

ISSN 0103-5614



Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA
Centro Nacional de Pesquisa de Biologia do Solo-CNPBS

**MICORRIZAS VESICULAR-ARBUSCULARES EM PLANTAS FORRAGEIRAS -
ASPECTOS AGRONÔMICOS E INTERAÇÕES MICROBIOLÓGICAS**

CNPBS
Seropédica, RJ
Abril/1992

ISSN 0103-5614



Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA
Centro Nacional de Pesquisa de Biologia do Solo-CNPBS

MICORRIZAS VESICULAR-ARBUSCULARES EM PLANTAS FORRAGEIRAS -
ASPECTOS AGRONÔMICOS E INTERAÇÕES MICROBIOLÓGICAS

Sebastião Manhães Souto
Mauro Augusto de Paula
Avílio Antonio Franco

CNPBS
Seropédica, RJ
Abril/1992

EMBRAPA-CNPBS. Documentos, 7

Exemplares desta publicação podem ser solicitados à
EMBRAPA-CNPBS
Antiga Rodovia Rio/São Paulo
Telefone: (021)682-1086; (021)682-1500
Telex: (21)32723 EBPA
Fax: (021)682-1230
Caixa Postal 74-505
23851-970 Seropédica, RJ

Tiragem: 50 exemplares
1ª. Reimpressão: 50 exemplares (07.02.94)
2ª. Reimpressão: 100 exemplares (19.09.94)
3ª. Reimpressão: 25 exemplares (29.01.97)

Comitê de Publicações:
Johanna Döbereiner (Presidente)
Helmécio De-Polli
José Ivo Baldani
Paulo Augusto da Eira
Eliane Maria da Silva Monteiro
Dejair Lopes de Almeida
Dorimar dos Santos Félix (Bibliotecária)

SOUTO, S.M.; PAULA, M.A.; FRANCO, A.A. **Micorrizas vesicular-arbusculares em plantas forrageiras - Aspectos agronômicos e interações microbiológicas**. Seropédica: EMBRAPA-CNPBS, 1992. 29p. (EMBRAPA-CNPBS. Documentos, 7).

1. Micorriza vesicular-arbuscular. 2. Planta forrageira. 3. Aspecto agronômico. 4. Interação microbiológica. I. Paula, M.A., colab. II. Franco, A.A., colab. III. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Biologia do Solo (Seropédica, RJ). IV. Título. V. Série.

CDD 633.2

© EMBRAPA

**MICORRIZAS VESICULAR-ARBUSCULARES EM PLANTAS FORRAGEIRAS -
ASPECTOS AGRONÔMICOS E INTERAÇÕES MICROBIOLÓGICAS.**

**Sebastião Manhães Souto*
Mauro Augusto de Paula
Avílio Antonio Franco**

1 - INTRODUÇÃO

Neste trabalho, trataremos de alguns aspectos relacionados com os grupos de fungos formadores de micorrizas vesicular-arbusculares (MVA), em plantas forrageiras. Essas associações são encontradas em 97% das Fanerógamas, incluindo a maioria das plantas de interesse agronômico, florestal e pastoril.

Além de outras vantagens, a presença de micorrizas tem efeito direto no crescimento da planta, favorece na absorção do P e de outros nutrientes, aumenta o crescimento das raízes e favorece a simbiose com bactérias fixadoras de N₂, contribuindo desta forma, para abrandar outro fator estressante para o crescimento vegetal na maioria dos solos tropicais, que é a deficiência de N.

Este trabalho focaliza a importância das MVA para as pastagens tropicais, bem como, suas limitações relacionadas com o nível de P do solo, a produção de inoculantes comerciais, a dependência das forrageiras à micorrização, os efeitos dos agrotóxicos e a simbiose tríplice-leguminosas forrageiras x fungos MVA x rizóbio.

*Pesquisadores da EMBRAPA/CNPBS.

