

UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO INDUSTRIAL FERKAL NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Mimosa caesalpiniaefolia*, EM ESTÉRIL DE EXTRAÇÃO DE ARGILA, INOCULADAS COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E RIZÓBIO⁽¹⁾

A. Z. PRALON⁽²⁾ & M. A. MARTINS⁽³⁾

RESUMO

Realizou-se um experimento em casa de vegetação com o objetivo de avaliar os efeitos da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e, ou, rizóbio, associados à adição de resíduo da fabricação de ácido láctico (Ferkal), na produção de mudas de *Mimosa caesalpiniaefolia* (sabiá) em estéril de extração de argila. Foram utilizados vasos plásticos de 6 L que continham estéril de extração de argila, adicionado do resíduo Ferkal (nas concentrações de 0, 50, 100 e 200 g dm⁻³). Foram empregados seis tratamentos microbiológicos (FMAs nativos; FMA *Glomus clarum*; rizóbio; FMAs nativos + rizóbio; FMA *G. clarum* + rizóbio, e controle não inoculado). Após 103 dias, as mudas foram coletadas, e analisados o peso da matéria seca dos nódulos, a taxa de colonização micorrízica, o peso da matéria seca e os teores de N e P na parte aérea das mudas. Os resultados demonstraram que adição de Ferkal no tratamento-controle (sem inoculação) aumentou significativamente o teor de P. Entretanto, as melhores respostas foram obtidas nas mudas inoculadas com FMAs e, ou, rizóbio, que apresentaram, em relação ao controle, aumentos significativos no peso da matéria seca e nos teores de N e P da parte aérea das mudas, em quase todos os tratamentos inoculados. Os FMAs nativos foram mais eficientes que o FMA *G. clarum* em promover o crescimento de *M. caesalpiniaefolia*.

Termos de indexação: micorrizas, áreas degradadas, fósforo, nitrogênio.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada à Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF. Recebido para publicação em julho de 1999 e aprovado em agosto de 2000.

⁽²⁾ Mestre em Produção Vegetal pela Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF. CEP 28015-620 Campos dos Goytacazes (RJ).

⁽³⁾ Professor Associado, UENF/CCTA. Email: marco@uenf.br.

SUMMARY: *USE OF THE INDUSTRIAL WASTE FERKAL IN THE PRODUCTION OF Mimosa caesalpiniaefolia SEEDLINGS, IN DEGRADED SOIL FROM CLAY EXTRACTION AREAS, INOCULATED WITH ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI AND RHIZOBIUM*

An experiment was carried out under greenhouse conditions to evaluate the effects of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and, or rhizobium inoculation, with the addition of industrial waste from lactic acid production (Ferkal), on the growth of Mimosa caesalpiniaefolia. Plastic pots of 6 L of capacity were used, filled with degraded soil from clay extraction areas with four levels of the Ferkal residue (0, 50, 100 and 200 g dm⁻³). Six microbiological treatments were conducted: indigenous AMF; AMF Glomus clarum; rhizobium; indigenous AMF + Rhizobium; AMFG. clarum + Rhizobium; and, non-inoculated control. The results were evaluated 103 days after planting by measuring AMF colonization; dry matter of nodules in the roots; weight of dry matter and N and P contents in the shoots. The results showed that the addition of Ferkal in the control treatment led to a significant increase in dry matter production and P content. However, the best results were observed in plants inoculated with AMF and, or Rhizobium, showing significant increases in dry weight and N and P content in the shoot, in almost all the inoculated treatments. The indigenous AMFs were more efficient than the G. clarum in promoting plant growth.

Index terms: mycorrhizas, degraded areas, phosphorus, nitrogen.

INTRODUÇÃO

As perturbações naturais que ocorrem em um ambiente são fundamentais para a manutenção, rejuvenescimento e evolução da vida nos ecossistemas (Martinez-Ramos, 1985). Por outro lado, as alterações decorrentes da exploração de recursos minerais demonstram-se mais agressivas, resultando em ambientes com baixa ou nenhuma resiliência, geralmente necessitando de intervenção antrópica para o restabelecimento da vegetação (Redente et al., 1993). No processo de mineração, denomina-se estéril todo material que não apresenta teor satisfatório do elemento ou compostos em questão (Andrade, 1991).

A lavra ou mineração de argila provoca a degradação física do ambiente, muitas vezes de forma drástica, podendo provocar forte impacto visual, modificações na topografia, erosão do solo, assoreamento de drenagens, dentre outros eventos (Nau & Sevegnani, 1997; Balistieri & Aumond, 1997).

Outra fonte de perturbação ambiental é o descarte inadequado de resíduos industriais. A indústria PURAC- Síntese, localizada às margens do rio Paraíba do Sul, no município de Campos dos Goytacazes (RJ), que produz ácido láctico a partir de sacarose, gera diariamente grande quantidade de resíduos, para os quais se vem tentando estabelecer uma utilização racional dentro do sistema agropecuário. Dentre os principais resíduos sólidos produzidos, encontram-se o gesso e um

resíduo denominado "Ferkal". A similaridade entre os resíduos desperta o interesse na utilização do Ferkal para fins agrícolas, tendo em vista a comprovada viabilidade da aplicação do gesso no processo produtivo agrícola (Borkert et al., 1987; Braga et al., 1995).

