



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Brasil

MOREIRA-SOUZA, M.; CARDOSO, E. J. B. N.

DEPENDÊNCIA MICORRÍZICA DE Araucaria angustifolia (BERT.) O. KTZE. SOB DOSES DE  
FÓSFORO

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 26, núm. 4, 2002, pp. 905-912

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180218306008>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe , Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## **SEÇÃO III - BIOLOGIA DO SOLO**

### **DEPENDÊNCIA MICORRÍZICA DE *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE. SOB DOSES DE FÓSFORO<sup>(1)</sup>**

**M. MOREIRA-SOUZA<sup>(2)</sup> & E. J. B. N. CARDOSO<sup>(3)</sup>**

#### **RESUMO**

Este trabalho teve como objetivos determinar a dependência micorrízica de plantas de *Araucaria angustifolia*, sob diferentes doses de P, e acompanhar o desenvolvimento do hospedeiro e do endófito após a inoculação. O experimento foi realizado em condições de casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado num esquema fatorial 4 x 4, sendo: três espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) (*Glomus intraradices*, *Gigaspora rosea* e uma mistura de FMAs nativos, provenientes de mata de araucária em Campos do Jordão, no estado de São Paulo, e um controle sem FMA, com quatro doses de P no substrato (0, 20, 50 e 150 mg kg<sup>-1</sup> de P na forma de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), com cinco repetições. Avaliaram-se a matéria seca da parte aérea e raiz, a taxa de colonização radicular, o número de esporos no solo e os teores de nutrientes presentes na parte aérea da planta. Concluiu-se que a *Araucaria angustifolia* é planta micotrófica e tem dependência micorrízica até a dose de 150 mg kg<sup>-1</sup> de P, sendo a taxa de colonização radicular e esporulação variáveis com a espécie de FMA. A espécie *Gigaspora rosea* é indicada para baixos teores de P no solo e *Glomus intraradices* para teores mais elevados, enquanto os FMAs nativos são benéficos ao crescimento da araucária em qualquer teor de P. Independentemente da espécie de FMA, as plantas micorrizadas apresentaram maiores concentrações de P e menores de N e K que as não micorrizadas.

**Termos para indexação:** adubação fosfatada, eficiência micorrízica, fungos micorrízicos arbusculares, pinheiro do Paraná.

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Doutorado da primeira autora, apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ. Parcialmente apresentado no XXVIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Londrina, 2001. Recebido para publicação em janeiro de 2001 e aprovado em julho de 2002.

<sup>(2)</sup> Pós-Graduanda do Curso de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ. Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). Bolsista da CAPES. E-mail: mmsouza@esalq.usp.br

<sup>(3)</sup> Professora Titular do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ/USP. E-mail: ejbncard@esalq.usp.br

**SUMMARY:** *MYCORRHIZAL DEPENDENCY OF Araucaria angustifolia (BERT.) O. KTZE. AT DIFFERENT PHOSPHATE LEVELS*

The aim of this study was to evaluate the inoculation effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) of Brazilian pine plants (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.) at different P levels. The experimental design was completely randomized with a factorial outlay of four inoculation and four P level treatments in five replications. The Araucaria plants, grown in greenhouse conditions, were inoculated either with *Gigaspora rosea*, with *Glomus intraradices*, or with a mixture of AMF, collected in a native Araucaria forest in Campos do Jordão, State of São Paulo, Brazil. The control treatment consisted in non-inoculated plants. Four P levels (0, 20, 50 and 150 mg kg<sup>-1</sup> of P in the soil) were tested in the form of  $KH_2PO_4$ . Shoot and root dry matter, AMF root colonization, spore rates in the soil, and nutrient contents in the shoot were evaluated. The conclusion was drawn that *Araucaria angustifolia* is a mycotrophic plant which presents mycorrhizal dependency up to a P level of 150 mg kg<sup>-1</sup> in the soil. Root colonization and sporulation rates varied according to the AMF species. *Gigaspora rosea* is indicated for soils with a low P level, and *Glomus intraradices* for higher P levels, while the native AM fungi are beneficial for Araucaria plant growth at all tested P levels. Mycorrhizal plants always presented higher P and lower N and K shoot concentrations than the non-mycorrhizal ones, independent of the AMF species.

*Index terms:* Brazilian pine, mycorrhizal efficiency, mycorrhizal fungi, phosphate level.

## INTRODUÇÃO

*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. é espécie florestal de grande valor econômico e ecológico, para a qual, entretanto, existem apenas escassos e antigos relatos da presença de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) próximos às suas raízes (Milanez & Monteiro, 1950; Oliveira & Ventura, 1952), e nada se informa a respeito de sua interação com a planta ou de eventuais benefícios que estes poderiam lhe proporcionar. Muchovej et al. (1992) testaram FMA e fungos ectomicorrízicos em araucária, mas não verificaram respostas de crescimento vegetal à inoculação. Mais recentemente, Breuninger et al. (2000) observaram colonização radicular por FMA em araucária.

