

Respostas de *Acacia mangium* Willd e *Sclerolobium paniculatum* Vogel a fungos micorrízicos arbusculares nativos provenientes de áreas degradadas pela mineração de bauxita na Amazônia

Ney Freitas Marinho¹, Ana Lucy Caproni², Avílio Antônio Franco³ e Ricardo Luís Louro Berbara^{1,4}

Recebido em 05/07/2002. Aceito em 28/07/2003

RESUMO – (Respostas de *Acacia mangium* Willd e *Sclerolobium paniculatum* Vogel a fungos micorrízicos arbusculares nativos provenientes de áreas degradadas pela mineração de bauxita na Amazônia). A resposta de *Acacia mangium* Willd (mangium) e *Sclerolobium paniculatum* Vogel (tachi) à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), oriundos de áreas em recuperação após a extração de bauxita, foi avaliada em experimento com delineamento inteiramente casualizado, com 14 tratamentos (duas espécies leguminosas e sete tipos de solo) e três repetições. Avaliou-se o número de esporos no solo, a colonização micorrízica, a matéria seca total, o P acumulado, a dependência micorrízica das mudas, e a abundância e a frequência de espécies. O número de propágulos infectivos (NPI) foi estudado em delineamento em blocos casualizados, com oito diluições de solo inóculo, cinco repetições e uma planta isca (*Brachiaria decumbens* Stapf). Utilizou-se substrato da mistura de um Planossolo mais areia lavada e fosfato de rocha araxá (0,60 g/kg). O número de esporos aumentou em função do tempo de cobertura das leguminosas. A colonização micorrízica foi mais intensa no tachi. Os valores de matéria seca dessa espécie foram inferiores aos de mangium, que por sua vez extraiu em torno de seis vezes mais P do substrato. Em geral, mangium, ao contrário do tachi, foi facultativa à presença dos FMA, sugerindo sua utilização na recuperação de áreas degradadas sem inoculação prévia. Dentre as 39 espécies de FMA identificadas, *Glomus macrocarpum* Tul. & Tul. apresentou maior índice de abundância e frequência (IAF) e maior NPI, destacando-se entre as espécies pioneiras, ao passo que outras apareceram apenas em estádios sucessionais mais avançados das áreas em recuperação.

Palavras-chave: diversidade, revegetação, recuperação de solos, endomicorrizas

ABSTRACT – (Responses of *Acacia mangium* Willd and *Sclerolobium paniculatum* Vogel to native arbuscular mycorrhizal fungi from remaining areas of bauxite mining in Amazon). The responses of *Acacia mangium* Willd (mangium) and *Sclerolobium paniculatum* Vogel (tachi) to arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculation collected from areas under reclamation after bauxite mining, was evaluated in an completely randomized design distributed in 14 treatments (two legume, species and seven soil types), with three replicates. Evaluated were the number of spores in the soil, the mycorrhizal colonization, the total dry matter, accumulated P, the mycorrhizal dependence of the seedlings and the abundance and the frequency of species. The number of infective propagules (NIP) was studied in a randomized block design, with eight dilutions of soil inoculum, five replicates and a trap plant (*Brachiaria decumbens* Stapf). Substratum of a Planosol, mixed with washed sand (1:1 v:v), and phosphate of rock Araxá (0.60 g/kg) was used. The number of spores increased in function of time covering of legumes. The mycorrhizal colonization was more intense in tachi. The values of dry matter of that species were inferior to the mangium, that extracted six times larger P of substratum. In general, mangium, contrary to tachi, was facultative to presence of AMF, suggesting the use in degraded areas without previous inoculation. Among the 39 species of identified AMF, *Glomus macrocarpum* Tul. & Tul. showed higher index of abundance and frequency (IAF) and higher NIP, standing among pioneering species, while others appeared only under more developed forest of the areas in reclamation.

Key words: diversity, revegetation, land reclamation, endomycorrhizas

Introdução

O uso de leguminosas arbóreas micorrizadas na revegetação de áreas degradadas possibilita a melhoria do solo pela adição de matéria orgânica ao solo com mínimo de investimento financeiro (Franco *et al.* 1995).

Entretanto, para que isso ocorra, é necessário identificar as espécies vegetais e fungos micorrízicos arbusculares (FMA) que melhor se adaptem às condições, geralmente estressantes, do ambiente.

Acacia mangium Willd (mangium) é uma leguminosa arbórea procedente da região que abrange

¹ Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, CEP 23890-000, Seropédica, RJ, Brasil. Bolsa CNPq. (nfmario@hotmail.com; berbara@ufrj.br)

² Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, CEP 23890-000, Seropédica, RJ, Brasil. Bolsa CAPES. (alcaproni@zipmail.com)

³ Embrapa Agrobiologia, C. Postal 74505, CEP 23851-970, Seropédica, RJ, Brasil. Bolsa CNPq. (avilio@cnpab.embrapa.br)

⁴ Autor para correspondência: berbara@ufrj.br

Nova Guiné, Indonésia e Austrália, onde cresce em solos ácidos e com teor de fósforo muito baixo (National Research Council 1979; 1983). Essa espécie apresenta grande potencial para aportar matéria orgânica, nitrogênio e bases trocáveis no solo, além de produzir serapilheira de baixa relação C/N (Dias *et al.* 1994). Essas propriedades influenciam de forma positiva a manutenção da atividade biológica e a ciclagem de nutrientes em solos degradados. Os valores expressivamente altos de serapilheira que esta espécie pode depositar no solo permitem a formação de reservatório de matéria orgânica e nutrientes, essencial para o processo de revegetação (de Souza & Silva 1996).

Sclerolobium paniculatum Vogel (tachi) é uma leguminosa arbórea micotrófica comum no Brasil, distribuindo-se na região amazônica, oeste da Bahia, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. A planta é rústica e apresenta bom potencial de crescimento nestas regiões, sendo recomendada para reflorestamentos heterogêneos em áreas degradadas (Lorenzi 1992).

