

Eficiência micorrízica na produção de mudas de jacarandá-da-bahia cultivadas em diferentes doses de fósforo

Lúcia de Fátima de Carvalho Chaves¹ e Rita de Cássia Gonçalves Borges²

¹Departamento de Ciência Florestal, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Rua D. Manoel de Medeiros s/n, Dois Irmãos, 52171-900, Recife, Pernambuco, Brasil. ²Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: lchaves@ufrpe.br

RESUMO. O objetivo deste trabalho, desenvolvido em casa-de-vegetação, foi estudar a eficiência de utilização de fósforo e a eficiência radicular de mudas de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. Allem.), a partir de dados de peso de matéria seca e de conteúdo de fósforo obtidos na parte aérea e no sistema radicular, avaliando os efeitos de fertilização do solo com fósforo (P) e de fungos micorrízicos arbusculares (MA) em mudas, cultivadas em substrato constituído pela mistura de solo, areia e vermiculita, na proporção volumétrica de 1:1:1. Os tratamentos consistiram em cinco doses de P (0, 50, 100, 150 e 200 mg dm⁻³) adicionadas ao solo via fonte solúvel, na ausência e presença dos fungos MA, *Gigaspora margarita* e *Glomus fasciculatum*. As avaliações foram realizadas aos 45, 90 e 135 dias após inoculação. Concluiu-se que, independente da dose de P adicionada, as mudas de jacarandá-da-bahia, inoculadas com os fungos MA, *G. margarita* e *G. fasciculatum*, quando comparadas àquelas não-inoculadas, apresentaram maior peso de matéria seca, maior conteúdo de P e maior eficiência de utilização de P, tanto na parte aérea quanto no sistema radicular, bem como uma maior eficiência radicular, ou seja, uma maior capacidade do sistema radicular para absorver e translocar o P para a parte aérea.

Palavras-chave: espécies florestais, adubação, micorriza.

ABSTRACT. Mycorrhizal efficiency in seedlings production of *jacarandá-da-bahia* cropped at different phosphorus levels. The aim of this work, carried out in greenhouse, was to study the phosphorus utilization efficiency and the root efficiency of *jacarandá-da-bahia* (*Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. Allem.) seedlings from data of phosphorus content obtained on shoot and on root system, evaluating the effects of soil fertilization with phosphorus (P) and arbuscular mycorrhizal (AM) fungi. Seedlings were grown on a substratum composed by soil, sand and vermiculite, at the rate of 1:1:1. The treatments consisted in five P doses (0, 50, 100, 150 and 200 mg dm⁻³), applied as a soluble source, on absence and presence of the AM fungi, *Gigaspora margarita* and *Glomus fasciculatum*. Evaluations were carried out at 45, 90 and 135 days after inoculation. Results showed that independent of added phosphorus doses, the *jacarandá-da-bahia* seedlings inoculated with AM fungi, *G. margarita* and *G. fasciculatum*, when compared with the non-inoculated seedlings, exhibited higher dry matter weight, P content and P utilization efficiency on the shoot and in the root system as well as higher root efficiency, that is to say, higher capacity of the root system to uptake P and to transfer it to the shoot.

Key words: forest species, fertilization, mycorrhiza.

Introdução

O jacarandá-da-bahia, *Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. Allem., é uma espécie da família Leguminosae-Papilionoideae, encontrada na Floresta Tropical Atlântica dos Estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo e nos tabuleiros terciários do sul da Bahia e norte do Espírito Santo (Rizzini, 1978). O elevado valor de sua madeira faz com que essa

espécie, ameaçada de extinção, seja considerada como potencial para reflorestamento no Brasil.

As associações micorrízicas de fungos com espécies vegetais do interesse florestal são principalmente as ectomicorrizas e as endomicorrizas do tipo arbuscular (Hayman, 1975). Este último tipo é predominante na maioria das plantas tropicais (Lopes e Siqueira, 1981). Segundo Fischer *et al.* (1994), a micorriza arbuscular pode se indispensável para o estabelecimento e crescimento de mudas de árvores

em solos inférteis de áreas tropicais úmidas.

A presença do fungo MA dentro do tecido da raiz de uma planta hospedeira pode ter influência sobre vários aspectos da fisiologia dessas plantas (Gianinazzi-Pearson e Gianinazzi, 1983; Hayman, 1983). Porém as respostas positivas de crescimento são normalmente interpretadas como efeito da colonização sobre o aumento na absorção de nutrientes, com conseqüente melhora na nutrição mineral das plantas micorrizadas (Smith, 1980; Hayman, 1983; Menge, 1983).

Embora a melhora na absorção de nutrientes como S, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Na ou B, tenha sido freqüentemente mencionada em trabalhos com micorrizas (Mosse, 1973a; Gerdemann, 1975, citado por Cooper, 1984; Hayman, 1983), parece que a eficácia direta dessa associação sobre a nutrição mineral pode ser limitada àqueles íons que têm pouca mobilidade e apresentam baixos níveis de disponibilidade na solução do solo, como é o caso do fosfato (Daft e Nicolson, 1966; Smith, 1980; Gianinazzi-Pearson e Gianinazzi, 1983; Menge, 1983).

