

Inoculação de fungos micorrízicos arbusculares e adubação na formação e pós-transplante de mudas de cinco espécies arbóreas nativas do sul do Brasil

Júlia Vandresen¹, Fabio Rodrigo Nishidate¹, Jose Marcelo Domingues Torezan¹ e Waldemar Zangaro^{1,2}

Recebido em 12/05/2005. Aceito em 2/02/2007

RESUMO – (Inoculação de fungos micorrízicos arbusculares e adubação na formação e pós-transplante de mudas de cinco espécies arbóreas nativas do sul do Brasil). Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e a aplicação de diferentes doses de adubo, na formação e pós-transplante de mudas de cinco espécies arbóreas nativas do sul do Brasil: *Croton urucurana* Baill. (Euphorbiaceae), *Senna macranthera* (Collad.) H.S. Irwin & Barneby (Caesalpinaceae), *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan (Mimosaceae), *Bastardiopsis densiflora* (Hook. & Arn.) Hassl. (Malvaceae) e *Bauhinia forficata* Link (Caesalpinaceae). O experimento constou de fatorial 3×2, sendo três tipos de adubação, inoculados ou não com FMA. As plântulas cresceram no viveiro de mudas por seis meses. Coletou-se dados referentes ao crescimento vegetativo, resposta à inoculação e colonização pelos FMA. As raízes das plântulas estudadas apresentaram de média a alta colonização micorrízica (54 a 77%), porém baixa formação de arbusculos (3 a 9%). A baixa resposta à inoculação das espécies arbóreas relacionou-se com as características do substrato, que foi considerado inadequado para o desenvolvimento ideal da associação micorrízica. As plântulas dos tratamentos com maior complementação mineral apresentaram maior crescimento, independente da inoculação. Após seis meses de crescimento no campo, a maioria das plantas do tratamento substrato base apresentaram a taxa de crescimento relativo significativamente maior do que os tratamentos adubados. As mudas crescidas sem adubação complementar e inoculadas com FMA apresentaram pequeno aumento na sobrevivência (3 a 33%) em relação às não inoculadas. Para os tratamentos adubados, a inoculação não proporcionou resultados positivos na sobrevivência para a maioria das espécies estudadas.

Palavras-chave: produção de biomassa, morfologia de raiz, viveiro de mudas, sobrevivência de mudas no campo, revegetação

ABSTRACT – (The effects of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation and fertilization on initial growth and post-transplant of seedlings of five native woody species from southern Brazil). This study assessed the effects of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculation and application of different doses of fertilizer on initial growth and post-transplant seedlings of five native woody species from south Brazil: *Croton urucurana* Baill. (Euphorbiaceae), *Senna macranthera* (Collad.) H.S. Irwin & Barneby (Caesalpinaceae), *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan (Mimosaceae), *Bastardiopsis densiflora* (Hook. & Arn.) Hassl. (Malvaceae) and *Bauhinia forficata* Link (Caesalpinaceae). The experiment was set up as a 3×2 factorial, with three fertilization levels, with or without AMF inoculation. For six months in the nursery, data were collected on vegetative growth, inoculation response and colonization by AMF. The roots showed medium to high mycorrhizal colonization (54-77%), but low arbuscular formation (3-9%). The low response to inoculation among plant species was related to substrate characteristics, which were considered inadequate for ideal development of the mycorrhizal association. Plants growing in substrate with greater mineral addition gave the best results in the nursery, regardless of AMF inoculation. After six months growing in the field, plants of the basic substrate treatment showed a relative growth rate significantly higher than the fertilized ones. After six months in the field, survival rate was 3 to 30% higher for seedlings that grew without fertilization and were inoculated with AMF when compared to those without inoculation. For most of the species, the combination of inoculation and fertilization did not afford positive results in seedling field survival.

Key words: biomass production, root morphology, nursery, seedling field survival, revegetation

Introdução

A utilização de espécies arbóreas nativas para a revegetação é de grande importância para reduzir o impacto ambiental e conservar a biodiversidade (Guariguata & Ostertag 2001). Programas de

recuperação de áreas degradadas podem ser realizados com o plantio de espécies arbóreas nativas pertencentes aos diferentes estádios da sucessão, cultivadas em viveiros e transplantadas para o campo. Para produção de mudas, basicamente, é necessário o substrato, o recipiente para acondicioná-lo e o fertilizante. A

¹ Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Biologia Animal e Vegetal, CCB, C. Postal 6001, 86051-990 Londrina, PR, Brasil

³ Autor para correspondência: wzangaro@uel.br

produção de mudas em tubetes, com adubação e substrato adequado, proporcionam a obtenção de mudas com sistema de raízes bem desenvolvido, com grande vigor vegetativo, livre de pragas, doenças do solo e plantas daninhas (Silva *et al.* 2001). A complementação do substrato com nutrientes para mudas pode ser feita com adubos de liberação lenta, visando reduzir problemas de excesso de solubilidade e perdas por lixiviação (Landis *et al.* 1989). Os substratos empregados para a produção de mudas são de origem natural ou sintética (Saggin Junior & Lovato 1999) e caracteriza-se por não apresentarem fungos do tipo micorriza arbuscular (FMA).

A inoculação de FMA deve ser praticada na formação das mudas para garantir o estabelecimento da simbiose (Zangaro & Andrade 2002). Plantas inoculadas com FMA crescem mais rápidas, exigem menos insumos e toleram mais o estresse do transplante para o campo, características muito importantes em espécies destinadas à recuperação ambiental (Saggin Junior & Siqueira 1996). O mutualismo que caracteriza a simbiose entre a raiz e o FMA proporciona à planta hospedeira melhor desenvolvimento devido, principalmente, ao aumento na absorção de nutrientes, especialmente o P, maior resistência ao estresse hídrico e aos patógenos do solo (Schiavo & Martins 2002; Lynch & Ho 2005). Assim, o conhecimento da capacidade das mudas das espécies arbóreas nativas em formar micorrizas e beneficiar-se das mesmas, torna-se essencial quando se pretende o sucesso nos projetos de revegetação (Zangaro *et al.* 2000). Portanto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de FMA no crescimento, inicial no viveiro e pós-transplante no campo, de cinco espécies arbóreas nativas do sul do Brasil, produzidas em tubetes com substrato agrícola comercial, enriquecido ou não com fertilizantes.

Material e métodos

O experimento foi realizado no viveiro do Laboratório de Biodiversidade e Restauração de Ecossistemas (LABRE) do Departamento de Biologia Animal e Vegetal da Universidade Estadual de Londrina e no Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina-PR, no período de fevereiro/2003 a maio/2004. O experimento constou de fatorial 3×2, sendo 3 tratamentos de adubação, inoculados ou não com FMA. O primeiro tratamento consistiu apenas do substrato agrícola comercial Mecplant (casca de pinus estabilizada, vermiculita expandida e adubação básica

(133 g N, 687 g P₂O₅, 233 g K₂O por m³). No segundo tratamento, adicionou-se ao substrato agrícola o fertilizante de liberação lenta Osmocote® (formulação 15-10-10 NPK + micronutrientes B (0,02%), Cu (0,05%), Fe (0,5%), Mn (0,1%), Mo (0,004%) e Zn (0,05 %)) na dose de 3,5 kg por m³ de substrato. O terceiro tratamento consistiu na adição ao substrato de 3,5 kg de Osmocote® e 1,5 kg de superfosfato simples por m³ de substrato.