O estabelecimento de leguminosas micorrizadas e noduladas, em áreas remanescentes de mineração da bauxita, tem sido observado com sucesso em Porto Trombetas, PA. Franco *et al.* (1996) verificaram que essas espécies crescem em rejeito de bauxita desde que micorrizadas, noduladas e fertilizadas com P, K, Ca, Mg, S e micronutrientes, possibilitando o posterior estabelecimento de espécies nativas, por regeneração natural, a partir da serapilheira depositada. De acordo com estes autores, a revegetação dessas áreas é possível com algumas espécies fixadoras de nitrogênio, sem a necessidade de adicionar a camada superficial orgânica proveniente da floresta primária.

Em regiões de mineração, além da perda da vegetação natural, verifica-se movimentação muito intensa do solo no local de abertura da lavra, podendo apresentar volumes de rejeito capazes de contribuir para a degradação do ambiente. A perda de matéria orgânica é a pior consequência deste processo, pois além de prejudicar a estrutura do solo, torna insuficiente a atividade biológica, a disponibilidade de água e o suprimento de nutrientes às plantas, como o fósforo (Franco *et al.* 1995).

Os efeitos positivos das associações micorrízicas na estruturação dos solos, na ciclagem de nutrientes e no crescimento de plantas têm sido amplamente documentados (Varma & Hock 1995; Smith & Read 1997). Essas associações são importantes para a sucessão e reabilitação de solos degradados (Franco *et al.* 1992; Janos 1996; Haselwandter & Bowen 1996)

e, portanto, podem ser utilizadas para espécies florestais nativas em solos de baixa fertilidade natural, ou degradados pela atividade de mineração (Siqueira *et al.* 1998). A eficiência dos FMA pode variar com a dose de P aplicada ao solo, com as espécies de fungos e com a interação destes com os níveis de nutriente (Sylvia & Schenck 1983; Schubert & Hayman 1986).

A resposta da planta hospedeira aos FMA é afetada principalmente pelo ambiente (Brundrett *et al.* 1999), mas também é dependente da interação fungo-planta (Saggin-Júnior & Siqueira 1995). Estes efeitos podem ser observados diretamente pelo crescimento da planta hospedeira ou pela mudança na demanda interna de P (Koide 1991). Ainda não existe consenso quanto ao melhor indicador relacionado com a importância biológica de cada espécie de Fungo Micorrízico Arbuscular (FMA). Entretanto, o cálculo do índice de abundância e frequência (IAF), baseado na presença de esporos, tem sido usado para estimar a atividade destes fungos no ambiente natural (Koske *et al.* 1997).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as respostas de mudas de mangium e tachi à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares nativos de áreas degradadas em recuperação, após a extração de bauxita, em Porto Trombetas, PA.

Material e métodos

Foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ, localizado a 22°46' de latitude S e 43°41' de longitude W, com altitude de 33m. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é caracterizado como tropical chuvoso com inverno seco, tipo climático AW. As temperaturas mais elevadas se distribuem entre os meses de janeiro e fevereiro, enquanto a média mensal mais baixa ocorre no mês de julho. A temperatura da casa de vegetação foi mantida em 25°C, em média, e a umidade relativa do ar em torno de 45%.

O substrato utilizado foi obtido a partir de um Planossolo de textura arenosa. Como principais características, este solo apresenta baixos teores de matéria orgânica e nutrientes, baixa CTC, chegando a atingir até dois metros de profundidade. Este solo foi coletado de 20 a 40cm de profundidade, seco, peneirado e misturado na proporção de 1:1 (v:v) com areia lavada, mais 0,60g de fosfato de rocha araxá por kg da mistura (de Souza & Guerra 1998). Este substrato foi autoclavado em recipientes metálicos com capacidade para 5 a 7dm³, na temperatura de 121°C e pressão de 1,5atm, duas vezes por uma hora, com intervalo de um dia. A

análise química desta mistura de solos apresentou: pH 4,9 em água, Al^{+3} 0,3 $cmol_c.dm^3$, $Ca^{+2} + Mg^{+2}$ trocáveis 2,2 $cmol_c.dm^3$, extraídos com KCL 1 $mol.dm^3$; P 2,8 $mg.dm^3$, K 46,0 $mg.dm^3$ disponíveis em Mehlich-1 (Embrapa, 1979), reunindo características semelhantes aos solos inóculos provenientes da área de mineração (Tab. 1).

Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) foram obtidos de amostras de terra oriundas de um solo formado pela associação de Latossolo Amarelo e Argissolo Vermelho-Amarelo, localizado em áreas revegetadas após a mineração em Porto Trombetas, PA. As áreas apresentavam coberturas florestais com dois, quatro, seis, doze e dezesseis anos de idade, a céu aberto e após a reposição de horizonte superficial. Também foram coletadas amostras de uma área de floresta primária e uma área recente de mineração (estéril) ainda com o subsolo exposto e sem reposição de horizonte superficial. Amostras foram coletadas aleatoriamente, na profundidade de 0-20cm, resultando em quatro amostras compostas de dez subamostras em cada área. Uma parte das amostras foi separada para análise química, granulométrica, determinação da umidade (Tab. 1), densidade de esporos e identificação de espécies de FMA. Outra parte foi utilizada para os testes de potencial de inóculo.

Determinação de espécies autóctones - Anteriormente à identificação das espécies de FMA, separou-se, de cada amostra de terra das áreas de mineração, 100g para a avaliação do número de esporos. Sequencialmente foi feita a extração dos esporos pelo método de peneiramento úmido (Gerdemann & Nicolson 1963), seguido por centrifugação em gradiente de sacarose (Jenkins 1964). Logo após a extração, os esporos foram transferidos

para placas de Petri e contados com auxílio de microscópio estereoscópio (40×). Em seguida, os esporos foram acondicionados em lâminas com PVLG (álcool-polivinílico-lactoglicerol) para identificação das espécies que representam a população nativa de FMA. Este procedimento foi realizado com auxílio de microscópio de luz, através da morfologia dos esporos em comparação com a descrição das espécies em Schenck & Pérez (1988) e na página da International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM 2000).