Desse modo, o processo de absorção de P pelas plantas micorrizadas pode ser alterado por mudanças morfológicas nas plantas, pela habilidade das raízes colonizadas em absorver fosfato mais rapidamente ou absorvê-lo de formas normalmente não-disponíveis, ou ainda, pela maior ou melhor distribuição da superfície de absorção promovida pelo micélio externo (Sanders e Tinker, 1973; Sanders e Sheikh, 1983). Tais motivos é que fazem com que as plantas com MA freqüentemente cresçam melhor do que as plantas não-micorrizadas em solos deficientes em fosfato (Mosse, 1973b; Thomazini, 1974).

Segundo Lovato *et al.* (1996), devido à importância do fósforo na nutrição das plantas, ele é o nutriente mais extensivamente pesquisado e de maior confiabilidade dos métodos para estudar sua dinâmica no solo e na planta, podendo-se inferir que as plantas micorrizadas podem absorvê-lo e utilizá-lo de forma mais eficiente do que aquelas que não formam micorriza.

Desenvolveu-se, portanto, este trabalho com a finalidade de estudar o efeito de fungos MA sobre a eficiência radicular e a eficiência de utilização de fósforo por mudas de jacarandá-da-bahia, crescendo em solos com diferentes doses adicionais de fósforo.

Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada no viveiro de produção de mudas do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa,

Estado de Minas Gerais.

As sementes de jacarandá-da-bahia utilizadas neste experimento foram provenientes dos remanescentes florestais encontrados nas imediações da UFV. No Laboratório de Análise de Sementes Florestais, antes da semeadura, estas foram submetidas a um tratamento de desinfecção com hipoclorito de sódio na concentração de 1% por dois minutos, lavadas posteriormente com água destilada.

A semeadura foi realizada em bandejas de polietileno, também desinfestadas com hipoclorito de sódio na mesma concentração, utilizando a areia lavada como substrato, esterilizada em estufa a uma temperatura de aproximadamente 120°C por 12 horas. Durante o período que permaneceram nas bandejas, as plântulas foram irrigadas diariamente com água destilada.

Cerca de três semanas após a semeadura, quando as mudas já estavam com três pares de folhas definitivas, foi realizada a repicagem para vasos individuais, em casa de vegetação, com 50% de sombreamento, onde o experimento foi conduzido.

Os recipientes utilizados para receber as mudas provenientes da repicagem foram os vasos de polietileno preto, com furos na base, e capacidade para receber 2,0 kg de substrato, constituído por solo, areia e vermiculita, na proporção volumétrica de 1:1:1, tratado com brometo de metila, na dosagem de 80 cm³/m³ de substrato.

Em seguida, procedeu-se a caracterização química do substrato, no Laboratório de Análises de Rotina, no Departamento de Solos da UFV, obtendo-se: pH_(H2O)=5,2; 28,2 mg dm⁻³ de P e 118,3 mg dm⁻³ de K, ambos com extrator Mehlich-1; 0,77 cmol_c dm⁻³ Ca²⁺; 2,52 cmol_c dm⁻³ Mg²⁺; 0,94 cmol_c dm⁻³ Al³⁺, com extrator KCl_{1N}.

Simultaneamente à calagem, que consistiu da aplicação de 1,0 g dm⁻³ de CaCO₃ ao substrato, foi realizada a adição de P, mediante incorporação uniforme de superfosfato triplo aos substratos dos vasos, nas doses de 0, 50, 100, 150 e 200 mg dm⁻³, cerca de 15 dias antes da repicagem.

Durante todo o período de cultivo, as mudas foram irrigadas procurando-se manter o teor de água próximo à capacidade de campo do substrato.

Uma vez que as avaliações foram realizadas em três épocas distintas, aos 45, 90 e 135 dias após a repicagem e inoculação, a partir do 90º dia foram realizadas, quinzenalmente, fertilizações adicionais com 25 mg dm⁻³ de N e 28 mg dm⁻³ de S ao substrato, por aplicação, tendo como fonte o (NH₄)₂SO₄ em todas as plantas destinadas à terceira coleta, às quais também foi aplicada uma solução de micronutrientes (Alvarez V., 1974), parceladamente, em duas aplicações, aos 105 e 120 dias de cultivo.

O inóculo foi constituído de uma mistura de solo,

micélio, esporos e fragmentos de raiz contendo estruturas dos fungos MA, os isolados *Gigaspora margarita* Becker e Hall e *Glomus fasciculatum* (Thaxt) Gerd. e Trappe, provenientes da rizosfera da planta hospedeira *Sorghum bicolor*. A dose de inóculo foi baseada no número de esporos por 100 g, com cada planta recebendo em média 20 g dessa mistura, possuindo cerca de 120 esporos, a qual foi incorporada ao substrato dos vasos por ocasião de repicagem das mudas, de forma a ficar em contato íntimo com as raízes das plantas. Para o tratamento controle (sem inoculação), foi realizada uma irrigação com solução aquosa proveniente da mistura de inóculo das duas espécies empregadas, após filtragem em peneira de malha de 0,053 mm.

Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com 15 tratamentos e 5 repetições. Os tratamentos consistiram de um fatorial 5 x 3, sendo cinco doses de P, e duas espécies de fungos MA mais um controle (ausência de micorriza). Cada unidade experimental era constituída por 12 plantas, totalizando 900 plantas em todo o ensaio.

As análises de variância foram efetuadas a partir dos dados de média das quatro plantas que constituíam uma unidade experimental em cada época de avaliação.

As avaliações realizadas sobre as mudas de jacarandá-da-bahia foram: percentagem de colonização das raízes, peso de matéria seca da parte aérea e do sistema radicular, conteúdos de fósforo da parte aérea e do sistema radicular. Em cada época de avaliação, foram coletadas 20 plantas de cada um dos 15 tratamentos, sendo quatro plantas por repetição, totalizando 300 plantas por época.