As espécies foram selecionadas com base na disponibilidade de sementes e da importância nos programas de revegetação. As espécies arbóreas estudadas foram as pioneiras sangra d'água (*Croton urucurana* Baill. - Euphorbiaceae) e sena (*Senna macranthera* (Collad.) H.S. Irwin & Barneby - Caesalpiniaceae) e as secundárias iniciais angico-branco (*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan - Mimosaceae); louro branco (*Bastardiopsis densiflora* (Hook. & Arn.) Hassl. - Malvaceae) e pata de vaca (*Bauhinia forficata* Link - Caesalpiniaceae). As sementes das plantas nativas foram germinadas em bandejas plásticas contendo areia esterilizada. As plântulas obtidas foram transplantadas para tubetes com 2,65 cm de diâmetro interno, 12,5 cm de altura e 50 cm³ de volume total, contendo os diferentes substratos previamente preparados. A inoculação com FMA foi realizada adicionando-se 1g de solo-inóculo no orifício de plantio de cada tubete, contendo cerca de 850 esporos, além de hifas e raízes colonizadas. O inóculo foi produzido em 2001 e permaneceu acondicionado em sacos plásticos em refrigerador (4-8 °C). O solo-inóculo consistia em uma mistura de espécies de FMA nativos, multiplicados na rizosfera da espécie arbórea *Croton urucurana*. Para cada tratamento foram utilizadas 60 plantas inoculadas e 60 não inoculadas.

As plântulas em cada tratamento foram separadas em blocos e mantidas em bancadas no viveiro de mudas, sob tela sombrite de 50%. Durante o crescimento, as mudas foram irrigadas por 30 minutos com microaspersores, três vezes ao dia. As plântulas permaneceram no viveiro por seis meses, que foi o tempo considerado adequado para o crescimento das plantas. A análise do desenvolvimento vegetativo das mudas no viveiro, como altura, diâmetro do caule e número de folhas foi realizada mensalmente. A altura das plantas foi medida a partir do nível do substrato até a gema apical e foi realizada com régua milimetrada. O diâmetro da base do caule foi medido com auxílio de paquímetro. Um mês antes de serem expostas para o campo, as mudas foram expostas a pleno sol e as regas foram diminuídas, com objetivo de fazer a

rustificação para a pré-adaptação das mudas às condições de estresse do pós-plantio.

Após seis meses de desenvolvimento e uma semana antes de serem transplantadas para o campo, cinco plantas de cada tratamento foram retiradas aleatoriamente dos tubetes, suas raízes foram lavadas em água corrente e determinou-se a biomassa fresca das raízes e da parte aérea. Para a determinação da biomassa seca da parte aérea e raiz, as plantas foram colocadas em estufa a 65 °C até atingir peso constante. A parte aérea e as raízes foram pesadas separadamente. As folhas secas foram encaminhadas para quantificação dos minerais no laboratório de solos e tecido vegetal do Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR).

A área foliar foi determinada a partir de desenhos das folhas em papel. Não foi possível desenhar as folhas de angico em papel e, portanto, a área foliar desta espécie não foi determinada. Coletou-se aproximadamente 1 g de raiz fresca de cada planta dos diferentes tratamentos que foram fixadas em FAA (5 mL de formol + 5 mL de ácido acético + 90 mL de etanol 50%) para posterior determinação da colonização das raízes pelos FMA, diâmetro da raiz, comprimento e incidência dos pêlos absorventes. O comprimento da raiz foi determinado com as raízes frescas.

O grau de resposta das plantas à inoculação pelos FMA foi calculado de acordo com a diferença da produção de biomassa seca de plantas inoculadas e não inoculadas (Plenchette *et al.* 1983). Para estimar a colonização dos FMA, 1 g de raiz fina (< 2,0 mm de diâmetro) de cada planta foi clarificado em KOH 10% e H₂O₂ 0,5%, acidificado com HCl 1% e coradas com azul de tripano 0,05% (Kormanik & McGraw 1982). O método de intersecção de quadrantes (Giovanetti & Mosse 1980) foi utilizado para o cálculo da porcentagem do comprimento de raiz colonizada pelos FMA e do conteúdo de arbúsculos. Foram realizadas 100 observações nas raízes finas de cada planta e de cada tratamento. Para o cálculo da taxa de crescimento relativo das plantas no viveiro e no campo, utilizaram-se os dados da altura das plantas e aplicou-se a fórmula: Taxa de Crescimento Relativo (TCR) = Ln altura final - Ln altura inicial / tempo (Huante *et al.* 1993). O comprimento total da raiz foi calculado usando-se o método de Tennant (1975). Já o comprimento específico de raiz foi obtido dividindo-se o comprimento total da raiz pela biomassa seca total da raiz.

A incidência de pêlos absorventes foi calculada com o método de intersecção de quadrantes de

Giovanetti & Mosse (1980). Nos locais de intersecções das raízes com as linhas de grade, mediu-se o diâmetro da raiz e observou-se a presença ou a ausência de pêlos absorventes. O comprimento dos pêlos absorventes foi obtido medindo-se o comprimento de 100 pêlos escolhidos aleatoriamente nos diferentes segmentos das raízes e foram realizadas três repetições. Foi utilizada ocular micrométrica e objetiva de 20X.

Trinta plantas remanescentes de cada tratamento foram plantadas no campo, com espaçamento de 2×3 m, com delineamento experimental inteiramente ao acaso. Os dados referentes à altura, diâmetro do caule, número de folhas e sobrevivência das plantas foram coletados após seis meses de crescimento das plantas. O plantio das mudas no campo foi realizado no Parque Estadual Mata dos Godoy (23°27'S, 51°15'W), cujo solo apresentou as seguintes características: P: 4,1(mg dm³); C: 20,1(g dm³); pH 5,36; Al: 0(cmol_c/dm³); Ca: 6,81(cmol_c/dm³); Mg: 2,48(cmol_c/dm³); K: 0,21(cmol_c/dm³). Amostras de solo foram retiradas para a extração dos esporos de FMA e utilizou-se o método de peneiramento via úmida, seguido de centrifugação em água e sacarose (Gerdemann & Nicolson 1963) e contagem direta em placa com papel de filtro quadriculado. A área de plantio apresentava alta quantidade de capim-colônio (*Panicum maximum* L.) e continha cerca de 9,6 esporos de FMA por grama de solo. No transplante e durante o desenvolvimento das mudas no campo, estas não receberam nenhum tipo de complementação nutricional e o capim foi roçado mensalmente.

Os dados foram testados para distribuição normal, utilizando-se o teste de Kolmogorov-Smirnov. Os dados de biomassa seca, área foliar, crescimento relativo da planta, comprimento total e específico da raiz, diâmetro da raiz e comprimento do pêlo absorvente foram log-transformados antes das análises e os valores em porcentagem foram transformados em arco-seno da raiz quadrada. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os teores de nutrientes das folhas foram determinados em apenas uma amostra de cada tratamento.