Resposta de mangium e tachi à inoculação com FMA - A resposta de mangium e tachi à inoculação com FMA oriundos de áreas em recuperação após a extração de bauxita foi avaliada em um experimento com delineamento inteiramente casualizado, distribuído em 14 tratamentos (duas espécies de leguminosas e sete tipos de solo inóculo), com três repetições. Das amostras de terra da mineração, 40g foram acondicionadas, junto com o substrato, em vasos com capacidade de 1 dm^3 , para determinação do potencial de inóculo dos FMA presentes nestas amostras, em mudas de mangium e tachi.

Antes do semeio nos vasos foi necessário quebrar a dormência das sementes, imergindo-as em ácido sulfúrico (1 $mol.dm^3$) por 10 e 50 minutos, respectivamente, para mangium e tachi. Em seguida, as sementes foram lavadas em água destilada, secas à sombra e semeadas nos vasos. Após a germinação, foi feito desbaste, deixando-se apenas uma planta por vaso. A irrigação foi feita regularmente com água destilada, mantendo a umidade do substrato em torno 60% da capacidade de campo, até o momento da colheita.

Noventa dias após o plantio, as mudas foram colhidas e secas em estufa (60-70°C) até atingirem peso

Tabela 1. Resultados das análises químicas, mineralógicas e umidade das amostras de terra das áreas em recuperação após a mineração da bauxita (solo inóculo) em Porto Trombetas, PA.

Área	pH	P K		Ca	Mg	Ca+Mg	Al	AT	AG	AF	ST	ART	U
		mg.dm ³											
Estéril	4,3	2,0	27,0	-	-	0,5	0,4	18,0	17,0	1,0	19,0	63,0	16,8
2 anos	4,1	1,0	23,0	0,5	0,7	1,2	1,1	14,0	4,0	0,0	14,0	72,0	27,3
4 anos	4,1	3,0	32,0	0,8	0,9	1,7	1,2	5,0	74,0	0,0	21,0	74,0	29,6
6 anos	4,5	2,0	67,0	2,3	1,0	3,3	0,5	7,0	7,0	0,0	22,0	71,0	26,0
12 anos	4,2	2,0	53,0	0,7	0,6	1,3	1,1	5,0	4,0	1,0	21,0	74,0	28,1
16 anos	4,1	2,0	56,0	0,7	0,7	1,4	1,4	14,0	71,0	2,0	13,0	73,0	26,0
FP	3,8	2,0	37,0	-	-	0,7	1,9	77,0	76,0	1,0	6,0	17,0	22,9

AT: areia total; AG: areia grossa; AF: areia fina; ST: silte; ART: argila total; U: umidade; FP: floresta primária. Análises realizadas pela metodologia da Embrapa (1979). Fósforo extraído em Mehlich1.

constante. Em seguida, foram determinados a massa da matéria seca total (parte aérea e raízes) e o P acumulado. Uma parte das raízes foi separada do substrato, lavada e armazenada em álcool (50%) até o momento da determinação da colonização micorrízica. As raízes foram coradas de acordo com a metodologia descrita por Koske & Gemma (1989) e Grace & Stribley (1991), enquanto a porcentagem de colonização foi calculada pelo método de interseção dos quadrantes (Giovannetti & Mosse 1980).

Os valores de dependência micorrízica para *mangium* e *tachi* foram calculados de acordo com o índice relativo de dependência micorrízica (IRDM), a partir da massa da matéria seca total, conforme Plenchette *et al.* (1983). Estes valores foram determinados pelo massa da matéria seca de mudas micorrizadas menos o valor da massa da matéria seca de mudas não micorrizadas, dividido pela massa da matéria seca de mudas micorrizadas e multiplicados por 100.

A densidade de esporos de cada espécie de FMA nas amostras de terra das áreas avaliadas foi submetida ao cálculo do índice de abundância e frequência (IAF), conforme a metodologia proposta por Koske *et al.* (1997), sendo atribuídas, a estas espécies, quatro categorias de importância com base na contribuição para as áreas estudadas. Os valores de importância variam de: nenhum (IAF= 0), pouca ($0 < IAF \leq 10$), moderada ($10 < IAF \leq 30$) e alta ($IAF > 30$).

Avaliação do número de propágulos infectivos - O número de propágulos infectivos (NPI) foi avaliado em bioensaio em casa de vegetação, com delineamento em blocos casualizados, arranjados em oito níveis de diluição dos solos inóculos das áreas de mineração, feita na base quatro, sendo que o primeiro nível (4º) foi constituído de solo inóculo sem diluição (testemunha), com cinco repetições por diluição. Como planta multiplicadora foi utilizada a *Brachiaria decumbens* Stapf. Seguiu-se a metodologia sugerida por An *et al.* (1990), utilizando-se o protocolo descrito por Sierveding (1991), com modificações de acordo com de Souza & Guerra (1998). Após 180 dias, os esporos foram extraídos de 100g de substrato pelo método de peneiramento úmido (Gerdemann & Nicolson 1963), seguido por centrifugação em gradiente de sacarose (Jenkins 1964). Os esporos foram transferidos para placas de Petri e contados com auxílio de microscópio estereoscópio (40×). O NPI foi estimado pela presença e ausência das espécies identificadas através dos esporos no substrato em cada nível de diluição e repetição. As condições de casa de vegetação e o substrato utilizado

foram às mesmas para os dois experimentos.