Para avaliação da percentagem de colonização, foi retirada uma amostra correspondente a cerca de 1% do peso de matéria fresca do sistema radicular de cada planta, cortados em segmentos de cerca de 1,0 cm de comprimento. Os segmentos foram fixados em solução de FAA (formaldeído: ácido acético: álcool) e, após, clareadas e coloridas, de acordo com a técnica descrita por Phillips e Hayman (1970).

Após coloração, os segmentos foram distribuídos em lâminas, sendo analisados 25 por planta, num total de 100 por repetição. A percentagem de colonização foi determinada pela técnica lâmina-raiz de Nicolson (1955), citada por Read *et al.* (1976), de modo que:

% de colonização MA = (Nº de segmentos colonizados / Nº total de segmentos) x 100.

Os pesos de matéria seca foram determinados após secagem do material vegetal em estufa de circulação forçada, à temperatura de 75°C, por aproximadamente 48 horas para o material coletado aos 45 dias de cultivo, e por 72 horas para os materiais coletados aos 90 e aos 135 dias de cultivo, quando obtiveram peso constante.

O material coletado, separado em raiz e parte aérea, após passar pelos processos de secagem, pesagem e moagem, foi mineralizado (digestão nítrico-perclórica) e submetido à análise para determinação de P, colorimetricamente, segundo Braga e Defelipo (1974).

A eficiência de utilização de fósforo (EUP) foi calculada, segundo Siddiqi e Glass (1981), por:

$$EUP = (PS)^2 / CP$$

onde:

PS = peso da matéria seca

CP = conteúdo de fósforo

A eficiência radicular (ER) foi dada pela relação entre o conteúdo de P na parte aérea (CPA) e o peso de matéria seca do sistema radicular (PSR), ou seja:

$$ER = CPA / PSR$$

Para todas as variáveis avaliadas, as médias obtidas para o fator qualitativo (micorrizas) foram comparadas pelo teste de Student-Newman-Keuls, a de 5% de probabilidade. Para o fator quantitativo (doses de P), o estudo foi feito por meio de regressão, utilizando a técnica dos polinômios ortogonais.

Resultados e discussão

Para os dados coletados aos 45 dias após inoculação, os resultados da análise de variância não detectaram efeito significativo ($p > 0,05$), para a interação micorriza (M) x fósforo (P), para o conteúdo de fósforo na parte aérea (CPA) e no sistema radicular (CPR) de mudas de jacarandá-da-bahia, havendo, entretanto, efeito quadrático significativo ($p \leq 0,05$) para doses de P em relação ao CPA e efeito quadrático significativo ($p \leq 0,01$) para doses de P em relação ao CPR. Aos 90 e aos 135 dias, detectou-se efeito significativo ($p \leq 0,01$) para a interação M x P, tanto para o CPA quanto para o CPR. As equações de regressão para as características de conteúdo de fósforo da parte aérea e do sistema radicular em função da dose de P adicionada ao substrato, encontram-se na Tabela 1 e, as médias com os resultados do teste de S-N-K encontram-se na Tabela 2.

Tabela 1. Equações de regressão para as características de conteúdo de fósforo na parte aérea (CPA) e no sistema radicular (CPR) de mudas de jacarandá-da-bahia, em função da dose de P adicionada, na ausência de micorriza (AM), e na presença de *Gigaspora margarita* (GM) e *Glomus fasciculatum* (GF), aos 45, 90 e 135 dias após inoculação.

Característica	Micorriza	Equação	R ²
		45 Dias	
CPA		$\hat{Y} = 0,1989 + 0,006451**P - 0,00001323*P^2$	0,99

CPR		$\hat{Y} = 0,1060 + 0,002319^{**}P - 0,00000216^{**}P^2$	0,99
90 Dias			
CPA	AM	$\hat{Y} = -0,07723 + 0,01044^{**}P$	0,99
	GM	$\hat{Y} = 1,7897 + 0,5524^{**}P - 0,0001462^{**}P^2$	0,95
	GF	$\hat{Y} = 1,5405 + 0,07305^{**}P - 0,0002091^{**}P^2$	0,96
CPR	AM	$\hat{Y} = 0,02146 + 0,002406^{**}P$	0,95
	GM	$\hat{Y} = 0,7130 + 0,01781^{**}P - 0,00005932^{**}P^2$	0,96
	GF	$\hat{Y} = 0,4592 + 0,02727^{**}P - 0,00009644^{**}P^2$	0,92
135 Dias			
CPA	AM	$\hat{Y} = -0,3159 + 0,02133^{**}P$	0,93
	GM	$\hat{Y} = 3,6856 + 0,09432^{**}P - 0,0002461^{**}P^2$	0,99
	GF	$\hat{Y} = 4,3555 + 0,1330^{**}P - 0,0004261^{**}P^2$	0,98
CPR	AM	$\hat{Y} = -0,2443 + 0,005210^{**}P$	0,95
	GM	$\hat{Y} = 3,6856 + 0,09432^{**}P - 0,0002461^{**}P^2$	0,99
	GF	$\hat{Y} = 4,3555 + 0,1330^{**}P - 0,0004261^{**}P^2$	0,99

Tabela 2. Conteúdo de fósforo na parte aérea e no sistema radicular de mudas de Jacarandá-da-bahia, na ausência de micorriza (AM) e micorrizadas com *Gigaspora margarita* (GM) e *Glomus fasciculatum* (GF), em cinco doses de fósforo (P), aos 45, 90 e 135 dias após inoculação.