Resultados

Após seis meses de crescimento em viveiro, verificou-se que a inoculação dos FMA nas espécies louro branco, pata de vaca, sangra d'água e sena não influenciou a produção de biomassa seca nos diferentes

tratamentos (Tab. 1). Apenas no angico a presença dos FMA no substrato base (sem adição de adubos), produziu aumento significativo na biomassa seca. Quando comparado com o substrato base inoculado ou não, observou-se que a adição de superfosfato e osmocote produziu aumento significativo na biomassa seca total do angico, da pata de vaca, da sena e da sangra d'água. Porém, louro branco produziu mais biomassa no substrato com adição apenas de osmocote.

Foi observada uma diminuição significativa da área foliar nos tratamentos substrato base e osmocote nas mudas de sena inoculadas com FMA. Em louro branco e pata de vaca a presença dos FMA não teve influência na área foliar, enquanto que em sangra d'água a inoculação produziu efeito positivo no tratamento com osmocote. A elevação da fertilização resultou em aumento significativo da área foliar em louro branco, pata de vaca e sena nos tratamentos não inoculados (Tab. 1). O crescimento relativo das mudas no viveiro não foi influenciado pela presença de FMA, com exceção de sangra d'água no tratamento com osmocote. Em relação à fertilidade do substrato, verificou-se que os tratamentos adubados aumentaram significativamente a taxa de crescimento relativo das mudas no viveiro (Tab. 1). A área foliar foi positivamente correlacionada com a taxa de crescimento relativo das mudas no viveiro (louro branco $R = 0,75$, $p < 0,001$, $n = 5$; pata de vaca $R = 0,9$, $p < 0,001$, $n = 5$; sangra d'água $R = 0,74$, $p < 0,001$, $n = 5$; sena $R = 0,58$ $p < 0,001$, $n = 5$). A presença dos FMA não interferiu na razão raiz:parte aérea nas mudas de angico e pata de vaca, enquanto que em louro branco esta razão foi significativamente maior no tratamento substrato base e osmocote. Para sangra d'água e sena a razão raiz parte:aérea foi significativamente maior nas mudas inoculadas no tratamento com osmocote.

A adição de osmocote exerceu efeito positivo na colonização micorrízica em sangra d'água e sena (Tab. 1). Em louro branco, o tratamento substrato base, apresentou colonização significativamente maior do que o substrato com osmocote. Para angico e pata de vaca a adição de osmocote não influenciou a colonização micorrízica. Para todas as espécies, o tratamento com osmocote e superfosfato inibiu totalmente a colonização micorrízica. O conteúdo de arbúsculos não apresentou diferença significativa entre os tratamentos de adubação nas diferentes espécies e foi observado baixo número de arbúsculos (2 a 9%) nas raízes colonizadas.

Em relação às características morfológicas das raízes (Tab. 2), na presença dos FMA e osmocote, verificou-se aumento no comprimento total da raiz em

louro branco e sangra d'água. Em angico, o comprimento da raiz foi significativamente menor no substrato com osmocote e FMA. De modo geral, os tratamentos adubados apresentaram maior comprimento da raiz em todas as espécies. Houve tendência generalizada das plantas apresentarem menor comprimento específico da raiz com a inoculação. Em sena, no substrato base, e em angico, no substrato com osmocote, esta redução foi significativa. Plantas nos substratos com adição de osmocote e superfosfato apresentaram raízes com menor comprimento específico do que no tratamento substrato base. As mudas de angico, louro branco e sena, crescidas em substrato base e FMA, apresentaram o diâmetro da raiz significativamente maior do que nos demais tratamentos. Em pata de vaca o diâmetro apresentou aumento significativo no tratamento osmocote inoculado. De maneira geral, foi verificado aumento no diâmetro das raízes com a adição de osmocote e superfosfato, quando comparado com o substrato base. Foi verificado o aumento no comprimento do pêlo absorvente no tratamento substrato base e FMA para angico, louro branco e sena, e também no tratamento com osmocote em louro branco. O aumento da quantidade de adubo no substrato produziu pêlos absorventes mais longos para a maioria das espécies analisadas. A incidência de pêlos absorventes em angico e pata de vaca foi baixa em relação às outras espécies. Na maioria das espécies analisadas, a incidência de pêlos absorventes nas raízes apresentou pequena variação nos diferentes níveis de adubação.

A concentração de P, K, Cu e B nas folhas das espécies estudadas após seis meses de crescimento no viveiro (Tab. 3) foi maior nos tratamentos inoculados, com exceção do angico que apresentou menor concentração de P e B. Nos tratamentos inoculados, a concentração de Ca, Mg, Zn e Mn foi menor, com exceção da sena que apresentou maior concentração do Zn. Para os tratamentos que não foram inoculados com FMA, a adubação do substrato não refletiu em aumento na concentração dos nutrientes nas folhas. Geralmente as espécies que cresceram no substrato base, inoculadas ou não com FMA, apresentaram as maiores concentrações de nutrientes nas folhas do que os outros tratamentos adubados.

Após seis meses de crescimento das espécies arbóreas no campo, verificou-se que a inoculação com FMA proporcionou aumento significativo na taxa de crescimento relativo em louro branco no tratamento adubado com osmocote (Tab. 4). Em louro branco e sangra d'água, no tratamento substrato base e

Tabela 1. Crescimento, resposta à inoculação, colonização micorrízica e conteúdo de arbúsculos das plântulas crescidas no substrato base (B), substrato base e adição de osmocote (O), substrato base com adição de osmocote e superfosfato (S), inoculadas (I) ou não (N) com FMA, em cinco espécies arbóreas nativas (n = 5).