Uma forma de recuperação de áreas degradadas consiste em promover sua revegetação com espécies adequadas a tal propósito. A escolha dessas espécies é de extrema importância, considerando as características limitantes dos solos degradados. As leguminosas, principalmente as de crescimento rápido, têm demonstrado alta capacidade de adaptação a áreas degradadas por inúmeros processos (Campello, 1999). As espécies da família das leguminosas são reconhecidas como eficientes melhoradoras das características físico-químicas do solo, pois promovem a produção de grande quantidade de biomassa, além de uma vasta exploração do subsolo pelo sistema radicular, acarretando a maior agregação do solo e aumentando a capacidade de retenção de água (Boni et al., 1994). As leguminosas também podem estabelecer uma dupla simbiose com bactérias diazotróficas, capazes de fixar nitrogênio atmosférico, e com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), sendo estas associações importantes em meios onde o nitrogênio e o fósforo são limitantes ao crescimento vegetal (Monteiro, 1990).

As micorrizas podem contribuir para o estabelecimento, desenvolvimento e crescimento de plantas reintroduzidas por meio do prolongamento

de suas raízes pelas hifas do fungo micorrízico, que aumentam a área de exploração rizosférica e proporcionam maior absorção de água e nutrientes, permitindo o crescimento vegetal em solos extremamente pobres. Solos que perderam sua camada fértil apresentam reduzidas quantidades de propágulos destes e de outros microrganismos, tornando a introdução de inóculos nestes solos importante do ponto de vista ecológico e de grande interesse tecnológico (Carneiro et al., 1997).

Apesar da importância das associações simbióticas em áreas degradadas em fase de recuperação, ainda são poucos os trabalhos sobre estas associações em espécies utilizadas para revegetar áreas mineradas. Ressalta-se, no entanto, o empenho com que o Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia – Embrapa Agrobiologia vem enfocando o tema. Notórios trabalhos contribuem para melhoria do “estado da arte” da recuperação de áreas degradadas, seja por meio de levantamentos de leguminosas arbóreas que nodulam e fixam nitrogênio (Franco & Faria, 1997), seja pela seleção de FMAs mais efetivos na absorção de nutrientes e água (Franco et al., 1989), seja por trabalhos que visam à seleção de espécies vegetais que promovam o rápido recobrimento do solo e a recuperação das propriedades físicas, químicas e biológicas das áreas degradadas (Franco et al., 1989; Campello, 1990; Monteiro, 1990; Campello, 1999).

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o crescimento de mudas de *Mimosa caesalpiniaefolia* (sabiá), inoculadas ou não com FMAs e, ou, rizóbio, crescidas em estéril de extração de argila, adicionado de quatro diferentes doses do resíduo industrial Ferkal.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em casa de vegetação no “campus” da Universidade Estadual do Norte Fluminense, em Campos dos Goytacazes (RJ), no período de 14/10/98 a 24/01/99. Foi utilizada a leguminosa arbórea *Mimosa caesalpiniaefolia* (sabiá).

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, em esquema fatorial 6 x 4 com três repetições, sendo seis tratamentos microbiológicos (FMAs nativos; FMA *Glomus clarum*; Rizóbio; FMAs nativos + rizóbio; FMA *G. clarum* + rizóbio; e controle não inoculado) e quatro doses de Ferkal. A unidade experimental foi composta de duas plantas por vaso.

As mudas foram produzidas em vasos de 6 L, desinfestados com álcool 70%. O estéril de extração de argila foi coletado a uma profundidade de 0-60 cm, de uma área pertencente à cerâmica Caco Manga Ltda., localizada no distrito de Ururai - Campos dos

Goytacazes (RJ), cujo solo é de formação aluvionar.

O resíduo Ferkal foi obtido junto à Indústria Purac-Sinteses. Algumas características químicas do resíduo encontram-se no quadro 1.

Tanto o estéril obtido na área de mineração de argila quanto o resíduo Ferkal foram postos a secar ao ar e passados em peneiras de 5 e 2 mm, respectivamente. Ao estéril foram adicionadas quatro doses do resíduo Ferkal (0, 50, 100 e 200 g dm⁻³ de estéril), sendo, a seguir, procedida à análise química do estéril com as diferentes doses de Ferkal adicionadas (Quadro 2).

Foi utilizada uma população nativa de FMAs, isolada de uma área de extração de argila, sendo identificadas as seguintes espécies: *Glomus macrocarpum*, *G. etunicatum* e *Entrophospora colombiana*. Utilizou-se também a espécie *G. clarum*, obtida da coleção da UENF. Os inóculos de FMAs foram previamente multiplicados em vasos de 6,0 L, que continham substrato esterilizado (mistura de solo e areia lavada na proporção de 2:1), utilizando-se como planta hospedeira a *Brachiaria decumbens*. Como fonte de inóculo para o experimento, foram utilizados 100 ml de uma mistura de solo que continha esporos e raízes colonizadas pelas espécies de FMAs (resultado da multiplicação dos FMAs). O inoculante específico à espécie de leguminosa (BR3405/BR3451) foi obtido junto ao CNPAB - EMBRAPA - Seropédica (RJ).