Época (dias)	Dose de P (mg dm ⁻³)	Conteúdo de P na Parte Aérea (mg/planta)				Conteúdo de P no Sistema Radicular (mg/planta)			
		AM	GM	GF	Média	AM	GM	GF	Média
45	0	0,108	0,280	0,200	0,196	0,084	0,118	0,103	0,102
	50	0,177	0,667	0,671	0,505	0,147	0,244	0,253	0,215
	100	0,351	0,936	0,755	0,681	0,205	0,291	0,280	0,259
	150	0,540	1,106	1,036	0,894	0,222	0,326	0,321	0,290
	200	0,732	1,024	1,101	0,953	0,225	0,301	0,323	0,283
	Média	0,382 B	0,803 A	0,753 A		0,177 B	0,256 A	0,256 A	
90	0	0,108 B	1,587 A	1,277 A	0,991	0,054 B	0,638 A	0,359 AB	0,350
	50	0,472 B	4,821 A	5,273 A	3,552	0,143 B	1,639 A	1,882 A	1,221
	100	0,637 B	5,162 A	5,909 A	3,903	0,194 B	1,800 A	1,921 A	1,305
	150	1,325 B	7,068 A	7,497 A	5,297	0,386 C	2,000 B	2,479 A	1,622
	200	2,291 B	6,960 A	7,358 A	5,536	0,534 B	1,994 A	2,055 A	1,511
	Média	0,967	5,120	5,463		0,262	1,604	1,739	
135	0	0,243 B	3,548 A	4,047 A	2,613	0,082 A	1,244 A	1,316 A	0,881
	50	0,276 C	8,144 B	10,771 A	6,397	0,120 C	3,179 B	4,569 A	2,622
	100	1,417 C	10,408 B	12,772 A	8,199	0,497 C	4,383 B	6,299 A	3,720
	150	2,871 C	12,270 B	14,738 A	9,960	0,716 B	5,291 A	6,151 A	4,053
	200	4,278 B	12,761 A	14,023 A	10,354	1,086 C	4,524 B	5,747 A	3,786
	Média	1,817	9,426	11,270		0,497	3,724	4,816	

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, em cada linha, para cada época de avaliação, não diferem pelo teste de Student-Newman-Keuls ($p > 0,05$).

Pode-se observar na Tabela 1 que a maioria das equações obtidas para conteúdo de P nas mudas colonizadas com fungos MA apresentaram efeito quadrático, semelhante àquelas obtidas por Bressan *et al.* (2001), em trabalho realizado com sorgo e soja.

As mudas de jacarandá-da-bahia, inoculadas com os fungos *Gigaspora margarita* e *Glomus fasciculatum*, apresentaram valores de conteúdo de P na parte aérea mais elevados que aqueles não-inoculadas, da mesma forma que foram encontradas maiores concentrações foliares de P em mudas de *Platanus occidentalis* (Pope, 1980), *Fraxinus pennsylvanica* (Douds Jr. e Chaney, 1986), *Coffea arabica* (Colozzi-Filho *et al.*, 1994), *Bactris gasipaes* (Silva *et al.*, 1998), *Glicine max* (Bressan *et al.*, 2001), *Vochysia maxima* (Chu *et al.*, 2004), e em porta enxertos de *Citrus reshni* e *C. sinensis* (Melloni e Cardoso, 1999), sugerindo tal resposta como sendo reflexo do maior desenvolvimento do micélio externo dos fungos MA, transpondo a zona de depleção nutricional da raiz, garantindo maior exploração do substrato.

Para Gianinazzi-Pearson e Gianinazzi (1983) e Siqueira e Franco (1988), o P absorvido do solo pelas hifas do fungo MVA é transferido para as células da

raiz da planta hospedeira pelos arbúsculos, e translúcido através do xilema para as demais partes das plantas, principalmente para as folhas, o que provavelmente explica o maior conteúdo de P e sua maior conversão na produção de matéria seca pela parte aérea de mudas de jacarandá-da-bahia, inoculadas com aqueles fungos.

Verifica-se, ainda na Tabela 2, que desde a primeira época de avaliação, aos 45 dias, houve efeito positivo da associação MA sobre o conteúdo de P existente no sistema radicular das mudas de jacarandá-da-bahia. Isto provavelmente aconteceu, em virtude da maior absorção e acúmulo de P, promovidos pela presença das estruturas dos fungos nas células do córtex das raízes colonizadas (Gianinazzi-Pearson e Gianinazzi, 1983; Siqueira e Franco, 1988).

As vesículas podem armazenar, temporariamente, grânulos de polifosfato (Siqueira e Franco, 1988). Entretanto, enquanto *G. fasciculatum* forma mais vesículas do que a maioria dos endófitos, nas raízes das plantas hospedeiras, *G. margarita* não as forma (Bonfante-Fasolo, 1984). Este foi, possivelmente, o motivo de as plantas inoculadas com *G. fasciculatum* apresentarem um maior conteúdo de P no sistema

radicular, quando comparadas àquelas inoculadas com *G. margarita*.