Variáveis		Tratamentos		
		B	O	S
<i>Angico (Anadenanthera colubrina (Vell.) Brenan)</i>				
Biomassa seca total (g)	N	0,54 bB	2,27 aA	2,09 aA
	I	1,09 aB	2,13 aA	2,05 aA
Taxa de crescimento relativo (mm cm ⁻¹ dia ⁻¹)	N	0,65 aB	5,7 aA	4,1 aA
	I	1,8 aB	5,6 aA	4,0 aAB
Razão: raiz parte aérea	N	2,11 aA	2,69 aA	4,04 aA
	I	3,33 aA	2,60 aA	3,90 aA
Resposta a inoculação (%)		29 A	14 A	8 A
Colonização micorrízica (%)		55 A	54 A	0
Conteúdo de arbúsculos (%)		5 A	7 A	0
<i>Louro branco (Bastardiopsis densiflora (Hook. & Arn.) Hassl.)</i>				
Biomassa seca total (g)	N	0,17 aB	1,21 aA	0,58 aB
	I	0,17 aB	1,33 aA	0,56 aB
Área foliar (cm ²)	N	8,60 aA	30,17 aA	25,78 aAB
	I	7,51 aB	33,11 aA	24,98 aA
Taxa de crescimento relativo (mm cm ⁻¹ dia ⁻¹)	N	10 aB	18 aA	15 aA
	I	9 aB	17 aA	14 aA
Razão: raiz parte aérea	N	0,79 bA	1,05 bA	1,05 aA
	I	1,31 aB	2,35 aA	1,01 aA
Resposta a inoculação (%)		14 A	2 B	1 B
Colonização micorrízica (%)		77 A	59 B	0
Conteúdo de arbúsculos (%)		3 A	7 A	0
<i>Pata de vaca (Bauhinia forficata Link)</i>				
Biomassa seca total (g)	N	0,57 aB	1,78 aA	2,07 aA
	I	0,69 aB	2,11 aA	2,04 aA
Área foliar (cm ²)	N	18,19 aB	47,4 aA	65,26 aA
	I	19,61 aB	51,1 aA	63,45 aA
Taxa de crescimento relativo (mm cm ⁻¹ dia ⁻¹)	N	6,4 aB	10,8 aA	13 aA
	I	6,6 aB	12,0 aA	12 aA
Razão: raiz parte aérea	N	3,14 aA	3,92 aA	2,5 aA
	I	4,00 aA	3,43 aA	2,9 aA
Resposta a inoculação (%)		16 A	27 A	10 A
Colonização micorrízica (%)		73 A	74 A	0
Conteúdo de arbúsculos (%)		7 A	9 A	0
<i>Sangra d'água (Croton urucurana Baill.)</i>				
Biomassa seca total (g)	N	0,17 aB	0,56 aB	1,69 aA
	I	0,29 aB	2,13 aA	1,67 aA
Área foliar (cm ²)	N	8,4 aA	15,6 bA	30,4 aA
	I	9,4 aA	28,5 aA	29,8 aA
Taxa de crescimento relativo (mm cm ⁻¹ dia ⁻¹)	N	13 aC	21 bB	25 aA
	I	16 aB	24 aA	25 aA
Razão: raiz parte aérea	N	0,49 aA	0,34 bA	0,36 aA
	I	0,54 aA	0,61 aA	0,39 aA
Resposta a inoculação (%)		14 B	51 A	11 B
Colonização micorrízica (%)		55 B	77 A	0
Conteúdo de arbúsculos (%)		3 A	4 A	0
<i>Sena (Senna macranthera (Collad.) H.S. Irwin & Barneby)</i>				
Biomassa seca total (g)	N	0,16 aB	1,19 aA	0,91 aA

continua

Tabela 1 (continuação)

Variáveis		Tratamentos		
		B	O	S
Área foliar (cm ²)	I	0,19 aB	1,12 aA	0,90 aA
	N	17,32 aB	48,71 aA	23,77 aB
Taxa de crescimento relativo (mm cm ⁻¹ dia ⁻¹)	I	10,74 bA	25,57 bA	22,97 aA
	N	9,4 aC	19,4 aA	17,3 aB
Razão: raiz parte aérea	I	9,9 aB	18,3 aA	16,9 aA
	N	0,86 aAB	0,64 bB	0,94 aA
Resposta à inoculação (%)	I	1,04 aA	0,90 aA	0,90 aA
		16 A	9 A	7 A
Colonização micorrízica (%)		59 B	68 A	0
Conteúdo de arbúsculos (%)		4 A	2 A	0

Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

inoculados com FMA, a taxa de crescimento relativo foi significativamente menor em relação ao substrato base não inoculado. Para os demais tratamentos a inoculação não modificou a taxa de crescimento relativo das plantas. Todas as espécies crescidas no substrato base, inoculadas ou não, apresentaram a taxa de crescimento relativo significativamente maior do que os demais tratamentos, com exceção de angico.

A altura das mudas no campo não foi influenciada pela inoculação com FMA (Tab. 4). Somente louro branco, crescida no substrato base e sem inoculação, apresentou aumento significativo na altura em relação às plantas inoculadas. A maioria das mudas produzidas no substrato com osmocote e superfosfato apresentou aumento significativo na altura quando comparadas com as mudas dos tratamentos não adubados.

As mudas previamente inoculadas com FMA e crescidas no tratamento substrato base apresentaram pequeno aumento (3 a 33%) na sobrevivência em relação às não inoculadas (Fig. 1). No tratamento com osmocote observou-se maior mortalidade das mudas de angico, louro branco e sena, quando inoculadas com FMA, enquanto que o tratamento com superfosfato e inoculação apresentou pequeno aumento (3 a 4%) na sobrevivência. Em relação à adubação, as mudas adubadas com osmocote apresentaram 87,4% de sobrevivência, contra 81,3% do tratamento com superfosfato e 78,6% do substrato base. O angico apresentou a maior sobrevivência (93,8%) e louro branco o pior resultado com somente 70% das mudas vivas, após seis meses de crescimento no campo.

Discussão

A baixa resposta à inoculação com FMA encontrada para as mudas nos diversos tratamentos se contrapõe à colonização micorrízica registrada para essas espécies. A inoculação com FMA não melhorou a produção da biomassa seca, da área foliar e do crescimento das mudas no viveiro. Foi observado que as raízes de todas as espécies apresentaram de média a alta (54 a 77%) colonização pelas hifas dos FMA, porém a presença dos sítios de troca de nutrientes entre os simbiontes (arbúsculos) foi extremamente rara, o que pode explicar a ausência de resposta das plantas.

A determinação da razão raiz:parte aérea mostra o equilíbrio entre os órgãos da planta, uma vez que indica a existência de uma interdependência entre os órgãos no balanço por água, nutrientes e carbono (Bernardi *et al.* 2000; Cooperband *et al.* 1994; Linch & Ho 2005). Quando a disponibilidade dos minerais no solo é baixa, ocorre menor crescimento da parte aérea e maior investimento nas raízes (Marchener 1995; Hodge 2004). A colonização por FMA pode provocar diminuição na alocação do carbono para produção dos tecidos das raízes, o que resulta na redução da biomassa da raiz e aumento na parte aérea, conduzindo a uma razão raiz:parte aérea menor em plantas micorrizadas do que quando não micorrizadas (Comas & Eissenstat 2004; Huante *et al.* 1993). Para a maioria dos tratamentos, essa razão nas plântulas inoculadas não apresentou diferença, indicando que a alocação de biomassa não foi afetada pela colonização micorrízica.

Tabela 2. Morfologia das raízes das plântulas que cresceram em substrato base (B), em substrato base com adição de osmocote (O) e substrato base com adição de osmocote e superfosfato (S), inoculadas (I) ou não (N) com FMA, em cinco espécies arbóreas nativas (n = 5).