2 - IMPORTÂNCIA E LIMITAÇÕES DAS MVA

Geralmente as pastagens tropicais são cultivadas em solos com - baixos níveis de nutrientes disponíveis, principalmente, o nitrogênio e o fósforo. O nitrogênio, no caso das leguminosas forrageiras pode ser obtido da atmosfera através da fixação biológica do N_2 (FBN), enquanto que o fósforo pode ter sua absorção facilitada pela presença de fungos formadores das micorrizas vesicular-arbusculares (MVA). O micélio externo do fungo se espalha e se ramifica no solo aumentando a superfície de absorção do sistema radicular, o que parece ser o principal mecanismo responsável pelo aumento de absorção do P do solo (Ross, 1971; Mosse, 1975; Manjunath & Habte, 1990). Além do mais, a infecção micorrízica aumenta a absorção de outros nutrientes pelas plantas, principalmente, das formas pouco solúveis, nativas ou aplicadas ao solo, tais como o fosfato de cálcio, de alumínio e de ferro (Moawad, 1979). Este fato é de grande interesse para as pastagens das regiões tropicais, onde os solos apresentam baixos teores de fósforo e alta capacidade de imobilização das suas formas solúveis. O mecanismo pelo qual a disponibilidade de P controla a colonização dos fungos MVA ainda é assunto de pesquisa e três hipóteses são propostas: 1ª) Raízes das plantas têm lectinas que inibem MVA. Plantas com deficiência de P acumulam fosfatases nas raízes, o contrário acontece com planta com alto P. As fosfatases inativam as lectinas (Woolhouse, 1975); 2ª) Alta

absorção de P pela planta aumenta fosfolipídeos, estes reduzem permeabilidade das membranas das células radiculares, com isso, diminui a exsudação de açúcares e amino ácidos na rizosfera, diminuindo a atividade dos propágulos, a penetração e colonização das raízes por FMVA (Ratnayake et al., 1978 e Graham et al., 1981); 3ª) Aumentando-se a disponibilidade de P no solo, e por conseqüência, sua absorção e translocação pela planta, aumenta-se a fotossíntese e a exportação de triose-fosfato do cloroplasto para o citoplasma, onde a sacarose é sintetizada e translocada, via floema, até as raízes. A sacarose e/ou seus derivados, quando presentes em baixas concentrações, beneficia o crescimento e espalhamento do fungo no córtex, mas quando em concentrações elevadas, torna-se inibitória, reduzindo, assim a taxa de colonização (Siqueira, 1983).

As MVA proporcionam também a melhoria nas propriedades físicas do solo (Saif, 1986; Lara & Ferrera-Cerrato, 1986) além de aumentar a tolerância pelas plantas à seca (Guzman-Plazola et al., 1983, 1984 citados por Lara & Ferrera-Cerrato, 1986; Jehne, 1984; Saif, 1986). A presença de MVA nas raízes também ameniza o estresse provocado por patógenos e nematódios. Isto comumente resulta em acréscimos no desenvolvimento da planta, conforme relatado por Dodd et al. (1990) em kudzú tropical (*Pueraria phaseoloides*) e sorgo (*Sorghum vulgare*) micorrizados.

A aplicação dos fungos MVA (FMVA) na agricultura sob a forma de inoculante comercial é muito restrita, porque esses

fungos só se propagam quando associados a uma planta viva. Apesar da dificuldade de se fazer um inoculante comercial com FMVA, a amplitude esperada de resposta da inoculação do FMVA em pastagem varia de 50 a 80%, uma variação mais estreita do que a esperada para mandioca, cultura de conhecida resposta à inoculação com FMVA (Howeler et al., 1987), além do custo do inoculante ser da ordem de US\$0,05/muda (Siqueira & Franco, 1988). Outra limitação do uso de FMVA, é que em solo não esterilizado tem sido difícil estabelecer fungos inoculados em áreas com população nativa já estabelecida. Entretanto, Azcón-Aguilar et al. (1986), mostraram que em condições de campo, *Glomus mosseae* foi mais competitivo, se estabelecendo em 7 de 12 solos estudados. Outros autores (Mosse, 1975; Keller-Klein, 1984; South e Habte, 1985 e Salinas et al., 1985), também tiveram sucesso com a inoculação de FMVA em solos não esterilizados.