Considerando-se as três épocas de avaliação, o ganho no peso de matéria seca (Tabela 3) levou a uma maior eficiência de produção, revelada nos resultados da análise de variância, obtidos para os dados de eficiência de utilização de fósforo na parte aérea (EUPA) de mudas de jacarandá-da-bahia, onde

se detectou um efeito significativo ($p \leq 0,01$) para a interação M X P, cujas médias com os resultados do teste de S-N-K estão apresentados na Tabela 4.

A EUPA das plantas não-inoculadas, aos 45 dias, foi superior a daquelas inoculadas. Com o passar do tempo, houve uma inversão da situação e, aos 135 dias, as plantas inoculadas apresentaram EUPA

Tabela 3. Peso de matéria seca da parte aérea e do sistema radicular de mudas de jacarandá-da-bahia, na ausência de micorriza (AM) e micorrizadas com *Gigaspora margarita* (GM) e *Glomus fasciculatum* (GF), em cinco doses de fósforo (P), aos 45, 90 e 135 dias após inoculação.

Época (dias)	Dose de P (mg dm ⁻³)	Peso de matéria seca da Parte Aérea (g / planta)				Peso de matéria seca do Sistema Radicular (g / planta)			
		AM	GM	GF	Media	AM	GM	GF	Media
45	0	0,170	0,240	0,197	0,202	0,124	0,128	0,125	0,126
	50	0,247	0,325	0,307	0,294	0,173	0,148	0,160	0,160
	100	0,343	0,364	0,378	0,361	0,194	0,156	0,178	0,176
	150	0,390	0,425	0,449	0,421	0,194	0,188	0,191	0,191
	200	0,408	0,450	0,477	0,445	0,181	0,178	0,206	0,188
	Média	0,312 A	0,361 A	0,362 A		0,178	0,160	0,172	
90	0	0,212 C	1,348 A	0,878 B	0,813	0,140 C	0,686 A	0,448 B	0,425
	50	0,436 B	2,146 A	2,116 A	1,566	0,248 B	0,982 A	0,990 A	0,740
	100	0,714 B	2,282 A	2,434 A	1,810	0,400 B	1,012 A	1,136 A	0,849
	150	1,126 C	2,292 B	2,792 A	2,070	0,596 C	1,058 B	1,406 A	1,020
	200	1,486 B	2,332 A	2,586 A	2,135	0,642 B	1,060 A	1,220 A	0,974
	Média	0,795	2,080	2,161		0,405	0,960	1,040	
135	0	0,326 B	4,180 A	4,598 A	3,035	0,160	1,774	2,062	1,332
	50	0,478 C	5,098 B	6,408 A	3,995	0,252	2,134	2,622	1,669
	100	1,254 B	6,296 A	6,590 A	4,713	0,584	2,682	2,972	2,079
	150	1,846 B	6,560 A	6,684 A	5,030	0,830	2,674	2,988	2,164
	200	2,912 B	6,184 A	6,800 A	5,299	1,098	2,426	3,010	2,178
	Média	1,363	5,664	6,216		0,585 C	2,338 B	2,731 A	

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, em cada linha, para cada época de avaliação, não diferem pelo teste de Student-Newman-Keuls ($p > 0,05$).

Tabela 4. Eficiência de utilização de fósforo pela parte aérea (EUPA) e pelo sistema radicular (EUPR) de mudas de jacarandá-da-bahia, na ausência de micorriza (AM) e micorrizadas com *Gigaspora margarita* (GM) e *Glomus fasciculatum* (GF), em diferentes doses de fósforo (P), aos 45, 90 e 135 dias após a Inoculação.

Época (dias)	Dose de P (mg dm ⁻³)	EUPA (g ² mg ⁻¹)				EUPR (g ² mg ⁻¹)			
		AM	GM	GF	Media	AM	GM	GF	Media
45	0	0,278 A	0,207 B	0,196 B	0,227	0,185	0,139	0,153	0,159
	50	0,354 A	0,160 B	0,146 B	0,220	0,205	0,090	0,104	0,133
	100	0,337 A	0,143 B	0,193 B	0,224	0,185	0,085	0,117	0,129
	150	0,285 A	0,166 B	0,198 B	0,216	0,170	0,108	0,114	0,131
	200	0,228 A	0,203 A	0,208 A	0,213	0,146	0,108	0,132	0,129
	Média	0,296	0,176	0,188		0,178 A	0,106 B	0,124 B	
90	0	0,419 B	1,060 A	0,615 B	0,731	0,363 B	0,742 A	0,561 A	0,555
	50	0,555 B	0,959 A	0,847 A	0,796	0,480 A	0,598 A	0,529 A	0,536
	100	0,818 A	1,026 A	1,048 A	0,964	0,829 A	0,579 B	0,683 AB	0,697
	150	0,967 A	0,774 A	1,076 A	0,939	0,932 A	0,562 B	0,799 A	0,764
	200	0,968 A	0,791 A	0,930 A	0,896	0,774 A	0,583 A	0,732 A	0,696
	Média	0,747	0,942	0,909		0,676	0,613	0,661	
135	0	0,511 B	4,944 A	5,272 A	3,576	0,340 C	2,559 B	3,271 A	2,057
	50	0,832 B	3,200 A	3,849 A	2,627	0,533 B	1,439 A	1,513 A	1,162
	100	1,205 B	3,827 A	3,448 A	2,827	0,854 B	1,661 A	1,421 A	1,312
	150	1,194 B	3,597 A	3,078 A	2,623	0,999 A	1,386 A	1,462 A	1,282
	200	1,996 B	3,031 A	3,331 A	2,786	1,111 A	1,548 A	1,585 A	1,415
	Média	1,148	3,720	3,796		0,767	1,719	1,850	

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, em cada linha, para cada época de avaliação, não diferem pelo teste de Student-Newman-Keuls ($p > 0,05$).

superior. Isto mostra que as mudas de jacarandá-da-bahia, inoculadas com os fungos MA, *G. margarita* e *G. fasciculatum*, foram mais eficientes na utilização do P para a produção de parte aérea, que as mudas não-inoculadas, confirmando as observações de Cooper (1984) de que esses endófitos podem participar de muitos processos básicos de crescimento

de planta hospedeira, promovendo a mobilização e controle da translocação dos nutrientes absorvidos pelo sistema radicular. Em adição, de um modo geral, a EUPA das mudas inoculadas foi maior nas menores doses de P testadas.