Variáveis		Tratamentos		
		B	O	S
<i>Angico (Anadenanthera colubrina (Vell.) Brenan)</i>				
Comprimento da raiz (m planta ⁻¹)	N	27,50 aB	104,50 aA	89,40 aA
	I	33,40 aB	49,10 bAB	89,30 aA
Comprimento específico da raiz (m g ⁻¹)	N	5,00 aA	6,75 aA	5,73 aA
	I	2,99 aB	3,40 bB	5,72 aA
Diâmetro da raiz (µm)	N	259 bA	264 aA	257 aA
	I	295 aA	255 aB	255 aB
Comprimento do pêlo absorvente (µm)	N	50 bA	77 aA	57 aA
	I	80 aAB	90 aA	56 aB
Incidência de pêlos absorventes (%)	N	2 aA	0 aA	2 aA
	I	4 aA	2 aA	2 aA
<i>Louro branco (Bastardiopsis densiflora (Hook. & Arn.) Hassl.)</i>				
Comprimento da raiz (m planta ⁻¹)	N	9,4 aB	21 bA	14,80 aAB
	I	8,6 aB	31,90 aB	14,70 aB
Comprimento específico da raiz (m g ⁻¹)	N	14,39 aA	3,76 aB	6,21 aAB
	I	9,08 aA	3,38 aB	6,21 aAB
Diâmetro da raiz (µm)	N	266,70 bB	316,10 aA	307,00 aA
	I	290,40 aB	358,90 aA	305,80 aB
Comprimento do pêlo absorvente (µm)	N	77,40 bB	103,80 aA	108,20 aA
	I	86,90 aB	94,50 bA	106,90 aA
Incidência de pêlos absorventes (%)	N	83 aA	88 aA	79 aA
	I	86 aA	87 aA	75 aA
<i>Pata de vaca (Bauhinia forficata Link)</i>				
Comprimento da raiz (m planta ⁻¹)	N	34,80 aB	70,70 aA	78,60 aA
	I	38,10 aB	71,50 aAB	77,40 aA
Comprimento específico da raiz (m g ⁻¹)	N	8,80 aA	4,99 aA	5,60 aA
	I	6,96 aA	4,62 aB	5,60 aAB
Diâmetro da raiz (µm)	N	180 bB	168 bB	199 aA
	I	207 aA	210 aA	197 aA
Comprimento do pêlo absorvente (µm)	N	40 aA	53 aA	55 aA
	I	35 aA	42 aA	54 aA
Incidência de pêlos absorventes (%)	N	5 aA	3 aA	7 aA
	I	7 aA	12 aA	8 aA
<i>Sangra d'água (Croton urucurana Baill.)</i>				
Comprimento da raiz (m planta ⁻¹)	N	4,73 aB	9,10 bB	30,90 aA
	I	5,60 aB	25,90 aA	30,80 aA
Comprimento específico da raiz (m g ⁻¹)	N	11,80 aA	5,50 aA	5,86 aA
	I	6,28 aA	3,81 aB	5,84 aA
Diâmetro da raiz (µm)	N	329 aA	344 bA	348 aA
	I	327 aA	352 aA	330 aA
Comprimento do pêlo absorvente (µm)	N	53,70 aC	80,70 aA	70,70 aB
	I	61,50 aB	100 aA	69,80 aB
Incidência de pêlos absorventes (%)	N	83 aA	50 aB	74 aA
	I	65 aA	78 aA	70 aA
<i>Sena (Senna macranthera (Collad.) H.S. Irwin & Barneby)</i>				
Comprimento da raiz (m planta ⁻¹)	N	5,39 aB	17,46 aA	16,53 aA
	I	4,56 aB	16,33 aA	16,45 aA
Comprimento específico da raiz (m g ⁻¹)	N	7,42 aA	3,61 aB	3,92 aB
	I	4,86 bA	3,24 aA	3,91 aA
Diâmetro da raiz (µm)	N	364 bB	409 aA	338 aB
	I	402 aA	425 aA	330 aB

continua

Tabela 2 (continuação)

Variáveis		Tratamentos		
		B	O	S
Comprimento do pêlo absorvente (μm)	N	105,80 bC	142,60 aB	165,90 aA
	I	124,30 aB	138 aA	163,90 aA
Incidência de pêlos absorventes (%)	N	32 bB	64 aA	74 aA
	I	54 aB	80 aA	70 aA

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 3. Concentração de nutrientes nas folhas das plântulas que cresceram em substrato base (B), em substrato base com adição de osmocote (O) e substrato base com adição de osmocote e superfosfato (S), inoculadas (I) ou não (N) com FMA, em cinco espécies arbóreas nativas.

Tratamentos	Macronutrientes (g kg^{-1})				Micronutrientes (mg kg^{-1})			
	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	B	Mn
<i>Angico (Anadenanthera colubrina (Vell.) Brenan)</i>								
BN	2,2	12,4	6,0	3,3	5,2	53,5	57,9	128,0
BI	1,3	4,6	16,2	3,4	5,6	84,2	48,4	222,5
ON	2,1	12,6	4,0	2,7	4,4	48,4	38,4	72,3
OI	2,0	10,5	3,0	2,5	3,9	37,6	36,1	64,0
SN	1,8	10,5	6,1	2,8	3,9	50,0	39,3	104,9
SI	1,8	10,3	6,1	2,8	3,8	48,9	39,1	102,3
<i>Louro branco (Bastardiopsis densiflora (Hook. & Arn.) Hassl.)</i>								
BN	10,4	25,8	21,9	13,1	6,4	185,6	96,2	285,7
BI	14,0	22,7	17,8	14,4	11,6	172,1	103,3	278,9
ON	6,7	22,7	11,6	9,7	5,6	162,0	69,1	213,1
OI	9,7	25,1	11,3	9,7	7,1	157,6	87,5	259,8
SN	6,2	31,3	16,0	8,2	4,9	147,6	109,6	259,1
SI	7,2	32,3	15,5	8,1	5,2	145,5	111,3	261,2
<i>Pata de vaca (Bauhinia forficata Link)</i>								
BN	3,3	14,6	16,1	3,3	4,1	43,2	50,7	126,1
BI	6,0	19,2	9,9	2,5	8,5	34,0	50,1	94,0
ON	4,0	13,7	23,1	4,8	4,2	52,2	42,9	247,1
OI	5,7	20,4	5,9	2,6	6,3	38,8	38,4	120,3
SN	3,8	13,7	17,3	3,9	3,9	62,2	35,6	181,8
SI	4,0	14,2	15,3	3,8	4,5	60,1	33,2	179,5
<i>Sangra d'água (Croton urucurana Baill.)</i>								
BN	2,2	36,9	15,5	7,9	5,1	43,4	111,2	688,8
BI	2,3	16,3	6,4	4,6	5,9	26,6	48,4	530,7
ON	3,4	31,3	12,5	8,5	3,8	42,2	89,8	709,7
OI	4,2	13,7	10,5	8,7	9,1	39,0	98,0	708,0
SN	2,4	14,8	8,2	7,6	3,9	39,4	90,5	441,2
SI	3,2	13,3	8,1	7,0	4,1	38,7	92,5	439,2
<i>Sena (Senna macranthera (Collad.) H.S. Irwin & Barneby)</i>								
BN	5,0	9,1	30,4	5,9	6,5	46,3	140,4	174,2
BI	6,3	12,3	27,8	5,2	7,3	48,8	144,3	170,1
ON	2,7	7,5	28,0	4,9	2,8	31,8	89,5	316,8
OI	5,1	22,7	7,1	2,9	10,4	41,2	105,6	95,9
SN	4,7	20,6	13,4	3,3	5,5	51,0	103,0	174,9
SI	5,2	22,3	12,2	2,9	6,4	53,4	105,2	172,5

Considerando a falta de repetições para os teores de nutrientes das folhas, não foram realizadas comparações por meio de testes estatísticos.