Análises estatísticas - Foram realizadas com auxílio do Sistema para Análises Estatísticas e Genéricas (SAEG), versão 5.0 (Euclides 1983). Aplicou-se análise de variância, utilizando-se o teste F para testar a significância, e correlações de Pearson (r). Para os tratamentos cujo teste F foi significativo, compararam-se as médias pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Resultados e discussão

Determinação de espécies autóctones - No substrato estéril, sem retorno da camada orgânica, não foram detectados esporos de FMA (Fig. 1). Nos demais tratamentos, a densidade de esporos aumentou em função do tempo de cobertura com as leguminosas. Entretanto, na floresta nativa, a densidade de esporos foi menor do que em todas as áreas em recuperação. Esta observação se justifica pelo retorno do material orgânico ao substrato estéril quando do plantio. O número de esporos encontrados (Fig. 1) está dentro da faixa observada por Franco *et al.* (1996) em área estéril sem reposição e com reposição da camada superficial orgânica, que variou de 1 a 1.405/100g de solo seco, indicando a grande ocorrência de FMA nas áreas em recuperação e em processo de sucessão vegetal.

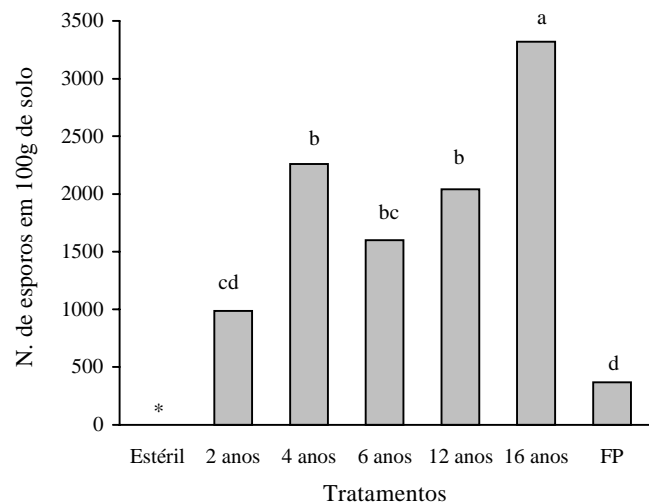


Figura 1. Número de esporos de FMA nas áreas em recuperação após 2, 4, 6, 12, e 16 anos com a mineração de bauxita em Porto Trombetas, PA. Médias seguidas com a mesma letra não diferem a 5% pelo teste de Tukey. *Esporos não detectados na primeira diluição no tratamento com inóculo proveniente do substrato estéril. FP: floresta primária.

A maior densidade de esporos encontrada nas áreas em recuperação do que na floresta primária deve estar relacionada aos desequilíbrios e estresses aos quais estas áreas foram sujeitas, quando comparadas com a floresta clímax, onde as condições ambientais são mais adequadas. Neste caso, não se encontrariam fortes estímulos à esporulação, uma forma de resistência e propagação, uma vez que, no início da sucessão, a taxa de produção de biomassa em geral é maior. O maior número de esporos no início da sucessão poderia também estar relacionado à disponibilidade de P no sistema, já que nas áreas em recuperação foi aplicado adubo. Balota & Lopes (1996) mostraram aumento na produção total de esporos com adubação fosfatada até o nível de 152g de fosfato natural/cova de café. Neste estudo, a média de densidade de esporos foi maior no tratamento com fosfato, o que poderia ser consequência de maior efeito residual e melhor aproveitamento deste fosfato pelos FMA para a produção de esporos.

As 39 espécies de FMA identificadas nas amostras de terra das áreas de mineração e floresta primária foram: *Acaulospora denticulata* Sieverding & Toro, *A. foveata* Trappe & Gerd., *A. mellea* Spain & Schenck, *A. morrowiae* Spain & Schenck, *A. rehmi* Sieverding & Toro, *A. scrobiculata* Trappe, *A. spinosa* Walker & Trappe, *A. tuberculata* Trappe, *Acaulospora* sp. 1, *Archaeospora gerdemanni* (Schenck & Nicolson) Morton, *Entrophospora colombiana* Spain & Schenck, *Entrophospora* sp. 1, *Entrophospora* sp. 2, *Glomus glomerulatum* Sieverding, *G. intraradices* Schenck & Smith, *G. invermaium* Hall, *G. claroideum* (Schenck & Smith) Walker & Vestberg, *G. macrocarpum* Tul. & Tul., *G. diaphanum* Morton & Walker, *G. nanolumem* Koske & Gemma, *G. clarum* Nicol. & Schenck, *G. microcarpum* Tul. & Tul., *G. etunicatum* Becker & Gerd., *G. reticulatum* Bhattacharjee & Mukerji., *G. formosanum* Wu & Chen, *G. geosporum* (Nicol. & Gerd.) Walker, *Glomus* sp. 1, *Glomus* sp. 2, *Glomus* sp. 3, *Glomus* sp. 4, *Gigaspora gigantea* (Nicol. & Gerd.) Gerd. & Trappe, *G. margarita* Becker & Hall, *Gigaspora* sp. 1, *Gigaspora* sp. 2, *Paraglomus occultum* (Walker) Morton & Redecker, *Scutellospora calospora* (Nicol. & Gerd.) Walker & Sanders, *S. heterogama* (Nicol. & Gerd.) Walker & Sanders, *S. weresubiae* Koske & Walker, *Scutellospora* sp. 1.

O grande número de espécies micorrízicas encontradas indica a existência de algum equilíbrio estabelecido pelo processo de revegetação com mangium e tachi, o qual, posteriormente, ocasionou o repovoamento por outras espécies vegetais. Esta condição pode ter sido favorável para os FMA nativos

que colonizaram em maior número, o que permitiu melhor estabelecimento e distribuição, bem como o aumento da diversidade destas espécies no sistema em recuperação. Carrenho *et al.* (2001) verificaram que, à medida que espécies de plantas pioneiras cresceram em área de mata ciliar, as condições ambientais melhoraram, conseqüentemente, ocorreu a instalação de maior número de espécies micorrízicas com potencial hospedeiro, o que favoreceu maior riqueza da comunidade de FMA.