Para que a araucária seja cultivada e preservada de modo sustentado, são necessários estudos que tenham como objetivo melhorar o sistema de produção de mudas. Tecnologias que promovam melhor crescimento e desenvolvimento da espécie a partir do viveiro, como inoculações de FMA, poderiam ser promissoras.

Sabe-se que o FMA estimula o crescimento das plantas, em virtude da maior absorção de água e nutrientes pelas plantas micorrizadas (Bowen, 1980), especialmente daqueles de baixa mobilidade que se encontram fora do alcance da raiz, sobretudo o P (Cardoso, 1985, 1996), Zn (Lambert et al., 1979) e Cu (Pacovsky, 1986).

Em geral, a planta micorrizada produz mais biomassa e é mais tolerante às condições estressantes, como altos teores de Fe e Al (Vogt et al., 1987), Mn (Cardoso, 1996; Nogueira & Cardoso,

2000), estresses hídricos (Mosse et al., 1981; Barea et al., 1993), valores extremos de pH e salinidade (Sylvia & Williams, 1992). Normalmente, os efeitos da inoculação são mais pronunciados em solos com baixa disponibilidade de nutrientes (Silveira & Cardoso, 1987; Smith & Gianinazzi-Pearson, 1988). Além disso, as micorrizas desempenham função importante na ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais (Janos, 1983).

A eficiência de FMA e a dependência micorrízica de plantas variam de acordo com o fungo, planta hospedeira e condições edáficas (Plenchette et al., 1983). Especialmente em espécies florestais que tenham fase de viveiro, a inoculação com fungos micorrízicos pode ser fator importante no seu estabelecimento. Mudas de essências florestais inoculadas com fungos ecto ou endomicorrízicos, via de regra, apresentam maior sobrevivência ao transplantio e melhor crescimento das plantas em condições naturais (Janos, 1980; Marx et al., 1984).

Este experimento objetivou determinar a dependência micorrízica de plantas de araucária, sob diferentes doses de fósforo, e acompanhar o desenvolvimento do hospedeiro e do endófito após a inoculação.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 4, sendo: 3 espécies de FMA (*Glomus intraradices*, *Gigaspora rosea* e uma mistura de esporos nativos,

provenientes de mata nativa de *Araucaria angustifolia*, com os gêneros *Glomus*, *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Entrophospora* e *Scutellospora*), e um controle sem FMA x 4 doses de P (0, 20, 50 e 150 mg kg<sup>-1</sup> de substrato na forma de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), com cinco repetições por tratamento, num total de 80 vasos de 20 L cada.

O substrato utilizado foi proveniente de uma amostra de um Neossolo Quartzarênico (série Paredão Vermelho), com as seguintes características: pH em CaCl<sub>2</sub> 3,9; 14 g dm<sup>-3</sup> de matéria orgânica; 2 mg dm<sup>-3</sup> de P (resina); 0,5; 3; 1; 9 e 47 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Al<sup>+3</sup> e H + Al, respectivamente. Três partes dessa amostra de solo foram misturadas com uma parte de areia de rio peneirada e lavada. A mistura foi autoclavada por duas horas a 121 °C. Calculou-se a necessidade de calagem e adicionaram-se 5,5 g de calcário dolomítico, PRNT 131 %, em cada vaso de 20 L, elevando o pH para 6,0, e feita a incubação por 20 dias. Posteriormente, foi adicionado e misturado o P nas doses de 20, 50 e 150 mg kg<sup>-1</sup> de substrato, complementando-se com a solução de Hoagland isenta de fósforo, aplicando-se 150 mL de solução em cada vaso. A solução de Hoagland foi usada por mais três vezes, a cada dois meses, a partir do plantio.

O substrato dos vasos foi infestado com os propágulos de FMA, utilizando-se, como inóculo, 20 g de solo, esporos e raízes colonizadas de um vaso estoque multiplicador com *Brachiaria decumbens*, que foi introduzido sob as raízes durante o transplantio da muda de araucária. Nos vasos-controle, utilizou-se a mesma quantidade de solo rizosférico e raízes de plantas de braquiária não micorrizadas.

As sementes de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., provenientes do Parque Estadual de Campos do Jordão, foram selecionadas, procurando-se manter uniformidade em relação ao tamanho e ao peso. Aproximadamente, 200 sementes foram desinfestadas com hipoclorito de sódio a 0,5 % e semeadas em caixa de areia de rio lavada e esterilizada por autoclavagem. Ao final de aproximadamente 60 dias, as plântulas foram transplantadas para vasos com 1,5 kg de capacidade. Após um mês, fez-se a seleção das mais vigorosas e uniformes, as quais foram novamente transplantadas para vasos com 20 kg de substrato esterilizado, etapa na qual ocorreu a inoculação de FMA. As plantas foram mantidas em casa de vegetação e regadas de acordo com a necessidade.