As sementes de sabiá tiveram sua dormência quebrada por meio de escarificação mecânica por lixamento. Em seguida, foram imersas em hipoclorito

Quadro 1. Características químicas do resíduo industrial “Ferkal”

| Característica | Valor |
|---|------------------------|
| pH (H ₂ O; 1:2,5) | 8,09 |
| N total (g dm ⁻³) ⁽¹⁾ | 49 |
| P total (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾ | 7.100 |
| P disponível (mg dm ⁻³) ⁽²⁾ | 8,43 |
| K total (mmol _c dm ⁻³) ⁽³⁾ | 6,66 |
| Ca total (mmol _c dm ⁻³) ⁽³⁾ | 8.600 |
| Mg total (mmol _c dm ⁻³) ⁽³⁾ | 350 |
| S total (mg dm ⁻³) ⁽³⁾ | 1,51 x 10 ⁵ |
| Na total (mmol _c dm ⁻³) ⁽³⁾ | 11,26 |
| Zn total (mg dm ⁻³) ⁽³⁾ | 5,23 |
| Cu total (mg dm ⁻³) ⁽³⁾ | 2,76 |
| Mn total (mg dm ⁻³) ⁽³⁾ | 139 |
| Fe total (mg dm ⁻³) ⁽³⁾ | 1781 |
| CaSO ₄ total (g dm ⁻³) ⁽³⁾ | 330 |

⁽¹⁾ Digestão sulfúrica. ⁽²⁾ Extrator Mehlich-1. ⁽³⁾ Digestão nitro-perclórica.

Quadro 2. Características químicas do estéril de extração de argila nas diferentes doses de Ferkal adicionadas no início (I) e no final (F) do experimento

| Característica | Dose de Ferkal adicionada ao estéril (g dm ⁻³) | | | | | | | |
|---|---|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 0 | | 50 | | 100 | | 200 | |
| | I | F | I | F | I | F | I | F |
| pH em H ₂ O | 5,27 | 5,42 | 7,26 | 7,60 | 7,60 | 7,81 | 7,80 | 7,91 |
| Matéria orgânica (g dm ⁻³) | 4,33 | n.d. ⁽⁴⁾ | 5,67 | n.d. | 7,00 | n.d. | 8,33 | n.d. |
| C (g dm ⁻³) | 2,67 | n.d. | 3,67 | n.d. | 4,00 | n.d. | 4,67 | n.d. |
| CE (dS m ⁻¹) | 0,19 | n.d. | 1,77 | n.d. | 1,78 | n.d. | 1,85 | n.d. |
| H + Al (mmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾ | 29,15 | n.d. | 1,65 | n.d. | 0,00 | n.d. | 0,00 | n.d. |
| P (mg dm ⁻³) ⁽²⁾ | 8,13 | 7,44 | 106,40 | 92,05 | 211,62 | 181,42 | 428,71 | 382,46 |
| K (mmol _c dm ⁻³) ⁽²⁾ | 42,20 | 44,98 | 49,04 | 55,31 | 49,29 | 59,49 | 55,22 | 52,17 |
| Ca (mmol _c dm ⁻³) ⁽³⁾ | 14,45 | 11,85 | 354,26 | 249,59 | 589,99 | 466,98 | 865,03 | 853,40 |
| Mg (mmol _c dm ⁻³) ⁽³⁾ | 19,56 | 10,10 | 21,89 | 13,41 | 22,54 | 12,21 | 24,79 | 20,02 |
| Na (mmol _c dm ⁻³) ⁽³⁾ | 0,26 | 0,21 | 0,26 | 0,15 | 0,26 | 0,15 | 0,25 | 0,18 |
| Zn (mg dm ⁻³) ⁽³⁾ | 3,99 | 5,18 | 3,00 | 4,58 | 3,87 | 4,37 | 3,57 | 4,04 |
| Cu (mg dm ⁻³) ⁽³⁾ | 3,07 | 3,33 | 2,94 | 3,21 | 2,95 | 2,98 | 2,33 | 2,38 |
| Mn (mg dm ⁻³) ⁽³⁾ | 18,0 | 18,37 | 18,35 | 21,48 | 24,32 | 23,84 | 30,82 | 29,55 |
| Fe (mg dm ⁻³) ⁽³⁾ | 300,0 | 330,48 | 183,59 | 240,86 | 126,99 | 161,51 | 56,71 | 73,18 |

⁽¹⁾ Acetato de cálcio 1 N pH 7,0. ⁽²⁾ Extrator Mehlich-1. ⁽³⁾ Extrator KCl 1 N. ⁽⁴⁾ Não determinado.

de sódio na concentração de 0,5%, durante 15 min. A inoculação com rizóbio foi feita, misturando-se água destilada ao inoculante, na proporção 1:1 (ml:g), formando uma pasta homogênea. Esta pasta foi misturada às sementes. A semeadura ocorreu em seguida, colocando-se cerca de 10 sementes em cada vaso, sendo duas por orifício de semeadura. A inoculação com FMAs foi feita durante este processo, adicionando-se a cada orifício aproximadamente 20 ml do inóculo, de acordo com o tratamento microbiológico.

Ao término da segunda semana após a semeadura, foi realizado um desbaste deixando-se apenas duas plântulas (mais vigorosas) por vaso.

A coleta das mudas ocorreu 103 dias após a semeadura. A parte aérea de cada planta foi colocada individualmente em sacos de papel e, em seguida, foi desidratada em estufa de ventilação forçada, a uma temperatura de 75°C, por aproximadamente 48 h (Malavolta et al., 1989). Uma vez desidratado, o material foi pesado, para determinação da matéria seca da parte aérea, e, em seguida, as amostras foram moídas em moinho do tipo Willey, passadas em peneira de 20 "meshes" e armazenadas em frascos hermeticamente fechados. Foram determinados os teores de N e P da parte aérea. O N foi determinado pelo método de Nessler (Jackson, 1958); o P foi determinado colorimetricamente pelo método do molibdato, após submeter o material vegetal à oxidação pela digestão sulfúrica (Malavolta et al., 1989).