Resposta de mangium e tachi à inoculação com FMA - As raízes de mangium e tachi crescidas no tratamento com substrato estéril apresentaram-se isentas de colonização micorrízica (Tab. 2). A colonização micorrízica das raízes de mangium foi semelhante em todos os tratamentos com terra das áreas em recuperação. Apesar da grande variação na densidade de esporos nestas áreas, as mudas de mangium apresentaram crescimento similar provavelmente devido à baixa colonização das raízes (Tab. 2). Isto pode ser decorrência da menor dependência de mangium à associação micorrízica. Faria *et al.* (1996) verificaram que em solos não fumigados a taxa de colonização das raízes de mudas de mangium foi de 18%, em média, não diferindo das mudas com e sem inoculação com *Glomus etunicatum*, em qualquer dose de P adicionado. Resposta muito baixa de mudas de mangium, inoculadas com *Glomus etunicatum*, quando comparado com outras espécies vegetais, também foi observado por Siqueira *et al.* (1995). Nas mudas do tachi, a colonização micorrízica variou de 29,3 a 64,8% (Tab. 2) e, com exceção do valor de colonização micorrízica registrado no tratamento com inóculo de seis de reflorestamento, a inoculação dos FMA nativos não resultou em diferenças significativas para os demais tratamentos em que foram crescidas as mudas do tachi. Entretanto, os valores de colonização micorrízica desta espécie foram cerca de duas vezes maiores, comparados aos que foram verificados nas raízes de mangium.

A colonização micorrízica apresentou correlação positiva com o número de esporos das raízes de mangium ($r = 0,86$ $p \leq 0,01$) e tachi ($r = 0,59$ $p \leq 0,01$), ao contrário do observado por Abbott & Robson (1991), onde o potencial de inóculo natural apresentou baixa correlação com a densidade total de esporos no solo. Os autores atribuíram o fato a outras fontes de inóculo, tais como micélio e fragmentos de raízes colonizadas pelos fungos. Correlação positiva apresentada entre a colonização micorrízica e o número de esporos indica que o aumento de esporos nas áreas em recuperação representa dife-

Tabela 2. Potencial de inóculo de FMA oriundos de áreas em recuperação após mineração de bauxita em Porto Trombetas, PA, na colonização das raízes, produção de matéria seca, acumulação de fósforo e dependência micorrízica em mudas de mangium e tachi, 90 dias após o plantio.

Tratamentos ¹	Colonização		Peso da matéria seca		P matéria seca		IRDM ²	
	mangium	tachi	mangium	tachi	mangium	tachi	mangium	tachi
	%		g.planta ⁻¹		mg.planta ⁻¹		%	
Estéril	- ³	-	4,9 a	1,4 c	7,4 a	1,7 a	0	0
2 anos	15,4 a ⁴	29,3 bc	5,6 a	1,9 bc	9,6 a	2,0 a	13,1	26,9
4 anos	21,3 a	39,5 bc	4,3 a	3,3 ab	8,7 a	2,5 a	0	59,1
6 anos	18,3 a	64,8 a	5,1 a	3,8 a	8,9 a	3,6 a	3,4	64,1
12 anos	26,0 a	45,0 b	4,7 a	2,8 abc	8,1 a	2,4 a	0	52,0
16 anos	24,1 a	39,6 bc	4,8 a	2,6 abc	7,2 a	3,2 a	0	47,1
FP ⁵	13,2 a	31,4 bc	5,2 a	2,1 bc	11,0 a	2,1 a	6,7	36,1

¹Idade dos reflorestamentos após a mineração de bauxita; ²IRDM: índice relativo de dependência micorrízica; ³(-): não detectados na primeira diluição; ⁴FP: floresta primária. Médias nas colunas seguidas da mesma letra não diferem a 5% pelo teste de Tukey.

rentes estratégias de colonização dos FMA, associado ao grau de micotrofismo de mangium e tachi, o qual regula o nível de colonização das raízes destas espécies.

Não houve diferenças no acúmulo de matéria seca total (parte aérea e raízes) de mangium entre os tratamentos com FMA nativos. O tachi, por outro lado, apresentou diferenças entre os valores de massa de matéria seca, sendo que foi significativo apenas no tratamento com inóculo de FMA aos seis anos (Tab. 2). Entretanto, os valores de matéria seca de tachi foram cerca de duas vezes menores, comparados aos valores apresentados pelas mudas de mangium. Correlação negativa ($p \leq 0,01$) foi observada entre a massa de matéria seca e a colonização micorrízica das raízes de mangium, sinalizando para uma baixa dependência desta espécie para mobilizar nutrientes do solo, embora tenha sido colonizada pelos FMA.

Não foi notada diferença significativa entre os valores de P absorvido e acumulado pelas mudas em todos os tratamentos, tanto para mangium, quanto para tachi. Entretanto, o P disponível no substrato foi extraído em torno de seis vezes mais pelas mudas de mangium (Tab. 2). Respostas semelhantes, apresentadas para o aumento de matéria seca e P pelas mudas de mangium, em todos os tratamentos com adição de fosfato de rocha, concordam com o observado por Dias *et al.* (1990), que registraram resposta linear de mangium à aplicação de fósforo, quando não inoculada com FMA. Vadez *et al.* (1995) verificaram pequenos ganhos no crescimento de mudas de mangium a partir da dose com 60mg de P/kg de solo, indicando a baixa exigência desta espécie por este elemento. Sun *et al.* (1992) afirmaram que genótipos de mangium apresentam respostas

diferentes a P, chegando a mostrar resposta negativa com a aplicação de doses elevadas. Reduções no crescimento de mangium em função de níveis elevados de P também foram observadas por Daniel *et al.* (1997).