O sucesso do estabelecimento e manutenção das leguminosas forrageiras nas pastagens pode ser dependente da micorrização destas plantas, de acordo com alguns autores (Mosse, 1977; Caballa-Rosand & Wild, 1982; Huang et al., 1983a; Huang et al., 1985). Medina et al. (1990) conseguiram melhor estabelecimento do fungo MVA introduzido e maior crescimento do siratro (*Macroptilium atropurpureum*) e, *Aeschynomene americana*, com o solo corrigido e adubado, no qual o fungo MVA nativo era inefetivo e pouco competitivo.

Algumas espécies de leguminosas tropicais têm o crescimento extremamente reduzido na ausência de micorrizas,

ao passo que, as gramíneas são menos responsivas à inoculação com FMVA (Tab. 1).

Tabela 1. Produção relativa de matéria seca de plantas micorrizadas (Inoc/N.inoc.) em solo com diferentes níveis de fósforo.

Cultura	P aplicado (kg.ha ⁻¹)		
	0	100	500
Estilosantes	15,6	116,6	4,4
Andropogon	8,4	42,7	0,9
Mandioca	12,7	19,7	30,3

Fonte = Howeler et al. (1987)

Resultados semelhantes foram encontrados por Sieverding e Saif (1984), quando compararam respostas de outras leguminosas e gramíneas à inoculação.

Informações sobre associação de fungos MVA específicos com espécies de plantas ou grupo de plantas são escassas no, entanto, alguns autores têm relatado a associação de fungos MVA com espécies forrageiras, especialmente leguminosas, que não apresentam colonização e esporulação na rizosfera de outras plantas, nas mesmas condições de solo. Embora isso não possa ser associado à especificidade, pode, no entanto, ser indicativo de associações preferenciais entre simbiontes, com reflexos positivos em aspectos agronômicos, habilidade competitiva e potencial de inoculação em condições de solo específicas (Sieverding, 1991).

Crush (1974) quando comparou o efeito de micorrizas em 4 leguminosas (*Centrosema pubescens*, *Stylosanthes guyanensis*, *Trifolium repens* e *Lotus pendunculatus*), verificou que as duas leguminosas tropicais eram muito mais dependentes de micorrizas para o crescimento. Esta diferença parecia estar relacionada com o grau de desenvolvimento dos pêlos absorventes da raiz, como demonstrado em outro trabalho por Baylis (1975). Yost (1981) mostrou que plantas que apresentam pêlos radiculares curtos ou em pequena quantidade, tendem a ser altamente dependentes de micorriza, enquanto aquelas com abundância de raízes finas e muito pêlos radiculares tendem a ser menos dependentes. Assim, segundo o autor, a mandioca é altamente dependente, ao passo que a soja é relativamente pouco dependente e a leucena apresenta comportamento parecido com o da mandioca. Observaram ainda que o maior efeito da micorriza em leucena é na fase de estabelecimento.

Os efeitos da utilização de fosfatos solúveis, de maneira geral, indicam que em níveis médios ou baixos de P no solo, as micorrizas podem aumentar a absorção de P, crescimento e nodulação mas em altos níveis de P disponível pode ocorrer uma diminuição na infecção micorrízica (Crush 1976; Barea & Azcon-Aguilar, 1983; Barea et al., 1983). Entretanto, essas respostas são condicionadas às inter-relações entre características do solo, espécie de leguminosas e espécies de fungos micorrízicos (Crush, 1974; Powell, 1977; Munns & Mosse, 1980). Plantas de soja com mais de 0,13% de P e 2,2% de N na parte aérea, apresentam redução

na colonização das raízes por micorrizas, enquanto no caso do milho, a partir de 0,10%, de P na parte aérea já ocorre decréscimo na colonização nesta planta (Fernandes et al., 1987). A ocorrência de FMVA no solo também depende do nível de P disponível do solo. Assim, dos 6 fungos MVA testados por Siqueira et al. (1989), foram observados 2 FMVA com maior ocorrência no solo com 6 a 12ppm de P e, 4 FMVA no solo com menos de 6 ppm de P.