Para a eficiência de utilização de fósforo no sistema radicular (EUPR) de mudas de jacarandá-da-

bahia, o resultado da análise de variância dos dados obtidos, aos 45 dias, não detectou efeito significativo ($p > 0,05$) para a interação M X P, constatando-se, porém, efeito significativo ($p \leq 0,01$) para os tratamentos micorrízicos (M) e um efeito linear ($P \leq 0,05$) para doses de P. Porém, aos 90 e a aos 135 dias, detectou-se um efeito significativo ($P \leq 0,01$) para a interação M X P. Para as três épocas de avaliação, as médias com os resultados do teste de S-N-K estão apresentados na Tabela 4.

Nota-se que, embora os conteúdos de P encontrados no sistema radicular das mudas inoculadas com os fungos MA tenham sido superiores aos das mudas não-inoculadas desde os 45 dias, os efeitos positivos da inoculação sobre a EUPR somente se tornaram evidentes aos 135 dias, sendo que as mudas inoculadas com *G. fasciculatum* apresentaram EUPR superior a daquelas inoculadas com *G. margarita*, nas menores doses de P testadas.

Aos 45 dias, o conteúdo de P na parte aérea das mudas equivalia a cerca de 75% do conteúdo total existente na planta. Esse fato pode vir a explicar a maior EUPR das plantas inoculadas, na primeira época de avaliação, comparativamente a das plantas não-inoculadas.

Provavelmente, a presença do fungo já estava promovendo maior translocação do P para a parte aérea nas mudas inoculadas. Fato este confirmado pelo cálculo da eficiência radicular (ER), obtida pela relação entre o conteúdo de P na parte aérea e o peso de matéria seca do sistema radicular, avaliando a capacidade do sistema radicular de mudas de jacarandá-da-bahia, micorrizadas e não-micorrizadas, para absorver e translocar o P para a parte aérea.

Para a ER, cujas médias encontram-se na Tabela 5, aos 45 dias, houve efeito significativo ($p \leq 0,01$) para a interação M X P. Aos 90 dias, não se detectou efeito significativo ($p > 0,05$) para a interação, mas houve um efeito significativo ($p \leq 0,01$) para M e um efeito cúbico ($p \leq 0,05$) para doses de P. Já aos 135 dias, detectou-se, novamente, um efeito significativo ($p \leq 0,05$) para a interação M X P.

Tabela 5. Eficiência Radicular (ER) de mudas de jacarandá-da-bahia, na ausência de micorriza (AM) e micorrizadas com *Gigaspora margarita* (GM) e *Glomus fasciculatum* (GF), em diferentes doses de fósforo (P), aos 45, 90 e 135 dias após

Inoculação.

Época (dias)	Dose de P (mg dm ⁻³)	Eficiência Radicular (mg g ⁻¹)			
		AM	GM	GF	Média
45	0	0,917 B	2,208 A	1,576 AB	1,567
	50	1,029 B	4,573 A	4,220 A	3,274
	100	1,825 C	5,837 A	4,170 B	3,944
	150	2,810 B	5,806 A	5,464 A	4,693
	200	4,273 B	5,622 A	5,380 A	5,092
	Média	2,171	4,809	4,162	
90	0	0,787	2,439	2,905	2,044
	50	1,633	5,092	5,339	4,021
	100	1,617	5,196	5,204	4,006
	150	2,233	6,968	5,403	4,868
	200	3,613	6,747	5,983	5,448
	Média	1,977 B	5,288 A	4,967 A	
135	0	1,298 A	2,001 A	2,039 A	1,779
	50	1,102 B	3,937 A	4,129 A	3,056
	100	2,237 B	3,900 A	4,304 A	3,480
	150	3,420 B	4,749 A	4,983 A	4,384
	200	3,915 B	5,322 A	4,675 AB	4,637
	Média	2,394	3,982	4,026	

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, em cada linha, para cada época de avaliação, não diferem pelo teste de Student – Newman – Keuls ($p > 0,05$).

A obtenção de melhor ER em mudas inoculadas é, possivelmente, atribuída à maior e melhor distribuição de superfície de absorção da raiz promovida pelo micélio externo do fungo (Sanders e Tinker, 1973; Sanders e Sheikh, 1983) e maior transferência de P absorvido para o hospedeiro, promovida pela presença dos arbúsculos no interior das células das raízes colonizadas (Gianinazzi-Pearson e Gianinazzi, 1983; Siqueira e Franco, 1988). Desse modo, pode-se observar, na Tabela 5, que a ER foi sempre maior na presença da MA, para todas as épocas de avaliação, em todas as doses de P adicionadas ao substrato de cultivo.

