S.M. The contribution of N₂ fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. *Soil Biology & Biochemistry*, v.29, n.5/6, p.897-903, 1997.
- GALIANA, A.; GNAHOUA, G.M.; CHAUMONT, J.; LESUEUR, D.; PRIN, Y.; MALLET, B. Improvement of nitrogen fixation in *Acacia mangium* through inoculation with *rhizobium*. *Agroforestry Systems*, v.40, n.3, p.297-307, 1998.
- GOI, S.R.; SPRENT, J.I.; JACOB-NETO, J. Effect of different sources of N₂ on the structure of *Mimosa caesalpiniiifolia* root nodules. *Soil Biology & Biochemistry*, v.29, n.5/6, p.983-987, 1997.
- GROSSMAN, J.M.; SHEAFFER, C.; WYSE, D.; GRAHAM, P.H. Characterization of slow-growing root nodule bacteria from *Inga oerstediana* in organic coffee agroecosystems in Chiapas, Mexico. *Applied Soil Ecology*, v.29, n.3, p.236-251, 2005.
- HALLIDAY, J. Integrated approach to nitrogen fixing tree germoplasm development. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.19, p.91-117, 1984.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition and yield response. In: MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 4. ed. London: Academic Press, 1990. p.155-172.
- MOREIRA, F.W.; MOREIRA, F.M.S.; SILVA, M.F. Germinação, crescimento inicial e nodulação em viveiro de saboarana (*Swartzia laevicarpa* Amshof). *Acta Amazonica*, Manaus, v.25, n.3/4, p.149-160, 1995.
- NAS. *Tropical legumes resource for the future*. Washington: National Academy of Science, 1979. 332p.
- RIBEIRO JÚNIOR, W.Q.; LOPES, Ely S.; FRANCO, A.A.. Eficiência de estirpes de *Bradyrhizobium* spp. para quatro leguminosas arbóreas e competitividade das estirpes de *Albizia lebbek* em latossolo ácido. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.11, n.3, p.275-282, 1987.
- RODRÍGUEZ-ECHEVERRÍA, S.; PÉREZ-FERNÁNDEZ, M.A. Potential use of Iberian shrubby legumes and rhizobia inoculation in revegetation projects under acidic soil conditions. *Applied Soil Ecology*, v.29, p.203-208, 2005.
- SILVA, M.F.; SOUZA, L.A.G. Levantamento das leguminosas do arquipélago das Anavilhanas, baixo rio Negro, Amazonas. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Botânica*, v.18, n.1, p.3-35, 2002.
- SOUZA, L.A.G.; BEZERRA NETO, E.; SANTOS, C.E.R.S.; STAMFORD, N.P. Desenvolvimento e nodulação natural de leguminosas arbóreas em solos de Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, n.2, p.207-217, 2007.
- SPRENT, J.I. Nodulation in woody legumes our state of ignorance. *Iufro, NFT News, Improvement and Culture of Nitrogen Fixing Trees*. v.3, n.1, p.4-5, 2000.
- STURION, J.A. *Métodos de produção e técnicas de manejo que influenciam o padrão de qualidade de mudas de essências florestais*. In: SEMINÁRIO DE SEMENTES E VIVEIROS FLORESTAIS, 1., 1981, Curitiba: Fupef, UFPR, 1981. v.2, p.1-26.