Um ano após o transplantio, colheram-se as plantas e avaliaram-se: (a) matéria seca da parte aérea (MSPA), após peso constante em estufa a 60 °C; (b) matéria seca da raiz (MSR), após peso constante em estufa a 60 °C; (c) macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) e micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) na parte aérea, segundo método descrito em EMBRAPA (1998); (d) taxa de colonização radicular (Phillips & Hayman, 1970; Giovanetti & Mosse, 1980), e (e)

número de esporos (Gerdemann & Nicolson, 1963). A partir da matéria seca total, determinou-se a dependência micorrízica de acordo com o seguinte cálculo: matéria seca de plantas micorrizadas menos matéria seca de plantas não micorrizadas, dividido por matéria seca de plantas micorrizadas e multiplicado por 100 (Plenchette et al., 1983), nas doses de P utilizadas (0, 20, 50 e 150 mg kg<sup>-1</sup> de P).

Para a normalização da distribuição da variável, os dados de percentagem de colonização radicular foram transformados para arc sen ( $x/100$ )<sup>1/2</sup> e o número de esporos para  $(x + 0,5)^{1/2}$ . Todas as variáveis foram submetidas à análise de variância, desdobrando-se as interações significativas. Aplicou-se o teste de Tukey a 5 %, para a comparação das médias, e aplicou-se a análise de regressão, para os fatores quantitativos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Colonização radicular e número de esporos

As raízes das plantas não inoculadas com FMA foram analisadas e apresentaram-se isentas de colonização radicular (Quadro 1). A colonização radicular de plantas de araucária que receberam os diferentes FMA variou de 10,76 a 21,95 % (Quadro 1). As percentagens de colonização de plantas inoculadas com a mistura de esporos de fungos nativos e com *Gigaspora rosea* não diferiram entre si, mas apresentaram o dobro do valor obtido para plantas na presença de *Glomus intraradices*.

Souza (2000) verificou, em mata nativa de araucária, que a taxa de colonização radicular variou de 7,2 a 48,3 % e, em áreas reflorestadas, de 4,4 a 15,8 %. Os valores encontrados enquadram-se dentro dessa variação, embora tenham alcançado apenas metade do máximo verificado na mata natural. A percentagem de colonização nem sempre é uma característica segura para definir o efeito que o endófito causa no crescimento de sua planta hospedeira. Em algumas plantas, taxas tão baixas como 5 % já foram suficientes para um bom desenvolvimento (Ezeta & Santos, 1981).

Por outro lado, alguns fungos têm a habilidade de se associarem às raízes indiscriminadamente, produzindo efeitos que variam de neutros a negativos para as plantas, sendo, por isso, denominados oportunistas ou comensalistas (Peng et al., 1993). As percentagens de colonização radicular encontradas, após um ano de cultivo, podem, portanto, ser consideradas satisfatórias para proporcionar bom desenvolvimento da araucária.

É importante salientar que nem sempre o estabelecimento da associação simbiótica garante eficiência micorrízica elevada. Muitas vezes, as espécies de FMA com mecanismos evoluídos em

**Quadro 1. Matéria seca da parte aérea/matéria seca de raiz (MSPA/MSR), número de esporos e taxa de colonização radicular de plantas de *Araucaria angustifolia* cultivadas por 12 meses na presença de quatro tipos de inóculos na média das quatro doses de P**

Inóculo	MSPA/MSR	Número de esporos	Colonização radicular
		50 g <sup>-1</sup> solo	%
Controle	2,2 a <sup>(1)</sup>	0	0
<i>Gigaspora rosea</i>	1,1 b	26 a	19,94 a
<i>Glomus intraradices</i>	1,2 b	09 c	10,76 b
Mistura de FMA	1,0 b	14 b	21,95 a
C.V. (%)	57,0	31,8	21,9

<sup>(1)</sup> Médias seguidas pela mesma letra, na vertical, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

infectividade não se apresentam especializadas em fornecer benefícios para a planta, ou seja, são ineficientes nas trocas, não favorecendo o crescimento daquela (Herrick & Wilson, 1991).

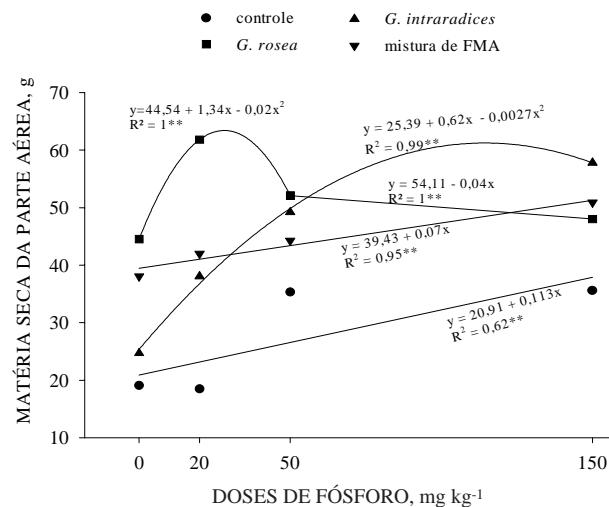
A colonização radicular pode ser afetada, dentre vários fatores, pelo pH e pela concentração de nutrientes do solo (Koide & Li, 1990). A acidez e a baixa disponibilidade de nutrientes freqüentemente favorecem a colonização radicular, indicando que o fungo, ao mesmo tempo que beneficia o crescimento das plantas, aumenta a atividade metabólica nas raízes. Entretanto, em situações de alta disponibilidade de nutrientes, especialmente de P, as plantas tendem a diminuir a colonização (Cardoso, 1985; Cardoso et al., 1986), o que não foi observado no presente trabalho, talvez por não se terem estabelecido doses suficientemente elevadas de P.