Após lavagem em água, subamostras radiculares

foram coletadas e conservadas em álcool etílico 50%, para posterior avaliação da colonização micorrízica pelo método de interseção em placa de Petri reticulada (Giovannetti & Mosse, 1980).

A colonização radicular com rizóbio foi avaliada por meio da determinação do peso da matéria seca nodular.

O número de microrganismos solubilizadores de fosfato foi determinado através da contagem viável em placas de Petri, de acordo com procedimentos adotados por Nahas et al. (1994a).

Para todas as variáveis analisadas, foram ajustadas equações de regressão polinomial, em função das doses de Ferkal adicionadas, adotando-se os níveis de significância de 1(**), 5(*) e 10%(^). Utilizou-se o Sistema de Análise Estatística (SANEST), desenvolvido pelo CIAGRI (Centro de Informática na Agricultura) da Universidade de São Paulo.

Os dados referentes à percentagem de colonização micorrízica foram previamente submetidos à transformação: $\text{arc sen}(X/100)^{0,5}$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Colonização micorrízica

As doses de Ferkal influenciaram a taxa de colonização micorrízica, sendo ajustados modelos

quadráticos para os tratamentos com dupla inoculação (Figura 1), tendo os seguintes pontos máximos e respectivas doses do resíduo: FMAs nativo + riz. = 77,62%, com 120,34 g dm⁻³; FMA *G. clarum* + rizóbio = 68,36%, com 173,97 g dm⁻³. Para os tratamentos FMAs nativos e FMA *G. clarum*, ajustaram-se modelos lineares crescentes no intervalo de aplicação de Ferkal utilizado.

A maior taxa de colonização micorrízica nas mudas inoculadas com FMAs nativos frente ao FMA *G. clarum* pode ser decorrente da maior adaptabilidade do inóculo nativo às condições do substrato, que são determinantes no estabelecimento da simbiose, uma vez que os FMAs são mais específicos para às condições edafoclimáticas do que para o hospedeiro (Le Tacon et al., 1987; Franco & Faria, 1997).

Nodulação das raízes pelo rizóbio

As doses de Ferkal influenciaram o peso da matéria seca dos nódulos das mudas de sabiá (Figura 2). Os tratamentos para os quais se ajustaram modelos quadráticos apresentaram o ponto de máximo peso nodular na faixa compreendida entre a aplicação de 115 e 130 g dm⁻³ de Ferkal. Tal aspecto pode ser decorrente de alterações de pH e da disponibilidade de alguns nutrientes. A baixa nodulação em condições de acidez pode ser causada tanto pela acidez "per se", como pela deficiência de Ca. Lowther & Loneragan (1968) demonstraram que a iniciação nodular é altamente

afetada por baixas concentrações de Ca. A deficiência de Ca também prejudica a adsorção do rizóbio à superfície radicular, principalmente se combinada a elevadas concentrações de prótons (Siqueira & Franco, 1988; Marschner, 1995).

Por outro lado, a alcalinidade também exerce efeito detrimental sobre a nodulação. A análise química do substrato empregado revela a diminuição dos níveis de Fe com o aumento nas doses de Ferkal. Além de seu papel na fixação biológica de nitrogênio propriamente dita (enzimas do complexo nitrogenase, ferredoxina, hidrogenase, leg-hemoglobina), a deficiência de Fe afeta diretamente a massa nodular, principalmente pela diminuição da divisão das células corticais nos estádios iniciais do desenvolvimento nodular (Tang et al., 1992).

Matéria seca da parte aérea (MSPA)

A adição de Ferkal promoveu um aumento da MSPA das mudas de sabiá em todos os tratamentos (Figura 2), excetuando-se as mudas-controle, para as quais é apresentada a média de MSPA ao longo das quatro doses do resíduo. Foi ajustado um modelo linear crescente para o aumento de MSPA das mudas inoculadas com FMA *G. clarum*. Para os demais tratamentos, foram ajustados modelos quadráticos com os seguintes pesos máximos e respectivas doses do resíduo: FMAs nativos + rizóbio = 47,97 g, com 187,28 g dm⁻³; FMAs nativos = 38,24 g, com 148,60 g dm⁻³; FMA *G. clarum* + rizóbio = 25,62 g, com 146,77 g dm⁻³; rizóbio = 13,24 g, com 123,59 g dm⁻³.

Na ausência do resíduo, apesar de não haver influência significativa dos tratamentos microbiológicos, as mudas inoculadas com rizóbio apresentaram maior produção de MSPA. Tal comportamento pode ser atribuído a um efeito benéfico da fixação biológica de nitrogênio, que, segundo Souza & Silva (1996), é um dos elementos mais limitantes ao desenvolvimento de plantas em áreas degradadas.

O aumento nos teores de Ca, de matéria orgânica e principalmente de P, assim como a redução nos teores de Al, possivelmente acarretaram os incrementos na MSPA, apresentados pelas mudas de sabiá, com a adição de Ferkal. A tendência de queda nestes incrementos, demonstrada pelas curvas ajustadas, a partir de determinadas doses do resíduo, em alguns dos tratamentos microbiológicos, pode ser atribuída à contínua elevação do pH e às conseqüentes alterações na disponibilidade de nutrientes em condições de alcalinidade (Marschner, 1995). Santos et al. (1998), analisando um experimento com mudas de leguminosas, também concluíram que aumentos progressivos nos teores de P do substrato podem deprimir os benefícios da dupla inoculação, rizóbio x micorriza, ao hospedeiro.