A Tabela 6 relaciona as equações de regressão para as características de eficiência estudadas neste trabalho, em função das doses de fósforo adicionadas, mostrando que a maioria das equações apresenta efeito quadrático, passando por um ponto de máximo, assim como ocorreu para conteúdo de P, principalmente quando se refere à eficiência de mudas inoculadas com *G. margarita*.

O fato de as mudas inoculadas com os fungos MA terem apresentado maiores valores de ER vem confirmar as observações de Daft e Nicholson (1966), Smith (1980) e de vários outros autores de que esses endófitos melhoram a absorção de nutrientes, em particular do P, e controlam sua translocação para as diversas partes da planta, principalmente as folhas (Siqueira e Franco, 1988).

Tabela 6. Equações de regressão para as características de Eficiência de Utilização de Fósforo na Parte Aérea (EUPA) e no Sistema Radicular (EUPR), e Eficiência Radicular (ER) de mudas de jacarandá-da-bahia, avaliadas (Ŷ) em função das doses de fósforo (P) adicionadas, para os tratamentos na ausência de micorriza (AM), e na presença de *Gigaspora margarita* (GM) e *Glomus fasciculatum* (GF), aos 45, 90 e 135 dias após inoculação.

Característica	Micorriza	Equação	R ²
45 dias			
EUPA	AM	$\hat{Y} = 0,2869 + 0,001396^{**}P - 0,00000867^{*}P^2$	0,92
	GM	$\hat{Y} = 0,2059 + 0,001190^{**}P - 0,00000592^{**}P^2$	0,99
EUPR		$\hat{Y} = 0,1486 - 0,0001260^{*}P$	0,59
ER	AM	$\hat{Y} = 0,1486 - 0,0001260^{*}P$	0,99

	GM	$\bar{Y} = 2,2839 + 0,052652^{***}P - 0,00018264^{**}P^2$	0,99
	GF	$\bar{Y} = 1,8045 + 0,041202^{***}P - 0,00011750^{**}P^2$	0,92
90 dias			
EUPA	AM	$\bar{Y} = 0,4432 + 0,003022^{**}P$	0,92
	GM	$\bar{Y} = 1,1270 - 0,001850^{***}P$	0,80
	GF	$\bar{Y} = 0,6059 + 0,007127^{*}P - 0,00002731^{*}P^2$	0,99
EUPR	AM	$\bar{Y} = 0,3565 + 0,0000314^{**}P + 0,0000759^{**}P^2 - 0,000000329^{*}P^3$	0,91
	GF	$\bar{Y} = 0,5386 + 0,001222^{***}P$	0,72
ER		$\bar{Y} = 2,1010 + 0,05085^{**}P - 0,0003978^{ns}P^2 + 0,00000114^{*}P^3$	0,96
135 dias			
EUPA	AM	$\bar{Y} = 0,4809 + 0,006668^{***}P$	0,90
	GM	$\bar{Y} = 4,8906 - 0,05423^{**}P + 0,0005843^{ns}P^2 - 0,00000180^{**}P^3$	0,91
	GF	$\bar{Y} = 5,2095 - 0,02863^{**}P + 0,00009663^{***}P^2$	0,98
EUPR	AM	$\bar{Y} = 0,3658 + 0,004017^{**}P$	0,97
	GM	$\bar{Y} = 2,4285 - 0,01596^{**}P + 0,00005906^{***}P^2$	0,79
	GF	$\bar{Y} = 3,2498 - 0,05181^{**}P + 0,0004281^{**}P^2 - 0,00000106^{**}P^3$	0,99
ER	AM	$\bar{Y} = 1,2906 - 0,02202^{**}P + 0,0004447^{ns}P^2 - 0,00000135^{*}P^3$	0,99
	GM	$\bar{Y} = 2,4910 + 0,014910^{***}P$	0,88
	GF	$\bar{Y} = 2,1876 + 0,03677^{**}P - 0,0001226^{**}P^2$	0,94

Chu *et al.* (2004) também obtiveram maiores produções de matéria seca de parte aérea e raiz, bem como maior teor de P na parte aérea de mudas de *Vochysia maxima*, em que usaram inóculos de diferentes espécies de fungos MA, concluindo que *Gigaspora margarita* foi o fungo mais promissor à eficiência de produção daquelas mudas.

Conclusão

Mudas de jacarandá-da-bahia, inoculadas com os fungos MA, *Gigaspora margarita* e *Glomus fasciculatum*, quando comparadas àquelas não-inoculadas, crescendo em condições de casa de vegetação, independente da dose de P adicionada, apresentaram:

- Maior conteúdo de P na parte aérea e no sistema radicular;
- Maior eficiência de utilização de P pela parte aérea e pelo sistema radicular;
- Maior eficiência radicular, ou seja, maior capacidade do sistema radicular para absorver e translocar o P para a parte aérea.

Referências

- ALVAREZ V., V.H. *Equilíbrio de formas disponíveis de fósforo e enxofre em dois latossolos de Minas Gerais*. 1974. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1974.
- BONFANTE-FASOLO, P. Anatomy and morphology of VA mycorrhizae. In: POWELL, C.L.; BAGYARAJ, D.J. (Ed.). *VA Mycorrhizae*. s.l., C.R.C. Press, 1984. p. 5-33.
- BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e plantas. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 21, p.73-85, 1974.
- BRESSAN, W. *et al.* Fungos micorrízicos e fósforo, no crescimento, nos teores de nutrientes e na produção de sorgo e soja consorciados. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 36, n. 2, p. 315-323, fev. 2001.
- CHU, E.Y. *et al.* Efeitos da inoculação micorrízica e da adubação fosfatada em mudas de *Vochysia maxima* Ducke. *Rev. Árvore*, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 157-165, 2004.