Não se detectaram esporos de FMA no tratamento-controle (Quadro 1). *Gigaspora rosea* produziu maior número de esporos, seguida dos FMA nativos e *G. intraradices*, que apresentaram o menor número de esporos. Na mistura de FMA, observou-se a esporulação de espécies de *Acaulospora*, *Scutellospora*, *Entrophosphora* e *Glomus*. Já as *Gigaspora* spp. parecem ter tido sua esporulação inibida, pois, no solo de mata, havia grande quantidade desses esporos (Souza, 2000), mas não ocorreu sua multiplicação nos vasos com a mistura de FMA. Colozzi-Filho (1999) também relatou a não-esporulação de *Gigaspora* spp. em raízes de milho e sorgo, em condições de casa de vegetação.

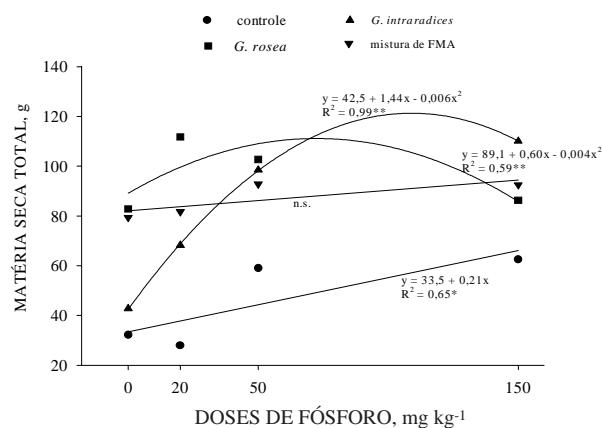
### Matéria seca da planta

Houve diferença no acúmulo de matéria seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR) entre os tratamentos com fungos micorrízicos. Verificaram-se, também, efeitos das interações entre fungos e doses de P nas variáveis estudadas (Figuras 1 e 2). Também as plantas de araucária inoculadas com FMA apresentaram mais matéria seca do que as do tratamento-controle.

A produção de matéria seca da parte aérea (Figura 1) aumentou com as doses crescentes de P, ajustando-se uma função linear para as plantas não micorrizadas. A mistura de FMA beneficiou o crescimento da parte aérea de araucária que superou o das plantas-controle em todas as doses de P, segundo uma função linear de coeficiente angular não muito diferente daquele das plantas-controle. Quando as plantas foram inoculadas com *G. intraradices*, ajustou-se uma função quadrática, e a produção de matéria seca da parte aérea só atingiu valores equivalentes àqueles produzidos com a mistura de FMA a partir de 20 mg kg<sup>-1</sup> de P, obtendo-se valores máximos a 114,8 mg kg<sup>-1</sup> de P.



**Figura 1. Matéria seca da parte aérea de plantas de *Araucaria angustifolia* inoculadas com FMA (*Gigaspora rosea*, *Glomus intraradices* e mistura de FMA nativos) e não inoculadas (controle), aos 12 meses do transplante, considerando níveis de P. \* modelos matemáticos de regressão significativos a 5 %; \*\* significativos a 1 % pelo teste F.**



**Figura 2. Matéria seca total de plantas de *Araucaria angustifolia* inoculadas com FMA (*Gigaspora rosea*, *Glomus intraradices* e mistura de FMA nativos) e não inoculadas (controle), aos 12 meses do transplante, considerando doses de P. \* modelos matemáticos de regressão significativos a 5%; \*\* significativos a 1% pelo teste F.**

O efeito de *G. rosea* sobre o desenvolvimento da parte aérea da planta, ao longo das doses de P, entretanto, foi mais complexo (Figura 1). Nesse caso, houve ajuste significativo de uma curva de terceiro grau, a qual é de difícil interpretação biológica. Por esta razão, o ajuste de regressão foi dividido em duas partes: a primeira pode explicar o fenômeno observado e permite uma interpretação biologicamente correta apenas no intervalo compreendido entre os pontos zero e 50 mg kg<sup>-1</sup> de P por meio de uma equação de segundo grau. A segunda parte foi descrita ligando-se os pontos correspondentes a 50 e 150 mg kg<sup>-1</sup> de P por meio de uma função linear com tendência decrescente. Esse comportamento decrescente da matéria seca com o aumento das doses de P foi repetidamente descrito na literatura para as mais variadas plantas (Cardoso et al., 1986; Antunes & Cardoso, 1991; Melloni et al., 2000; Nogueira & Cardoso, 2000), refletindo depressão do crescimento de plantas micorrizadas na presença de determinados endófitos, quando a dose de P mostrou-se muito elevada para o endófito em questão.