A maior exploração do meio edáfico, promovida pela micorrização, torna a planta hospedeira mais hábil na competição por recursos, bem como mais

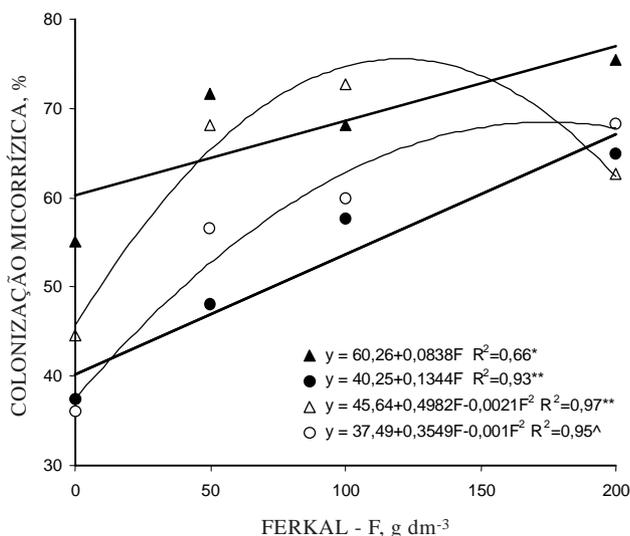


Figura 1. Percentagem do comprimento de raízes de *Mimosa caesalpiniaefolia* colonizadas por FMAs, nos diferentes tratamentos microbiológicos: FMAs nativos; ● FMA *G. clarum*; △ FMAs nativos + Rizóbio; ○ FMA *G. clarum* + Rizóbio, considerando as doses de Ferkal. Dados transformados: $\text{arc sen}(X/100)^{0,5}$. Significativos a 1(**), 5(*) e 10%(^).

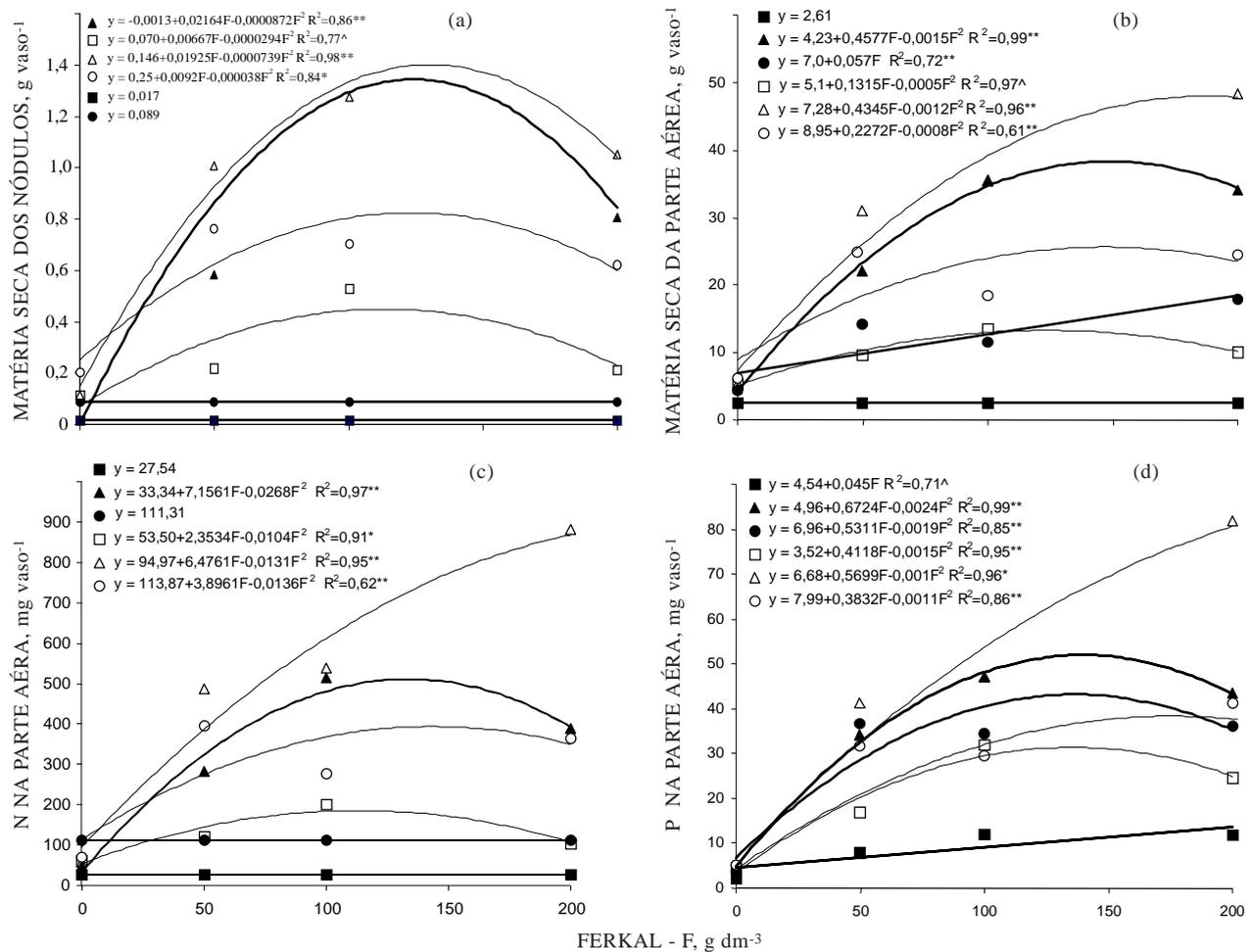


Figura 2. Peso da matéria seca de nódulos radiculares (a), peso da matéria seca da parte aérea (b), teores de nitrogênio (c) e fósforo (d) na parte aérea de *Mimosa caesalpiniaefolia*, nos diferentes tratamentos microbiológicos: ■ Controle; ● FMA *G. clarum*; □ FMAs nativos; ○ Rizóbio; ◊ FMA *G. clarum* + Rizóbio; e, △ FMAs nativos + Rizóbio, considerando as doses de Ferkal, adicionadas a estéril de extração de argila. Significativos a 1(**), 5(*) e 10%(^).

tolerante a condições adversas (Souza & Silva, 1996), sendo, provavelmente, esta a razão pela qual as mudas micorrizadas revelaram valores de MSPA superiores aos das mudas-controle.