Tabela 4. Taxa de crescimento relativo e altura das espécies arbóreas após seis meses de crescimento no campo. As plântulas cresceram no viveiro em substrato base (B), em substrato base com adição de osmocote (O) e substrato base com adição de osmocote e superfosfato (S), inoculadas (I) ou não (N) com FMA.

Variáveis		Tratamentos		
		B	O	S
<i>Angico (Anadenanthera colubrina (Vell.) Brenan)</i>				
Taxa de crescimento relativo (mm cm ⁻¹ dia ⁻¹)	N	14,3 aA	12,4 aB	14,7 aA
	I	14,9 aA	13,5 aA	14,9 aA
Altura (cm)	N	138,7 aB	151,1 aB	216,8 aA
	I	146,8 aB	164,2 aB	213,2 aA
<i>Louro branco (Bastardiopsis densiflora (Hook. & Arn.) Hassl.)</i>				
Taxa de crescimento relativo (mm cm ⁻¹ dia ⁻¹)	N	17,7 aA	11,7 bB	11,9 aB
	I	16,0 bA	13,7 aB	12,1 aC
Altura (cm)	N	167,9 aA	163,6 aAB	183,5 aA
	I	130,4 bB	155,9 aA	181,2 aA
<i>Pata de vaca (Bauhinia forficata Link)</i>				
Taxa de crescimento relativo (mm cm ⁻¹ dia ⁻¹)	N	17,4 aA	13,6 aB	14,0 aB
	I	17,9 aA	14,4 aB	14,2 aB
Altura (cm)	N	137,2 aB	138,1 aB	191,2 aA
	I	153,1 aB	148,8 aB	188,9 aA
<i>Sangra d'água (Croton urucurana Baill.)</i>				
Taxa de crescimento relativo (mm cm ⁻¹ dia ⁻¹)	N	17,3 aA	12,0 aB	12,1 aB
	I	15,5 bA	12,2 aB	12,5 aB
Altura (cm)	N	264,4 aA	271,3 aA	290,6 aA
	I	262,8 aA	262,5 aA	288,3 aA
<i>Sena (Senna macranthera (Collad.) H.S. Irwin & Barneby)</i>				
Taxa de crescimento relativo (mm cm ⁻¹ dia ⁻¹)	N	23,1 aA	17,0 aB	17,2 aB
	I	22,5 aA	17,6 aB	17,4 aB
Altura (cm)	N	231,0 aA	221,4 aB	248,6 aA
	I	211,9 aB	209,1 aB	251,2 aA

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As raízes das plantas inoculadas apresentaram colonização micorrízica acima de 50% em todos os tratamentos, com exceção do tratamento com superfosfato, entretanto, a biomassa seca total das mudas não foi afetada. Os fatores que controlam a colonização de FMA são complexos e difíceis de relacionar (Allen 1991). A colonização das raízes e a resposta à inoculação, para algumas espécies de plantas, podem apresentar diferenças, porque algumas espécies de FMA podem ser mais efetivas do que outras, diferindo na extensão da colonização das raízes e na resposta à inoculação (Jakobsen 1995; Sanders *et al.* 1996). Estas diferenças também ocorrem dependendo da disponibilidade de P do solo (Comas *et al.* 2002; Miller *et al.* 1994). Competidores muito agressivos no interior das raízes de um hospedeiro podem diminuir a colonização por outras espécies mais efetivas (Sanders *et al.* 1995).

A baixa resposta das plantas à inoculação com FMA observada, difere dos resultados obtidos por Zangaro *et al.* (2003), que cultivaram estas mesmas espécies arbóreas em sacos plásticos com 85% de solo e 15% de areia. Zangaro *et al.* (2005) utilizaram o mesmo inóculo deste estudo em espécies arbóreas nativas, crescidas em solo com baixa disponibilidade de minerais. Estes autores encontraram altas colonizações das raízes pelos FMA e altas respostas à inoculação. Isto demonstra que o inóculo utilizado neste estudo era viável e continha espécies de FMA efetivos. Demonstra também que o solo como substrato ou a sua adição na formulação de substratos de cultivo pode ser importante para produzir adequado ambiente para o desenvolvimento da colonização das raízes pelos FMA. A prática de inoculação não é bem sucedida em solos muito férteis ou naqueles submetidos à elevada adubação, pois a alta disponibilidade de nutrientes inibe

o estabelecimento da simbiose e, mesmo que esta se estabeleça, os benefícios para a planta são reduzidos ou inexistentes ou até depressivos, porque os FMA podem atuar como parasitas (Hodge 2004; Siqueira 1994).

A análise das características morfológicas das raízes é importante para avaliar o potencial das raízes finas para absorção de minerais e água (Comas & Eissenstat 2004). Segundo Baylis (1975) e St. John (1980) as plantas que apresentam pequena colonização e baixa resposta aos FMA, possuem longos pêlos absorventes e alta incidência, bem como menor diâmetro das radículas. Por outro lado, Zangaro *et al.* (2005; 2007) encontraram nas espécies arbóreas das fases iniciais da sucessão, alta resposta e alta colonização micorrízica, possuíam raízes com menor diâmetro, longos e abundantes pêlos absorventes. Estes autores sugeriram que a morfologia das raízes das espécies de crescimento rápido apresenta características mais adequadas para maior atração dos FMA do solo. A rápida taxa de crescimento e a grande demanda por minerais, comum entre as espécies arbóreas pioneiras e secundárias iniciais, podem levar estas espécies a apresentar deficiência de P na parte aérea, o que aumenta a exsudação da raiz e a colonização pelos FMA (Zangaro *et al.* 2000; 2005).

Alterações na morfologia do sistema de raízes, como no seu comprimento e diâmetro, podem alterar a eficiência de absorção de água e nutrientes do solo, principalmente aqueles com baixa mobilidade (Eissenstat 1992). De modo geral, as mudas crescidas com FMA possuíam raízes mais grossas e pêlos absorventes mais longos do que as não inoculadas. O comprimento e a incidência dos pêlos absorventes e o diâmetro da raiz não foram correlacionados com a resposta e a colonização das plantas pelos FMA, contrastando com os resultados de Zangaro *et al.* (2005; 2007), com as espécies crescidas em solo. As plantas crescidas em substrato orgânico, em todos os tratamentos, inoculados ou não, apresentaram o diâmetro da raiz 35% maior e pêlos absorventes 30% mais curtos e 70% menos incidentes do que as mesmas espécies que cresceram em solo com baixo conteúdo de P (Zangaro *et al.* 2005). Também apresentaram resposta à inoculação 4,4 vezes menor e colonização micorrízica 20% menor do que as mesmas espécies crescidas em solo (Zangaro *et al.* 2003). Estas diferenças na morfologia da raiz, na resposta à inoculação e a colonização micorrízica entre os dois tipos de substrato, sugerem que o solo fornece um ambiente mais adequado para o estabelecimento da associação simbiótica. A baixa eficiência da simbiose

entre as plantas que cresceram no substrato orgânico comercial pode ser devido ao pequeno volume dos tubetes e a baixa formação de arbúsculos nas suas raízes.