Assim, na presença de *G. rosea*, haverá plantas alcançando seu desenvolvimento máximo em pequena dose de P, o que torna seu cultivo economicamente viável. Sabe-se também que os solos brasileiros apresentam teores de P baixos, ambiente no qual *G. rosea* teria maior eficiência simbiótica. Resultados semelhantes, com a espécie *Gigaspora margarita*, promovendo melhor desenvolvimento de plantas em doses mínimas de P, foram também encontrados para café e jacarandá da Bahia (Colozzi-Filho & Siqueira, 1986; Antunes et al., 1988; Chaves et al., 1995). Deve-se ressaltar

que as espécies *G. rosea* e *G. margarita* não podem ser distinguidas por métodos morfológicos, embora pertençam a dois táxons geneticamente distintos, conforme evidenciado por Lanfranco et al. (2001).

A produção de matéria seca da raiz (dados não apresentados) e de matéria seca total da planta (Figura 2) seguirá tendências semelhantes às da parte aérea. Neste último caso, a maior diferença está no comportamento das plantas micorrizadas com *G. rosea*, cujo crescimento pode ser representado por uma curva quadrática, denotando acréscimos de matéria seca entre 0 e 75 mg kg<sup>-1</sup> de P e decréscimos entre este valor e 150 mg kg<sup>-1</sup> de P. Comportamento semelhante foi observado para *G. intraradices*, que, entretanto, atingiu o ponto de máximo somente na dose teórica de 120 mg kg<sup>-1</sup> de P.

#### Dependência e eficiência micorrízica

A dependência micorrízica (DM), calculada com base na matéria seca total, variou de 24 %, para plantas com *G. intraradices*, a 59 e 61 %, respectivamente, para as inoculadas com a mistura de FMA ou com *G. rosea*, na ausência de fósforo (Figura 3a). Já na dose de 20 mg kg<sup>-1</sup> de P, plantas inoculadas com *G. rosea* apresentaram a maior DM (75 %). Na maior dose de P, foram as plantas inoculadas com *G. intraradices* que apresentaram a maior DM (43 %).

Analizando a eficiência micorrízica dos três FMA utilizados, verificou-se que *G. rosea*, na dose de 20 mg kg<sup>-1</sup> de P, destaca-se dos outros endófitos em qualquer dose de P, com o valor máximo de 299 % (Figura 3b), o que vem reforçar a recomendação do emprego de *G. rosea* no preparo de mudas de araucária que se destinem ao plantio em terrenos pobres em fósforo, sem a exigência de grande investimento com insumos na forma de fertilizantes fosfatados. Com a combinação do uso de *G. rosea* como inoculante e adubações próximas a 20 mg kg<sup>-1</sup> de P, poder-se-ia esperar um rendimento máximo das plantas.

Em diversos estudos com plantas micorrizadas, Silveira (1992) concluiu que o estímulo da captação de nutrientes e a posterior translocação destes à parte aérea causam, relativamente, menor transferência de fotossintatos à raiz e maior retenção na parte aérea, sendo utilizados na produção de matéria verde, em detrimento da raiz. Essa premissa levaria à expectativa de que nas plantas micorrizadas de araucária também ocorreria um crescimento preferencial da parte aérea em relação à raiz. Entretanto, observou-se exatamente o contrário, ou seja, a relação matéria seca de parte aérea/matéria seca de raiz diminuiu significativamente, quando foram comparadas as plantas colonizadas com qualquer um dos três FMA com as testemunhas, sem colonização (Quadro 1).

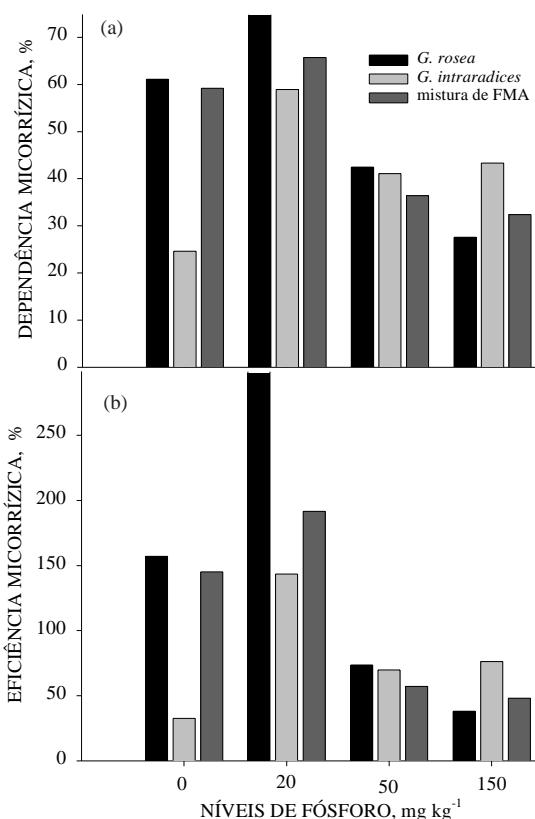
Já durante a colheita das plantas, chamou atenção o fato de que todas as plantas-controle, em