A nodulação apresentada pelas mudas inoculadas com FMAs nativos e com FMA *G. clarum* justifica a equivalência destas mudas na produção de MSPA com as inoculadas com FMAs nativos + rizóbio e com FMA *G. clarum* + rizóbio, respectivamente. No presente estudo, o tratamento com inoculação de FMAs nativos + rizóbio selecionado mostrou estimativa para MSPA máxima, superior à da inoculação só com FMAs nativos, quando empregadas maiores doses de Ferkal.

Teores de N e P na parte aérea

Os teores de N e P na parte aérea das mudas de sabiá foram, de maneira geral, influenciados tanto

pelos tratamentos microbiológicos quanto pela adição de Ferkal (Figura 2). A adição do resíduo proporcionou um aumento gradual na concentração de P e aumentou os teores de carbono e de matéria orgânica do substrato (Quadro 2). O aumento expressivo na disponibilidade de P do substrato, em função do aumento das doses de Ferkal, pode estar relacionado com o aumento do número de microrganismos solubilizadores de fosfato do solo (Figura 3). Tal aumento pode ser devido ao aumento de pH do solo. Nahas et al. (1994b) demonstraram que o número de microrganismos produtores de fosfatases aumentou com a elevação do pH do solo.

A aplicação de Ferkal reduziu também a possibilidade de efeitos deletérios da presença de Al, além de elevar a disponibilidade de Ca. Todos estes fatores, isolados ou em conjunto, podem ter contribuído para os maiores teores dos elementos analisados na parte aérea das mudas de sabiá.

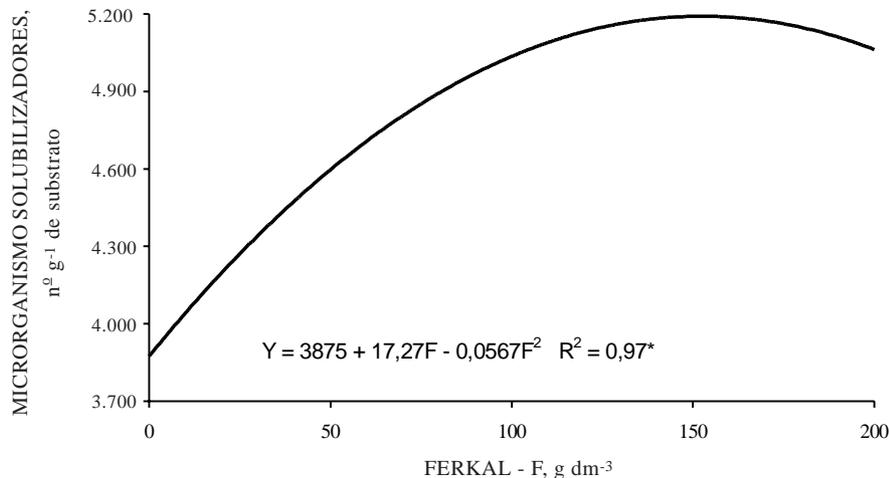


Figura 3. Número de microrganismos solubilizadores de fosfato no substrato, considerando as doses de Ferkal. Significativo a 5% (*).

A tendência de redução nos teores de N e P, a partir da adição de determinadas doses do resíduo, pode ser resultado, principalmente, do excesso de Ca e do pH elevado sobre a absorção de nutrientes. O desenvolvimento radicular também pode ter sido afetado não só pela alta concentração de Ca e elevado pH, mas também pela deficiência de outros elementos, como o Fe, comprometendo o desenvolvimento das mudas. A deficiência de Fe é um problema comum em solos calcários (Marschner, 1995) e suas conseqüências sobre o sistema radicular são percebidas pela inibição do alongamento das raízes e pelo aumento do diâmetro dos ápices radiculares (Römreld & Marschner, 1981; Chaney et al., 1992), comprometendo a absorção de nutrientes.

Com a adição de Ferkal, houve uma elevação de teor de P na parte aérea das mudas, decorrente, possivelmente, da elevação gradual dos teores desse elemento no substrato.

As mudas inoculadas com rizóbio apresentaram aumentos nos teores de N e P com a adição de Ferkal ao substrato (Figura 2), demonstrando o favorecimento ao desenvolvimento do par simbiote com as alterações promovidas no substrato, pela adição do resíduo. A melhoria das condições nutricionais do substrato com a adição do resíduo pode ter contribuído para a elevação do teor dos elementos analisados, principalmente do P. Esta melhoria no "status" nutricional da planta hospedeira pode ter favorecido a eficiência da fixação biológica de nitrogênio (FBN), acarretando contribuições mais efetivas desse processo no acúmulo de N na planta. A diminuição do teor de Al do substrato reduz os riscos de efeitos tóxicos desse elemento sobre as bactérias diazotróficas (geralmente sensíveis). O aumento da disponibilidade de P, em virtude do alto requerimento energético da FBN e de Ca (críticos

nos processos de infecção e formação de nódulos) pode resultar na melhor eficiência da simbiose rizóbio-leguminosa.