COLOZZI-FILHO, A. *et al.* Efetividade de diferentes fungos micorrízicos arbusculares na formação de mudas, crescimento pós-transplante e produção do caféiro. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 29, n.9, p. 1397-1406, set. 1994.

COOPER, K.M. Physiology of VA Mycorrhizal associations. In: POWELL, C.L.; BAGYARAJ, D.J. (Ed.). *VA Mycorrhiza*. s. l., CRC Press, Inc., 1984. p. 155-186.

DAFT, M.J.; NICHOLSON, T.H. Effect of Endogone Mycorrhiza on plant growth. *New Phytol.*, Cambridge, v. 65, n. 3, p. 343-350, 1966.

DOUDS JR., D.D.; CHANEY, W.R. The effect of high nutrient addition upon seasonal patterns of mycorrhizal development, host growth, and root phosphorus an carbohydrate content in *Fraxinus pennsylvanica* Marsh. *New Phytol.*, v. 103, p. 91-106, 1986.

FISCHER, C.R. *et al.* Mycorrhiza Inoculum Potentials in Tropical Secondary Succession. *Biotropica*, Washington, DC, v. 26, n. 4, p. 369-377, 1994.

GIANINAZZI-PEARSON, V.; GIANINAZZI, S. The physiology of vesicular-arbuscular mycorrhizal roots. *Plant Soil*, The Hague, v. 71, p. 197-209, 1983.

HAYMAN, D.S. Phosphorus cycling by soil microorganisms and plants roots. In: WALKER, N. (Ed.) *Soil Microbiology*. s.l., Butterworth & Co. Ltd., 1975. p. 67-91.

HAYMAN, D.S. The physiology of vesicular-arbuscular endomycorrhizal symbiosis. *Can. J. Bot.*, Ottawa, v. 61, p. 944-963, 1983.

LOPES, E.S.; SIQUEIRA, J.O. Vesicular-arbuscular mycorrhizas. Their potential in phosphate nutrition in tropical regions. In: RUSSEL, R. S. *et al.* (Ed.). *The soil/roots system in relation to brasilian agriculture*. Londrina: Iapar, 1981.

LOVATO, P.E. *et al.* Micorrização de plantas micropropagadas. In: SIQUEIRA, J.O. (Ed.). *Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas*. Lavras: Universidade Federal de Lavras/DCS e DCF, 1996. p. 175-201.

MELLONI, R.; CARDOSO, E.J.B.N. Quantificação de micélio extrarradicular de fungos micorrízicos arbusculares em plantas cítricas. II. Comparação entre diferentes espécies cítricas e endófitos. *Rev. Bras. Cienc. Solo*,

- Capinas, v. 23, n. 1, p. 59-67, Jan./Mar. 1999.
- MENGE, J.A. Utilization of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture. *Can. J. Bot.*, Ottawa, v. 61, p. 1015-1024, 1983.
- MOSSE, B. Advances in the study of the vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Annu. Rev. Phytopathol.*, Palo Alto, v. 11, p. 171, 1973a.
- MOSSE, B. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. IV. In soil given additional phosphate. *New Phytol.*, v. 72, p. 127-136, 1973b.
- PHILLIPS, J.M.; HAYMAN, D.S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic infection. *Trans. Myc.*, v. 55, p. 158-160, 1970.
- POPE, P.E. Influence of *Glomus fasciculatus* mycorrhizae on some physical and chemical characteristics of *Platanus occidentalis* seedlings. *Can. J. Bot.*, Ottawa, v. 58, p. 1601-1606, 1980.
- READ, D.J. *et al.* Vesicular-arbuscular mycorrhiza in natural vegetation systems. I. The occurrence of infection. *New Phytol.*, Cambridge, v. 77, p. 641-653, 1976.
- RIZZINI, C.T. *Árvores e madeiras úteis do Brasil*. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1978. p.150-154.
- SANDERS, F.E.; SHEIKH, N.A. The development of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in plant root systems. *Plant Soil*, Madison, v. 71, p. 223-246, 1983.
- SANDERS, F.E.; TINKER, P.B. Phosphate flow into mycorrhizal roots. *Pestic. Sci.*, Ichichester, v. 4, p. 385-395, 1973.
- SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrients utilization efficiency in plants. *J. Plant Nutr.*, New York, v. 4, n. 3, p. 286-302, 1981.
- SILVA, E.M.R. da *et al.* Ocorrência e efetividade de fungos micorrízicos em plantas cultivadas. Seropédica: Embrapa. *Agrobiologia*, Nov. 1998. 25 p. (Embrapa/CNPAB. Documentos, 83).
- SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. *Biotechnologia do Solo – fundamentos e perspectivas*. Brasília: MEC / ESAL / FAEP / ABEAS, 1988. 235 p.
- SMITH, S.E. Mycorrhizas of autotrophic higher plants. *Biol. Rev.*, Cambridge, v. 55, p. 475-510, 1980.
- THOMAZINI, L.I. Mycorrhiza in plants of “Cerrado”. *Plant Soil*, The Hague, v. 41, p. 707-711, 1974.

Received on March 08, 2005.

Accepted on November 08, 2005.