qualquer dose de P, apresentavam sistema radicular muito pequeno e incipiente, enquanto o sistema radicular das plantas micorrizadas era muito extenso e ocupava todo o volume do substrato nos vasos. O subdesenvolvimento radicular mostrou correlação com plantas de pequeno porte, folhas amareladas e galhos secos, enquanto as plantas micorrizadas eram sempre mais vigorosas, com folhas verde-escuras e aspecto saudável. Essas observações reforçam a conclusão de que a *Araucaria angustifolia* é uma espécie micotrófica e dependente (Plenquette et al., 1983) de FMA em todas as doses de fósforo estudadas.

#### Nutrientes na parte aérea

Os teores de nutrientes na parte aérea de plantas de araucária não se correlacionaram com o aumento das doses de fósforo aplicado. Plantas micorrizadas apresentaram menores teores de N e K do que as plantas-controle (Quadro 2), o que deve ser consequência do efeito diluição. Com relação ao teor de P na matéria seca foliar, as plantas-controle apresentaram menores teores que as plantas micorrizadas. A quantidade de P absorvido e acumulado pelas plantas aumentou com a dose de P adicionada ao solo (dados não apresentados), o que também foi observado em estudos com outras plantas (Cardoso et al., 1986; Melloni & Cardoso, 1999). Para os teores de Ca e Mg não houve efeito de fungos ou doses (Quadro 2).

Dentre os micronutrientes, o Fe e o Cu não apresentaram diferença significativa para cada espécie de FMA inoculada, enquanto, para o Mn, houve diferença nas médias observadas (Quadro 3). As plantas inoculadas com *G. rosea* e mistura de FMA nativos apresentaram menores teores, quando comparadas com as plantas inoculadas com *G. intraradices* e controle. Esses resultados revelam que estes endófitos poderiam ter alterado o estado de oxidação do Mn, o que poderia levar à alteração da sua absorção (Pacovsky & Fuller, 1986; Nogueira



**Figura 3. Dependência micorrízica (DM) (A) e eficiência micorrízica (EM) (B) em plantas de *Araucaria angustifolia* inoculadas com FMA (*Gigaspora rosea*, *Glomus intraradices* e mistura de FMAs nativos) e não inoculadas (controle), aos 12 meses do transplantio, considerando os níveis de P. DM = (matéria seca de planta micorrizada) - (matéria seca de planta não micorrizada)/matéria seca de planta micorrizada x 100 e EM = (matéria seca de planta micorrizada) - (matéria seca de planta não micorrizada)/matéria seca de planta não micorrizada x 100.**

**Quadro 2. Teores de N, P, K, Ca, Mg nas folhas de *Araucaria angustifolia* inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares (*G. rosea*, *G. intraradices* e mistura de FMA nativos) ou não inoculadas (controle), após um ano do transplantio, na média das doses de fósforo**

Inóculo	N	P	K	Ca	Mg
		g kg⁻¹			
Controle	17,5 a <sup>(1)</sup>	0,68 b	12,16 a	11,85 a	6,12 a
<i>Gigaspora rosea</i>	9,0 b	0,91 a	5,84 b	13,52 a	6,45 a
<i>Glomus intraradices</i>	10,9 b	0,95 a	8,25 b	12,86 a	6,43 a
Mistura de FMA	11,2 b	1,13 a	6,05 b	11,95 a	6,27 a
C.V. (%)	41,3	27,2	38,4	17,6	15,7

<sup>(1)</sup> Médias seguidas pela mesma letra, na vertical, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

**Quadro 3. Teores de Cu, Fe, Mn e Zn nas folhas de *Araucaria angustifolia* inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares (*G. rosea*, *G. intraradices* e mistura de FMA nativos) ou não inoculadas (controle), após um ano do transplantio, na média das doses de fósforo**

Inóculo	Cu	Fe	Mn	Zn
mg kg <sup>-1</sup>				
Controle	37,16 a	131,6 a	1.026,25 a	34,00 c
<i>Gigaspora rosea</i>	31,58 a	135,4 a	737,58 b	48,00 a
<i>Glomus intraradices</i>	27,66 a	129,9 a	1.019,75 a	40,91 b
Mistura de FMA	32,50 a	112,8 a	739,75 b	28,50 c
C.V. (%)	48,4	28,0	26,4	14,7

<sup>(1)</sup> Médias seguidas pela mesma letra, na vertical, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

& Cardoso, 2000). Alta concentração de P e, principalmente, a micorrização, podem causar diminuição da concentração de Mn em tecidos de soja (Cardoso, 1985; 1996; Nogueira & Cardoso, 2000).