As mudas inoculadas com FMAs nativos + rizóbio e com FMAs nativos foram as que apresentaram os maiores teores de N e P na parte aérea, com a adição do resíduo. Muitos mecanismos podem contribuir para a maior capacidade de absorção das plantas colonizadas por FMAs, destacando-se o aumento da superfície de absorção e exploração do solo, o armazenamento temporário de nutrientes na biomassa fúngica, evitando a imobilização (química/biológica) ou a lixiviação. Destacam-se, também, o aumento da capacidade de absorção da raiz, pela redução do Km (aumento no influxo); o aumento na longevidade das raízes (Siqueira & Franco, 1988) e as mudanças morfológicas no sistema radicular, aumentando o número de raízes terciárias e quaternárias e elevando, conseqüentemente, sua efetividade na exploração do solo (Berta et al., 1995). Os FMAs também favorecem indiretamente a absorção de nutrientes por meio da amenização de eventuais efeitos adversos do pH, da concentração de Al e Mn, da salinidade e do estresse hídrico sobre o crescimento da planta hospedeira.

A maior capacidade de absorção de elementos pouco móveis no solo, principalmente o P, é o benefício nutricional mais conhecido da colonização por FMAs (Harley & Smith, 1983). Além do maior volume de solo explorado pelas hifas, Bolan et al. (1984) sugeriram que o micélio externo dos FMAs possa absorver fosfato em baixas concentrações mais efetivamente do que as raízes. A efetividade dos FMAs em fornecer P para a planta hospedeira depende muito da espécie e pode ser atribuída não só à taxa de colonização, mas também ao desenvolvimento e à atividade das hifas externas,

às taxas de transporte nas hifas e às taxas de intercâmbio de solutos na interface arbúsculo-célula radicular hospedeira.

Os maiores teores de P e, principalmente, de N, apresentados pelas mudas inoculadas com FMAs nativos + rizóbio, são, provavelmente, consequência de um efeito sinérgico entre os simbioss, tendo a melhoria no "status" nutricional da planta hospedeira favorecido o suprimento de fotoassimilados aos microrganismos simbioss, e vice-versa. Costa & Paulino (1992) comprovaram que a dupla inoculação aumentou significativamente os teores de N e P na parte aérea de *Leucaena leucocephala*.

As mudas submetidas a uma dupla inoculação com FMA *G. clarum* + rizóbio revelaram teores de N superiores aos apresentados pelas mudas inoculadas apenas com FMA *G. clarum*, sugerindo, novamente, a possível contribuição da FBN no suprimento desse elemento às mudas de sabiá.

CONCLUSÕES

1. A adição das doses de Ferkal sem a inoculação das mudas com FMAs e, ou, rizóbio (tratamento controle) aumentou, significativamente, o teor de P na parte aérea. Entretanto, os benefícios foram maiores nas mudas inoculadas com os microssimbioss, as quais apresentaram aumentos significativos no peso da matéria seca e nos teores de N e P em relação ao tratamento-controle.

2. Os FMAs nativos foram mais eficientes do que o FMA *G. clarum*, sendo a dupla inoculação, FMAs nativos + rizóbio, o tratamento que promoveu o melhor crescimento de *M. caesalpiniaefolia*.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), pelo auxílio financeiro; à EMBRAPA Agrobiologia, pelo fornecimento dos inóculos de rizóbio, e à Dra. Rosilaine Carrenho, pela identificação das espécies nativas de FMAs.

LITERATURA CITADA

ANDRADE, L.A.B.L. Influência da associação micorrízica e da adição de matéria orgânica sobre o crescimento de *Brachiaria decumbens* em estéril de mineração de ferro e bauxita. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1991. 53p. (Tese de Mestrado)

BALISTIERI, P.R.M.N. & AUMOND, J.J. Recuperação ambiental em mina de argila, Doutor Pedrinho - SC. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3., Ouro Preto, 1997. Anais. Viçosa, Folha Florestal, p.42-51.

BERTA, G.; TROTTA, A.; FUSCONI, A.; HOOKER, J.E.; MUNRO, M.; ATKINSON, D.; GIOVANETTI, M.; MORINI, S.; FORTUNA, P. & TISSERANT, B. Arbuscular mycorrhizal induced changes to plant growth and root system morphology in *Prunus cerasifera*. *Tree Physiol.*, 15:281-293, 1995.

BOLAN, N.S.; ROBSON, A.D.; BARROW, N.J. & AYLMOORE, L.A.G. Specific activity of phosphorus in mycorrhizal and non-mycorrhizal plants in relation to the availability of phosphorus to plants. *Soil Biol. Biochem.*, 16:299-304, 1984.

BONI, N.R.; ESPÍNDOLA, R. & GUIMARÃES, E.C. Uso de leguminosas na recuperação de um solo decapitado. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1., SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., Foz do Iguaçu, 1994. Anais. Curitiba, FUPEF, 1994. p.563-568.

BORKERT, C.M.; PAVAN, M.A. & LANTMANN, A.F. Considerações sobre o uso de gesso na agricultura. Piracicaba, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato - POTAFÓS, 1987. (Informações agronômicas, 40)

BRAGA, F.A.; VALE, F.R. & MUNIZ, J.A. Movimentação de nutrientes no solo, crescimento e nutrição mineral do eucalipto, em função de doses de gesso e níveis de irrigação. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:69-78, 1995.