Considerando o P disponível no substrato de crescimento ($2,8\text{mg}/\text{dm}^3$), as mudas de mangium que receberam inóculo oriundo dos reflorestamentos de dois, seis anos e floresta primária apresentaram valores baixos do índice relativo de dependência micorrízica (IRDM), de modo que estes não foram diferentes dos tratamentos onde o IRDM foi igual a zero (Tab. 2). Na mesma condição de disponibilidade de P em que foram crescidas as mudas de mangium, as do tachi apresentaram valores do IRDM mais elevados (Tab. 2), com destaque para o tratamento que recebeu inóculo de FMA da área com seis anos de reflorestamento, onde foi verificado o maior valor do IRDM. As mudas de mangium e tachi crescidas no substrato estéril não foram submetidas ao cálculo do IRDM, pelo fato de apresentarem-se isentas de micorrização. Correlação positiva ($r = 0,94$ $p \leq 0,01$) foi registrada entre o IRDM e a colonização micorrízica do tachi, indicando que esta espécie foi mais dependente à presença dos FMA em relação a mangium.

Dessa forma, essa espécie pode ser considerada facultativa à presença de FMA, sugerindo a possibilidade de sua introdução em áreas degradadas, sem a necessidade de se fazer inoculação prévia. Esta característica justificaria seu rápido crescimento nas mais diferentes condições de solo e clima (Barnet & Catt 1991). Quando comparadas com as mudas de mangium, as de tachi apresentaram desenvolvimento inicial mais lento em substratos sem matéria orgânica

(Franco *et al.* 1995). Estes autores também observaram que essa espécie apresentou, em condições de campo, taxa de crescimento inicial muito lenta, mesmo com a adição de composto de esterco bovino. Estas observações, aliadas ao fato do tachi ter respondido positivamente à micorrização, explicaria a grande dificuldade de produção de mudas observada em substratos menos ricos em matéria orgânica e sem inoculação com FMA. De maneira geral, o nível de fosfato aplicado ao substrato (0,60g/kg) não inibiu a micorrização de mangium e tachi, embora estas espécies tenham apresentado respostas diferenciadas aos FMA nativos.

Abundância, frequência e número de propágulos infectivos de FMA - No presente trabalho foram avaliados a abundância e a frequência através do índice de abundância e frequência (IAF) e o número de propágulos infectivos (NPI) das espécies nativas de FMA, presentes nas áreas em recuperação. A maioria das espécies de FMA, dentre as 39 identificadas, mostraram baixo ou nulo IAF e não estavam presentes em todas as áreas avaliadas, indicando que o ambiente estudado apresentava fatores limitantes à expressão da capacidade gênica destes fungos em se estabelecer. As espécies de FMA que apresentaram baixo IAF e NPI indicaram pouca adaptação às áreas de mineração,

Tabela 3. Índice de abundância e frequência (IAF) e valor de importância (VI) das espécies de FMA nativas mais representativas das áreas em recuperação após a mineração de bauxita em Porto Trombetas, PA.

Espécies de FMA	2 anos		4 anos		6 anos		12 anos		16 anos		FP ¹	
	IAF	VI	IAF	VI	IAF	VI	IAF	VI	IAF	VI	IAF	VI
<i>Acaulospora foveata</i>	27	MD	5,8	PC	-	-	5,0	PC	-	-	8,3	PC
<i>A. mellea</i>	7	PC	6,0	PC	14,8	MD	6,6	PC	11,9	MD	7,3	PC
<i>A. tuberculata</i>	21	MD	2,7	PC	-	-	7,3	PC	14,9	MD	-	-
<i>Glomus claroideum</i>	37	AT	3,0	PC	-	-	-	-	3,2	PC	-	-
<i>G. etunicatum</i>	-	-	-	-	17,0	MD	15,8	MD	15,0	MD	11,7	MD
<i>G. geosporum</i>	-	-	11,7	MD	4,1	PC	-	-	-	-	10,9	MD
<i>G. glomerulatum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	6,4	PC	-	-
<i>G. macrocarpum</i>	36	AT	79,1	AT	96,0	MD	52,2	AT	85,1	AT	76,2	AT
<i>G. nanolumem</i>	-	-	5,5	PC	-	-	23,8	MD	10,1	MD	3,9	PC
<i>G. reticulatum</i>	-	-	2,8	PC	-	-	25,8	MD	10,2	MD	10,6	MD
<i>Glomus</i> sp. 1	7	PC	19,3	MD	20,5	MD	-	-	-	-	12,9	MD
<i>Scutellospora calospora</i>	3,4	PC	14,0	MD	17,7	MD	3,0	PC	3,1	PC	-	PC

¹FP: floresta primária; (-): nenhum (IAF = 0); PC: pouca (0 < IAF ≤ 10); MD: moderada (10 < IAF ≤ 30); AT: alta (IAF > 30).

Tabela 4. Número de propágulos infectivos (NPI) das espécies mais representativas de FMA nas áreas em recuperação após a mineração de bauxita em Porto Trombetas, PA, estimado pela técnica do número mais provável (NMP), 180 dias após o cultivo de *Brachiaria decumbens* Stapff.

Espécies	2 anos	4 anos	6 anos	12 anos	16 anos	FP ¹
<i>Acaulospora foveata</i>	3,0	²	0,2	0,2	0,7	0,4
<i>A. mellea</i>	3,0	-	6,9	20,9	600,9	-
<i>A. tuberculata</i>	1,3	-	0,2	1,3	6,9	1,7
<i>Glomus claroideum</i>	9,1	-	-	-	0,2	0,2
<i>G. etunicatum</i>	0,2	-	1.333,9	255,1	2691,0	600,9
<i>G. geosporum</i>	-	-	110,5	63,2	252,7	793,1
<i>G. glomerulatum</i>	-	-	447,1	1,3	447,1	793,1
<i>G. macrocarpum</i>	13962,9	-	18425,1	4951,2	13963,9	4951,2
<i>G. nanolumem</i>	-	-	0,2	2,3	-	0,5
<i>G. reticulatum</i>	-	-	1,7	600,9	0,7	2691,0
<i>Glomus</i> sp. 1	0,2	-	-	6,9	0,2	-
<i>Scutellospora calospora</i>	-	-	-	-	-	-