O FMA *G. rosea*, seguido por *G. intraradices*, causou aumento na concentração de Zn na parte aérea das plantas (Quadro 3). Lambert et al. (1979) verificaram que os FMA podem ser responsáveis pela maior absorção desse elemento em pesseiros. Cardoso (1985) relatou o aumento da concentração de Zn em plantas de soja causado por FMA e a sua diminuição induzida por incrementos na dose de fósforo.

## CONCLUSÕES

1. *Araucaria angustifolia* é planta micotrófica e tem dependência micorrízica até a dose 150 mg kg<sup>-1</sup> de P, variando a taxa de colonização radicular e esporulação de acordo com a espécie de FMA.

2. A espécie *Gigaspora rosea* é indicada para baixos teores de P no solo e *Glomus intraradices* para teores mais elevados, enquanto os FMA nativos são benéficos ao crescimento da araucária em qualquer teor de P.

3. Independentemente da espécie de FMA, as plantas micorrizadas apresentaram maiores concentrações de P e menores de N e K que as não micorrizadas.

## AGRADECIMENTOS

À CAPES, pela bolsa de estudos à primeira autora; ao Dr. Marco Antonio Nogueira, pelas

sugestões, e aos técnicos Denise Lourdes Colombo Mescolotti e Luís Fernando Baldesin, do Laboratório de Microbiologia do Solo (Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP), pelos auxílios prestados durante a realização do experimento.

## LITERATURA CITADA

- ANTUNES, V. & CARDOSO, E.J.B.N. Growth and nutrient status of citrus plants as influenced by mycorrhiza and phosphorus application. *Plant Soil*, 131:11-19, 1991.
- ANTUNES, V.; SILVEIRA, A.P. & CARDOSO, E.J.B.N. Interação entre diferentes tipos de solo e fungos micorrízicos vesículo-arbusculares na produção de mudas de café. *Turrialba*, 38:117-122, 1988.
- BAREA, J.M.; AZCÓN, R. & AZCÓN-AGUILAR, C. Mycorrhiza and crops. *Adv. Plant Pathol.*, 9:167-189, 1993.
- BOWEN, G.D. Mycorrhizal roles in tropical plants and ecosystems. In: MIKOLA, P., ed. *Tropical mycorrhiza research*. Oxford, Oxford University Press, 1980. p.165-190.
- BREUNINGER, M.; EINIG, W.; MAGEL, E.; CARDOSO, E. & HAMPP, R. Mycorrhiza of Brazil pine (*Araucaria angustifolia* (Bert. O. Ktze.). *Plant Biol.*, 2:4-10, 2000.
- CARDOSO, E.J.B.N. Interaction of mycorrhiza, phosphate and manganese in soybean. In: AZCON-AGUILAR, C. & BAREA, J.M., eds. *Mycorrhizas in integrated systems from genes to plant development*. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, 1996. p.304-306.
- CARDOSO, E.J.B.N. Efeito de micorriza vesículo-arbuscular e fosfato-de-rocha na simbiose soja-*Rhizobium*. *R. Bras. Ci. Solo*, 9:125-130, 1985.
- CARDOSO, E.J.B.N.; ANTUNES, V.; SILVEIRA, A.P.D. & OLIVEIRA, M.H.A. Eficiência de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em porta-enxertos de citros. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:25-30, 1986.