CAMPELLO, E.F.C. Potencial de utilização de espécies actinorrízicas em solos degradados. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1990. 83p. (Tese de Mestrado)

CAMPELLO, E.F.C. A influência de leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio na sucessão vegetal em áreas degradadas na Amazônia. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 121p. (Tese de Doutorado)

CARNEIRO, M.A.C.; SIQUEIRA, J.O.; CURI, N. & MOREIRA, F.M.S. Fungos micorrízicos e superfosfato no acúmulo de nitrogênio e no crescimento de plantas herbáceas em solo degradado. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3., Ouro Preto, 1997. Anais. Viçosa, Folha Florestal, p.231-239.

CHANEY, R.L.; CHEN, Y.; GREEN, C.E.; HOLDEN, M.J.; BELL, P.F.; LUSTER, D.G. & ANGLE, J.S. Root hairs on chlorotic tomatoes are an effect of chlorosis rather than part of the adaptive Fe-stress response. *J. Plant. Nutr.*, 15:1857-1875, 1992.

COSTA, N.L. & PAULINO, V.T. Response of leucaena to single and combined inoculation with *rhizobium* and mycorrhiza. *Nitrogen Fixing Tree Res. Rep.*, 10:45-46, 1992.

FRANCO, A.A.; CAMPELLO, E.F.C.; MONTEIRO, E.M.S.; CUNHA, C.O., CAMPOS NETO, D. & DÖBEREINER, J. Nodulated legume trees for the recuperation of acid tropical soils. In: THE NORTH AMERICAN SYMBIOTIC NITROGEN FIXATION CONFERENCE, 12., 1989, IOWA. Proceedings. IOWA: Iowa State University, 1989. p.70.

- FRANCO, A.A. & FARIA, S.M. The contribution of N₂-fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. *Soil Biol. Biochem.*, 29:897-903, 1997.
- GIOVANNETTI, M. & MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring VA mycorrhizal infection in roots. *New Phytol.*, 84:489-500, 1980.
- HARLEY, J.L. & SMITH, S.E. *Mycorrhizal symbiosis*. New York, Academic Press, 1983. 483p.
- JACKSON, M.L. *Soil chemical analysis*. New Jersey: Prentice Hall, 1958. 489p.
- Le TACON, F.; GARBAYE, J. & CARR, G. The use of mycorrhizas in the temperate and tropical forest. *Symbiosis*, 3:1979-2006, 1987.
- LOWTHER, W.L. & LONERAGAN, J.F. Calcium and nodulation in subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.). *Plant Physiol.*, 43:1362-1366, 1968.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.G. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1989. 201p.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2.ed. London, Academic Press, 1995. 889p.
- MARTINEZ-RAMOS, M.C. Claros, ciclos vitales de los árboles tropicales y regeneración natural de las selvas altas perenifolias. In: GOMEZ-POMPA, A. & DEL AMO, S., eds. *Investigaciones sobre la regeneración de selvas en Vera Cruz*. Mexico, Alhambra Mexicana, 1985. p.116-143.
- MONTEIRO, E.M.S. Resposta de leguminosas arbóreas à inoculação com rizóbio e fungos micorrízicos em solo ácido. Itaguaí, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1990. 221p. (Tese de Doutorado)
- NAHAS, E.; CENTURION, J.F. & ASSIS, L.C. Microrganismos solubilizadores de fosfato e produtores de fosfatases de vários solos. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:43-48, 1994a.
- NAHAS, E.; CENTURION, J.F. & ASSIS, L.C. Efeito das características químicas dos solos sobre os microrganismos solubilizadores de fosfato e produtores de fosfatases. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:49-53, 1994b.
- NAU, S.R. & SEVEGNANI, L. Vegetação recolonizadora em mina de argila e propostas para recuperação ambiental. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3., Ouro Preto, 1997. Viçosa, Folha Florestal, 1997. p.54-66.
- REDENTE, E.F.; McLENDON, T. & DePUIT, E.J. Manipulation of vegetation community dynamics for degraded land rehabilitation. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA FLORESTAL, 1., Belo Horizonte, 1993. Anais. Viçosa, Sociedade de Investigações Florestais, 1993. p.265-278.
- RÖMHELD, V. & MARSCHNER, H. Rhythmic iron stress reaction in sunflower at suboptimal iron supply. *Physiol. Plant.*, 53:347-353, 1981.
- SANTOS, D.R.; MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. Fósforo, fungo micorrízico e rizóbio no crescimento, nodulação e fixação biológica do nitrogênio em *Sesbania virgata* (Cav.) e *Sesbania rostrata* (Bram.). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23., REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5., REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2., Caxambú, 1998. Anais. Lavras, UFLA/SBCS/SBM, 1998. p.772-772.
- SIQUEIRA, J.O. & FRANCO, A.A. Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas. Brasília, Ministério da Educação e Cultura, 1988. 235p.
- SOUZA, F.A. & SILVA, E.M.R. Micorrizas arbusculares na revegetação de áreas degradadas. In: SIQUEIRA, J.O., ed. *Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas*. Lavras, UFLA / DCS, 1996. p.255-290.
- TANG, C.; ROBSON, A.D.; DILWORTH, M.J. & KUO, J. Microscopic evidence on how iron deficiency limits nodule initiation in *Lupinus angustifolius* L. *New Phytol.*, 121:457-467, 1992.