Cada valor corresponde ao total estimado de propágulos de FMA (esporos, hifas e raízes com presença de estruturas fúngicas no interior) em 100g de solo seco; ¹FP: floresta primária; ²(-): NPI não recuperados na primeira diluição.

enquanto as que apresentaram os maiores valores para esses parâmetros (Tab. 3 e 4) indicaram estarem mais adaptadas a essas áreas. No entanto, algumas espécies de FMA foram encontradas nos estádios iniciais da sucessão, como *Acaulospora foveata*, *A. tuberculata* e *Glomus claroideum*, enquanto outras surgiram apenas em estádios sucessionais mais avançados (Tab. 3). Esta característica, que relaciona a distribuição de espécies como uma função do tempo da sucessão vegetal, também foi registrada por Caproni *et al.* (2003). Entretanto, com o tempo de revegetação, diferentes espécies de plantas influenciam em mudanças na composição da comunidade de FMA (Gaur *et al.* 1998).

Glomus macrocarpum destacou-se das demais espécies em todas as áreas avaliadas, apresentando os maiores valores para o IAF e para o NPI (Tab. 3 e 4). Os resultados mostraram que houve relação positiva entre esses parâmetros para *G. macrocarpum*, indicando grande capacidade de adaptação desta espécie nas áreas em processo de recuperação. O amplo predomínio desta espécie, destacando-se em todos os estádios da sucessão como espécie pioneira, indica a existência, até os quatro anos, de nível elevado de perturbação. Ao longo da sucessão, entretanto, observa-se redução relativa de sua população, sugerindo que este ambiente evolui à condição de maior estabilidade. Tal fato sugere que esta espécie deva ser testada quanto ao seu uso como inoculante de espécies arbóreas, uma vez que se estabelece bem em ambientes em recuperação e perturbados. Com isso, mudas mais responsivas à micorrização, como o tachi, podem ser favorecidas pela presença de espécies pioneiras de FMA nativos na aquisição de P para o crescimento inicial em áreas degradadas.

Agradecimentos

Ao CNPq, CAPES, Embrapa Agrobiologia e à Mineração Rio do Norte, pelos apoios estrutural e financeiro.

Referências bibliográficas

Abbott, L. K. & Robson, A. D. 1991. Factors influencing the occurrence of vesicular arbuscular mycorrhizas. **Agriculture, Ecosystems and Environment** **35**: 121-150.

An, Z. Q.; Hendrix, J. W.; Hershman, D.E. & Henson, G.T. 1990. Evaluation of the "most probable number" (MPN) and wet-sieving methods for determining soil-borne population of endogonaceous mycorrhizal fungi. **Mycologia** **85**(5): 576-581.

Balota, E. L. & Lopes, E. S. 1996. Seasonal fluctuation of roots, colonization and arbuscular mycorrhizal associated fungi. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** **20**: 225-232.

Barnet, Y. M. & Catt, P. C. 1991. Distribution and characteristics of root-nodule bacteria isolated from Australian *Acacia* spp. **Plant and Soil** **135**: 109-120.

Brundrett, M. C.; Abbott, L. K. & Jasper, D. A. 1999. Glomalean mycorrhizal fungi from tropical Australia. I. Comparison of the effectiveness and specificity of different isolation procedures. **Mycorrhiza** **8**: 305-314.

Caproni, A. L.; Franco, A. A.; Berbara, R. L. L.; Trufem, S. B.; Granha, J. R. & Monteiro, A. B. 2003. Ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares em áreas reflorestadas remanentes da mineração de bauxita em Porto Trombetas, PA. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** **38**: 1409-1418.

Carrenho, R.; Trufem, S. F. B. & Bononi, V. L. R. 2001. Fungos micorrízicos arbusculares em rizosferas de três espécies de fitobiontes instaladas em área de mata ciliar revegetada. **Acta Botanica Brasílica** **15**(1): 115-124.

Daniel, O.; Vitorino, A. C. T.; Alovisei, A. A.; Mazzachin, L.; Tokura, A. M.; Pinheiro, E. R. & Souza, E. F. 1997a. Aplicação de fósforo em mudas de *Acacia mangium* Willd. **Revista Árvore** **21**: 163168.

de Souza, F. A. & Silva, E. M. R. 1996. Micorrizas arbusculares na revegetação de áreas degradadas. Pp. 255-290. In: J.O. Siqueira (ed.). **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas**. Universidade Federal de Lavras, Lavras.

de Souza, F. A. & Guerra, J. G. M. 1998. **Emprego da técnica do número mais provável (NMP) no estudo de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs)**. Série Circular Técnica 2, Embrapa Agrobiologia, Seropédica.

Dias, L. E.; Franco, A. A. & Campelo, E. F. C. 1994. Dinâmica da matéria orgânica e de nutrientes em solo degradado pela extração de bauxita e cultivado com *Eucalyptus pellita* e *Acacia mangium*. Pp. 515-525. In: M. Balensiefer; A. J. de Araújo & N. C. Rosot (eds.). **Anais Simpósio Sul-Americano I e Simpósio Nacional II de Recuperação de Áreas Degradadas**. FUPEF, Curitiba.

Embrapa. 1979. **Manual de métodos de análise de solo**. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. SNLCS, Rio de Janeiro.

Euclides, R. F. 1983. **Manual de utilização do programa SAEG** (Sistema Para Análises Estatísticas e Genéricas). Imprensa Universitária, Viçosa, MG.

Faria, M. P.; Siqueira, J. O.; Vale, F. R. do. & Curi, N. de. 1996. Crescimento inicial da Acácia em resposta a fósforo, nitrogênio, fungo micorrízico e rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** **20**: 209-216.