- CHAVES, L.F.C.; BORGES, R.C.G.; NEVES, J.C.L. & REGAZZI, A.J. Crescimento de mudas de jacarandá-da-Bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. Allem.) em resposta a inoculação com fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em diferentes níveis de fósforo no solo. *R. Árvore*, 19:32-49, 1995.
- COLOZZI-FILHO, A. & SIQUEIRA, J.O. Micorrizas vesículo-arbusculares em mudas de cafeiro. I. Efeitos de *Gigaspora margarita* e adubação fosfatada no crescimento e nutrição. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:199-205, 1986.
- COLOZZI-FILHO, A. Dinâmica populacional de fungos micorrízicos arbusculares no agrossistema cafeiro e adubação verde com leguminosas. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1999. 106p. (Tese de Doutorado)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de métodos de análise de tecido vegetal, solo e calcário. Pelotas, EMBRAPA Clima Temperado. 1998. 208p.
- EZETA, F.N. & SANTOS, O.M. Importância da endomicorriza na nutrição mineral do cacau. *R. Bras. Ci. Solo*, 5:22-27, 1981.
- GERDEMANN, J.W. & NICOLSON, T.H., Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Brist. Mycol. Soc.*, 46:235-246, 1963.
- GIOVANETTI, M. & MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytol.*, 84:489-500, 1980.
- HETRICK, B.A.D. & WILSON, G.W.T. Effects of mycorrhizal fungus species and metalaxil application on microbial suppression of mycorrhizal symbiosis. *Mycologia*, 83:97-102, 1991.
- JANOS, D.P. Tropical mycorrhizae, nutrient cycles and plant growth. In: SUTTON, S.L.; WHITMORE, T.C. & CHADWICK, A.C., eds. Tropical rain forest. Oxford, Blackwell Scientific Publications, p.327-345, 1983.
- JANOS, D.P. Vesicular-arbuscular mycorrhizae affect lowland tropical rain forest plant growth. *Ecology*, 61:151-162, 1980.
- KOIDE, R.T. & LI, M. On host regulation of the vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytol.*, 114:59-74, 1990.
- LAMBERT, D.H.; BAKER, D.E. & COLE Jr., H. The role of mycorrhizae in the interactions of phosphorus with zinc, copper, and other elements. *Soil Sc. Soc. Am. J.*, 43:976-980, 1979.
- LANFRANCO, L.; BIANCIOTTO, V.; LUMINI, E.; SOUZA, M.; MORTON, J.B. & BONFANTE, P. A combined morphological and molecular approach to characterize isolates of arbuscular mycorrhizal fungi in *Gigaspora* (Glomales). *New Phytol.*, 152:169-179, 2001.
- MARX, D.H.; CORDELL, C.E.; KENNEY, D.S.; MEXAL, J.D.; ARTMAN, J.D.; RIFFLE, J.W. & MOLINA, R.J. Commercial vegetative inoculum of *Pisolithus tinctorius* and inoculation techniques for development of ectomycorrhizae on bare-root tree seedlings. *For. Sci.*, 30:1-101, 1984.
- 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. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:59-67, 1999.
- MELLONI, R.; NOGUEIRA, M.A.; FREIRE, V.F. & CARDOSO, E.J.B.N. Fósforo adicionado e fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e nutrição mineral de limoeiro-carvo (*Citrus limonia* (L.) Osbeck). *R. Bras. Ci. Solo*, 24:767-775, 2000.
- MILANEZ, F.R. & MONTEIRO NETO, H. Nota prévia sobre micorriza no pinheiro do Paraná. *Arq. Serv. Flor.*, 4:87-93, 1950.
- MOSSE, B.; STRIBLEY, D.P. & Le TACON, F. Ecology of mycorrhizal fungi. *Adv. Micr. Ecol.*, 5:137-210, 1981.
- MUCHOVEJ, R.M.C.; ALVES, A.C.; MUCHOVEJ, J.J. & KASUYA, M.C.M. Influência da inoculação com fungos ectomicorrízicos e MVA sobre o comportamento de mudas de *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE. *Hoehnea*, 19:9-18, 1992.
- NOGUEIRA, M.A. & CARDOSO, E.J.B.N. Produção de micélio externo de fungos micorrízicos arbusculares e crescimento da soja em função de doses de fósforo. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:329-338, 2000.
- OLIVEIRA, M. & VENTURA, A. A ocorrência de micorriza em *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE e *Podocarpus lamberti*. São Paulo, Serviço Florestal, 1952. 25p.
- PACOVSKY, R.S. Micronutrient uptake and distribution in mycorrhizal or phosphorus-fertilized soybeans. *Plant Soil*, 95:379-388, 1986.
- PACOVSKY, R.S. & FULLER, G. Development of two endomycorrhizal symbioses on soybean and comparison with phosphorus fertilization. *Plant Soil*, 95:361-377, 1986.
- PENG, S.; EISSENSTAT, D.M.; GRAHAM, J.H.; WILLIAMS, K. & HODGE, N.C. Growth depression in mycorrhizal citrus at high-phosphorus supply. *Plant Physiol.*, 101:1063-1071, 1993.
- PHILLIPS, J.M. & HAYMAN, D.S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for assessment of infection. *Trans. Brist. Mycol. Soc.*, 55:158-161, 1970.
- PLENCHETTE, C.; FORTIN, J.A. & FURLAN, V. Growth responses of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility. *Plant Soil*, 70:199-209, 1983.
- SILVEIRA, A.P.D. & CARDOSO, E.J.B.N. Efeito do fósforo e da micorriza vesículo-arbuscular na simbiose *Rhizobium*-feijoeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 11:31-36, 1987.
- SILVEIRA, A.P.D. Micorriza. 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.257-282.
- SMITH, S.E. & GIANINAZZI-PEARSON, V. Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 39:221-244, 1988.
- SOUZA, M.M.S.R. Ecofisiologia de fungos micorrízicos arbusculares em *Araucaria angustifolia*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2000. 108p. (Tese de Doutorado)
- SYLVIA, D.M. & WILLIAMS, S.E. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and environmental stress. In: BETHLENFALVAY, G.S. & LINDERMAN, R.G., eds. Mycorrhizae in sustainable agriculture. Madison, ASA Special Publication, 1992. p.101-124.
- VOGT, K.A.; DAHLGREN, R.A.; UGOLINI, F.; ZABOWSKI, D.; MOORE, E.E. & ZASOSKI, R.J. Aluminium, Fe, Ca, Mg, K, Mn, Cu, Zn and P in above and below-ground biomass. In: *Abies amabilis* and *Tsuga mertensiana*. Biogeochemistry, 4:277-294, 1987.