As plantas respondem diferentemente à disponibilidade de nutrientes do solo e apresentam diferentes necessidades fisiológicas que causam diversidade no seu metabolismo e constituição (Chapin 1980). As plantas de solos pobres apresentam valores mais consistentes na concentração dos minerais nos tecidos, sendo também uma estratégia conservativa no uso desses recursos (Valladares *et al.* 2000). A inoculação de FMA em plantas hospedeiras produz aumento na absorção de nutrientes, aumentando o conteúdo de nutriente na raiz e parte aérea, refletindo em aumento da biomassa vegetal (Smith & Read 1997). Neste estudo, a concentração de nutrientes nas folhas das plantas inoculadas com FMA, apresentou tendência de aumento do P, K, Cu e B, sendo este aumento a maior contribuição dos FMA para as plantas que cresceram no viveiro. O baixo teor de nutrientes nas mudas que receberam adubação pode ser em razão do efeito da diluição, já que estas mudas apresentaram maior biomassa.

No campo, as plantas que apresentaram maior taxa de crescimento relativo foram aquelas que cresceram no viveiro em substrato base (sem adubo), inoculadas ou não. Estas plantas, também apresentaram no viveiro maior comprimento específico das raízes e maior concentração de P, K, Cu e B nas folhas. Estes resultados sugerem que as espécies de plantas que apresentam raízes com maior comprimento específico (maior comprimento das raízes com a mesma biomassa investida), possuem maior eficiência na absorção de minerais do que as mesmas espécies que apresentam raízes com menor comprimento específico. As mudas plantadas no campo, crescidas no substrato base, inoculadas ou não com FMA, apresentaram biomassa seca total 5,5 vezes menor do que as mudas dos tratamentos com adição de adubo. Após seis meses de crescimento no campo, as plantas oriundas do substrato base, inoculadas ou não, apresentaram crescimento em altura muito próxima das plantas dos tratamentos adubados. A ausência de resposta em altura das plantas inoculadas com FMA no campo, pode estar relacionada com a fertilidade do solo e ao elevado conteúdo de propágulos de FMA no local de plantio das mudas.

Em resumo, a inoculação com FMA não foi efetiva para o crescimento das mudas no substrato orgânico comercial e tubetes de 50 cm³. O substrato utilizado

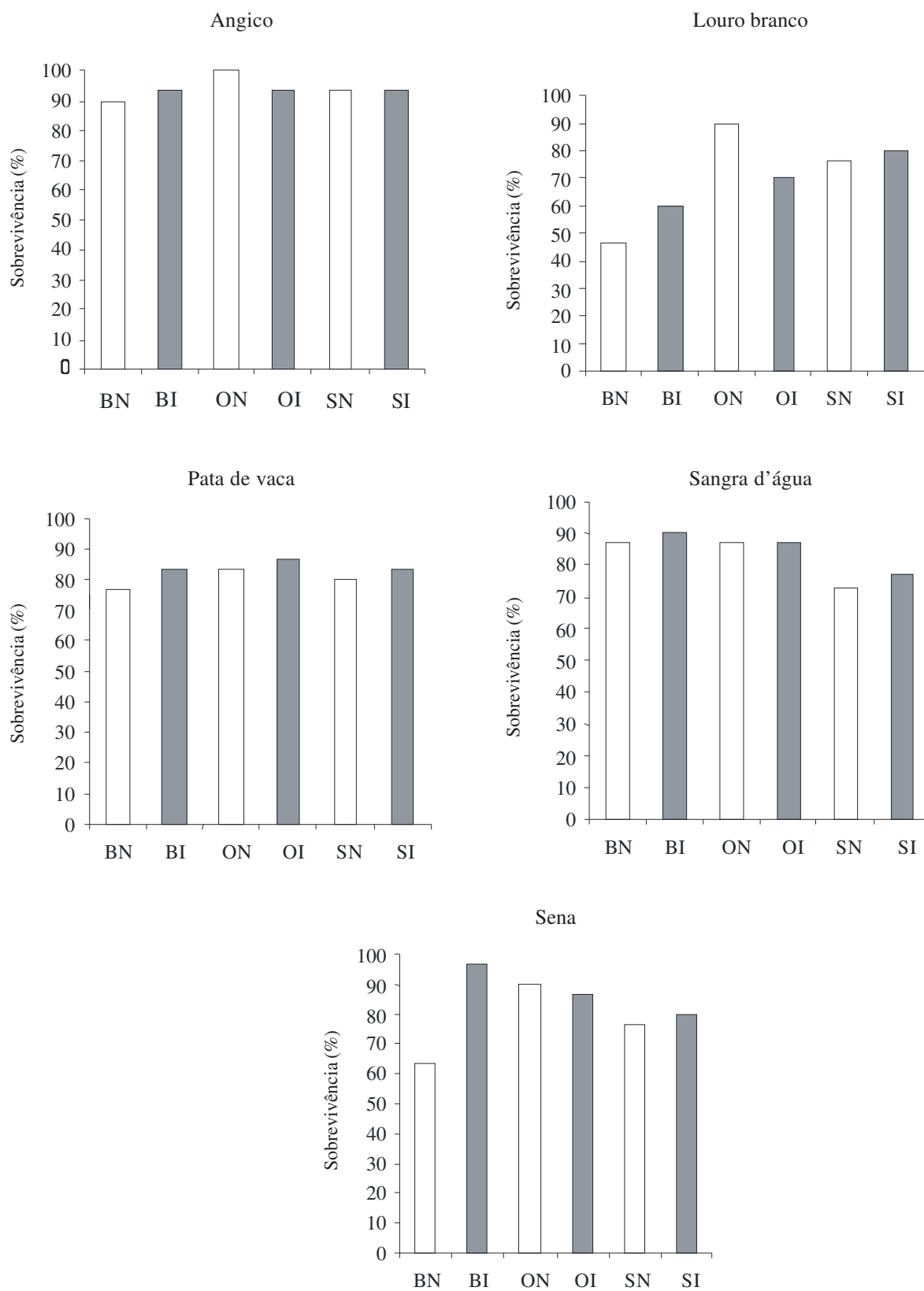


Figura 1. Sobrevivência no campo das mudas das espécies arbóreas nativas após seis meses de crescimento. As plântulas cresceram no viveiro em substrato base (B), em substrato base com adição de osmocote (O) e substrato base com adição de osmocote e superfosfato (S), inoculados (I) ou não (N) com FMA.

necessita de adubação complementar e a mistura dos fertilizantes osmocote® na fórmula 15-10-10 de NPK e superfosfato simples foi eficiente para produzir muda de boa qualidade. A adição de superfosfato na dosagem utilizada inibiu a colonização pelos FMA. No campo, plantas inoculadas, que cresceram em substrato sem adubação no viveiro, apresentaram maior sobrevivência do que aquelas não inoculadas.