Franco, A. A.; Campello, E. F. C.; Dias, L. E. & Faria, S. M. de. 1996. **Uso de leguminosas associadas a microrganismos na revegetação de áreas de mineração em Porto Trombetas, PA**. Série Documentos. Embrapa Agrobiologia, Itaguaí.

- Franco, A. A.; Dias, L. E.; Campello, E. F. C.; Silva, E. M. R. da & Faria, S. M. de 1995. Uso de leguminosas florestais noduladas e micorrizadas como agentes de recuperação e manutenção da vida no solo: Um modelo tecnológico. Pp. 459-467. In: F. Esteves (ed.). **Oecologia Brasilienses**. UFRJ, Rio de Janeiro.
- Franco, A. A.; Campello, E. F. C.; Dias, L. E. & Faria, S. M. de. 1994. Revegetação de áreas de mineração de bauxita em Porto Trombetas, PA com leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas. Pp. 145-154. In: M. Balensiefer; A. J. de Araújo & N. C. Rosot (eds.). **Anais Simpósio Sul-Americano I e Simpósio Nacional II de Recuperação de Áreas Degradadas**. FUFPEF, Curitiba.
- Franco, A. A.; Campello, E. F. C.; Silva, E. M. R. da & Faria, S. M. de 1992. **Revegetação de solos degradados**. Comunicado Técnico Embrapa Solos, Rio de Janeiro.
- Gaur, A.; Sharma, M. P.; Adholeya, A. & Chauhan, S. 1998. Variation in the spore density and percentage of root length of tree species colonized by arbuscular mycorrhizal fungi at a rehabilitated waterlogged site. **Journal of Tropical Forest Science** 10(4): 542-551.
- Gerdemann, J. W. & Nicolson, T. H. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society** 46: 235-244.
- Giovannetti, M. & Mosse, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist** 84: 489-500.
- Grace, C. & Stribley, D. P. 1991. A safer procedure for routine staining of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Mycological Research** 95: 1160-1162.
- Haselwandter, K. & Bowen, G. D. 1996. Mycorrhizal relations in trees for agroforestry and land rehabilitation. **Forest Ecology and Management** 81: 1-17.
- INVAM. 2000. **International Culture Collection of Vesicular and Arbuscular Mycorrhizal Fungi. Species Description**. Morgantown, West Virginia Agriculture and Forestry Experimental Station. Home page. [http://invam.caf.wvu.edu]
- Janos, D. P. 1996. Mycorrhizas, succession and the rehabilitation of deforested lands in the humid tropics. Pp. 129-162. In: J. C. Frankland; N. Nagun & G. M. Gadd. (eds.). **Fungi and Environmental Change**. British Mycological Society, Cambridge.
- Jenkins, W. R. 1964. A rapid centrifugal flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Report** 48(9): 692.
- Koide, R. T. 1991. Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. **New Phytologist** 117: 365-386.
- Koske, R. E.; Gemma, J. N. & Jackson, N. 1997. Mycorrhizal fungi associated with three species of turfgrass. **Canadian Journal of Botany** 75: 320-332.
- Koske, R. E & Gemma, J. N. 1989. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. **Mycological Research** 92: 488-505.
- Lorenzi, H. 1992. **Árvores Brasileiras: Manual de identificação e cultivo de mudas arbóreas nativas do Brasil**. Editora Plantarum, Nova Odessa.
- National Research Council. 1983. **Mangium and other fastgrowing acacias for the humid tropics**. National Academy of Sciences National Research Council, Washington.
- National Research Council. 1979. **Tropical legumes: resources for the future**. National Academy of Sciences National Research Council, Washington.
- Plenchette, C.; Fortin, J. A. & Furlan, V. 1983. Growth responses of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P fertility. **Plant and Soil** 70: 199-209.
- Saggin-Júnior, O. J. & Siqueira, J. O. 1995. Evaluation of the symbiotic effectiveness of endomycorrhizal fungi for coffee tree. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 19: 221-228.
- Schenck, N. C. & Pérez, Y. 1988. **Manual for the identification of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi**. INVAM, Gainesville.
- Schubert, A. & Hayman, D. S. 1986. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. XVI. Effectiveness of different endophytes at different levels of soil phosphate. **New Phytologist** 103: 79-90.
- Sieverding, E. 1991. **Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems**. GTZ, Eschborn.
- Siqueira, J. O.; Curi, N.; Vale, F. R. do Ferreira, M. M. & Moreira, F. M. S. 1995. **Aspectos do solo, nutrição vegetal e microbiologia na implantação de matas ciliares**. Companhia Energética de Minas Gerais/ Universidade Federal de Lavras, CEMIG, Belo Horizonte, Lavras.
- Siqueira, J. O.; Carneiro, M. A. C.; Curi, N.; Rosado, S. C. S. da & Davide, A. C. 1998. Mycorrhizal colonization and mycotrophic growth of native wood species as related to successional groups in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management** 107(1-3): 241-252.
- Smith, S. E. & Read, D. J. 1997. **Mycorrhizal symbiosis** (2nd ed.). Academic Press, San Diego.
- Sun, J. S.; Simpson, R. J. & Sands, R. 1992. Nitrogenase activity of two genotypes of *Acacia mangium* as affected by phosphorus nutrition. **Plant and Soil** 144: 51-58.
- Sylvia, D. M. & Schenck, N. C. 1983. Application of super phosphate to mycorrhizal plants stimulates sporulation of phosphorus-tolerant vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist** 95: 655-661.
- Vadez, V.; Lim, G.; Durand, P. & Diem, H. G. 1995. Comparative growth and symbiotic performance of four *Acacia mangium* provenances from Papua and New Guinea in response to the supply of phosphorus at various concentrations. **Biology and Fertility of Soils** 19: 60-64.
- Varma, A. & Hock, B. 1995. (eds.). **Mycorrhiza: structure, function, molecular biology and biotechnology**. Springer-Verlag, Berlin.