Referências bibliográficas

- Allen, M.F. 1991. **The ecology of mycorrhizae**. San Diego, Cambridge University Press.
- Baylis, G.T.S. 1975. The magnolioid mycorrhiza and mycotrophy in root systems derived from it. Pp. 373-389. In: F.E.B. Sanders; B. Mosse & P.B. Tinker (eds.). **Endomycorrhizas**. New York, Academic Press.
- Bernardi, A.C.C.; Carmello, Q.A.C. & Carvalho, S.A. 2000. Desenvolvimento de mudas de *Citrus* cultivadas em vasos em resposta a adubação NPK. **Scientia Agrícola** **57**: 733-738.
- Chapin, F.S. 1980. The mineral nutrition of wild plants. **Annual Review Ecology System** **11**: 233-260.
- Comas, L.H.; Bouma, T.J. & Eissenstat, D.M. 2002. Linking root traits to potential growth rate in six temperate tree species. **Oecologia** **132**: 34-43.
- Comas, L.H. & Eissenstat, D.M. 2004. Linking fine root traits to maximum potential growth rate among 11 mature temperate tree species. **Functional Ecology** **18**: 388-397.
- Cooperband, L.R.; Boerner, R.E.J. & Logan, T.J. 1994. Humid tropical leguminous tree and pasture grass responsiveness to vesicular-arbuscular mycorrhizal infection. **Mycorrhiza** **4**: 233-239.
- Eissenstat, D.M. 1992. Cost and benefits of constructing roots of small diameter. **Journal Plant Nutrition** **15**: 763-782.
- Gerdeman, J.W. & Nicolson, T.H. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decating. **Transactions of the British Mycological Society** **46**: 235-244.
- Giovannetti, M. & Mosse, B. 1980. An evaluation of technique for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infections in roots. **New Phytologist** **84**: 489-500.
- Guariguata, M.R. & Ostertag, R. 2001. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. **Forest Ecology and Management** **148**: 185-206.
- Hodge, A. 2004. The Plastic plant: root responses to heterogeneous supplies of nutrients. **New Phytologist** **162**: 9-24.
- Huante, P.; Rincon, E. & Allen, E.B. 1993. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizae on seedling growth of four tree species from the tropical deciduous forest in Mexico. **Mycorrhiza** **2**: 141-145.
- Jakobsen, I. 1995. Transport of phosphorus and carbon in VA Mycorrhizas. Pp. 297-324. In: A.Varma & B. Hock (eds.). **Mycorrhiza: structure, function, molecular biology and biotechnology**. Berlin, Springer-Verlag.
- Kormanik, P.P. & McGraw, A.C. 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. Pp. 37-45. In: N.C. Shenck (ed.). **Methods and principles of mycorrhizal research**. Minesota, American Phytopathological Society.
- Landis, T.D.; Tinus, R.W.; McDonald, S.E. & Barnett, J.P. 1989. **The container tree nursery manual**. Washington, USDA.
- Lynch, J.P. & Ho, M.D. 2005. Rhizoeconomics: Carbon costs of phosphorus acquisition. **Plant and Soil** **269**: 45-56.
- Marchner, H. 1995. **Mineral nutrition of higher plant**. 2. ed. London, Academic Press.
- Miller, M.; McGonigle, T. & Addy, H. 1994. An economic approach to evaluate the role of mycorrhizas in managed ecosystems. **Plant and Soil** **159**: 27-35.
- Plenchette, C.; Fortin, J.A. & Furlan, V. 1983. Growth response of several plants species to mycorrhiza in a soil of moderate P fertility. I. Mycorrhizal dependency under field conditions. **Plant and Soil** **70**: 191-209.
- Saggin Júnior, O.J. & Lovato, P.E. 1999. Aplicação de micorrizas arbusculares na produção de mudas e plantas micropropagadas. Pp.725-773. In: J.O. Siqueira; F.M.S. Moreira; A.S. Lopes; L.R.G. Guilerme; V. Faquim; A.E. Furtini & J.G. Carvalho (eds.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Saggin Júnior, O.J. & Siqueira, J.O. 1996. Micorrizas arbusculares em cafeeiro. Pp. 203-254. In: J.O. Siqueira (ed.). **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas**. Lavras, UFLA-DCS-DCF.
- Sanders, I.R.; Clapp, J.P. & Wiemken, A. 1996. The genetic diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in natural ecosystems - a key to understanding the ecology and functioning of the mycorrhizal symbiosis. **New Phytologist** **133**: 123-134.
- Sanders, I.R.; Groppe, T.; Boller, K. & Wiemken, A. 1995. Identification of ribosomal DNA polymorphisms among and within spores of the Glomales: application to studies on the genetic diversity of arbuscular mycorrhizal fungal communities. **New Phytologist** **130**: 419-427.
- Schiavo, J.A. & Martins, M.A. 2002. Produção de mudas de acácia colonizadas com micorrizas e rizóbio em diferentes recipientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** **38**: 173-178.
- Silva, R.P.; Peixoto, J.R. & Junqueira, N.T.V. 2001. Influência de diversos substratos no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro azedo (*Passiflora edulis* Sims f. *Flavicarpa* DEG). **Revista Brasileira de Fruticultura** **23**: 377-381.
- Siqueira, J.O. 1994. Micorriza arbusculares. Pp.151-194. In: R.S. Araújo & M. Hungria (eds.). **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília, Embrapa-CNPAP.
- Smith, S.E. & Read, D.J. 1997. **Mycorrhizal Symbiosis**. 2. ed. London, Academic Press.
- St. John, T.V. 1980. A survey of micorrhizal infection in an Amazon rain forest. **Acta Amazonica** **10**: 527-533.

- Tennant, D. 1975. A test of modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology** **63**: 995-1001.
- Valladares, F.; Martínez-Ferri, E.; Balaguer, L., Pérez-Corona, E. & Manrique, E. 2000. Mediterranean evergreen oaks: a conservative resource-use strategy? **New Phytologist** **148**: 79-91.
- Zangaro, W. & Andrade, G. 2002. Micorrizas arbusculares em espécies arbóreas nativas da bacia do rio Tibagi. Pp. 171-210. In: M.E. Medri; E. Bianchini; J.A. Pimenta & O. Shibata (eds.). **A bacia do rio Tibagi**. Londrina, Edição dos editores.
- Zangaro, W.; Bononi, V.L.R. & Trufen, S.F.B. 2000. Mycorrhizal dependency, inoculum potential and habitat preference of native woody species in south Brazil. **Journal of Tropical Ecology** **16**: 603-622.
- Zangaro, W.; Nishidate, F.R.; Camargo, F.R.S.; Romagnoli, G.G. & Vandresen, J. 2005. Relationship among AM fungi symbiosis, root morphology and seedling growth of tropical native woody species in south Brazil. **Journal of Tropical Ecology** **21**: 529-540.
- Zangaro, W.; Nisizaki, S.M.A.; Domingos, J.C.B. & Nakano, E.M. 2003. Mycorrhizal response and successional status in 80 woody species from south Brazil. **Journal of Tropical Ecology** **19**: 315-324.
- Zangaro, W.; Nishidate, F.R.; Vandresen, J.; Andrade, G. & Nogueira, M.A. 2007. Root mycorrhizal colonization and plant responsiveness are related to root plasticity, soil fertility and successional status of native woody species in southern Brazil. **Journal of Tropical Ecology** **23**: 53-62.