O máximo benefício da simbiose pode ser obtido através do conhecimento do nível crítico do P na solução do solo, para se obter o máximo crescimento da planta sem causar diminuição da infecção; acima desse nível, não há resposta positiva da micorrização (Tab. 2).

Tabela 2. Níveis críticos de fósforo na solução do solo para se obter 80% do crescimento máximo de plantas de brachiaria e estilosantes micorrizadas.

PLANTA	Nível de P para obter 80% do crescimento máximo		Nível crítico de P na solução do solo acima do qual não há micorrização
	Micor.	não Micor.	
	ppm P na solução		ppm
Brachiaria	0,015	0,090	0,125
Estilosantes	0,300	0,900	0,500

Fonte = Siqueira (1987)

A inoculação com FMVA sob condições de campo, aumentou o crescimento e absorção de nutrientes, em plântulas de *Stylosanthes capitata*, *Pueraria phaseoloides* e *Andropogon*

gayanus, e a nodulação de *S. capitata* e *Pueraria phaseoloides*. A inoculação com FMVA, sob condições de casa de vegetação, reduziu a exigência de fósforo, de *P. phaseoloides*, *Centrosema macrocarpum* e *Brachiaria decumbens* (CIAT, sem data). Por outro lado, Guzmán-Plazola et al., 1983, 1984 e Lara & Ferrera-Cerrato (1985) citados por Lara & Ferrera-Cerrato (1986), estudando FMVA em algumas leguminosas, inclusive em leucena, observaram que a micorrização pode substituir a adubação fosfatada e ajudar a planta a sobreviver em condições adversas. Entretanto, Huang & Fox (1984) registraram que micorrizas permitiram à leucena extrair P de solos muito pobres neste elemento, porém com o tempo (40 dias após plantio), a micorrização apenas, não foi suficiente para aumentar a extração de P desses solos. Aziz e Habte (1989) demonstraram que em níveis de P abaixo de um certo limite, a efetividade de FMVA é inexpressiva. Os mesmos autores (Habte & Aziz, 1991) observaram que depois do P, o N seguido pelo Ca foram os nutrientes que limitaram a efetividade de FMVA, quando estavam em níveis abaixo de determinados limites.

3 - INFECÇÃO DE FORRAGEIRAS POR FUNGOS MICORRIZICOS VESICULAR-ARBUSCULARES (FMVA)

A infecção dos FMVA em forrageiras pode apresentar características diferenciadas. O grau de infecção encontrado em forrageiras por Miller et al. (1979) foi, 74% em bermuda, 65% em Centrosema, 60% em *Brachiaria plantagínea*, 50% em *B. decumbens*, 49% em *Paspalum notatum* - batatais, 45% em *Panicum virgatum*, com a quantidade de hifas correlacionada com o grau de infecção. Giriya & Nair (1985), acharam que 90 a 100% de infecção por FMVA foram observados para estilosantes, centrosema e outras forrageiras. Segundo Paulino et al. (1986), *Glomus fasciculatum* infectou melhor as raízes de siratro e *Centrosema pubescens* do que *G. mosseae*, e essa capacidade de infectar foi maior na presença de fosfato de rocha. Por outro lado, a infecção radicular por FMVA e a dependência de *Galactia striata* para micorrizas, foram baixas.

O sucesso esperado de uma inoculação em determinado solo depende, especialmente, do baixo grau da capacidade de infectar natural do solo. (Tab. 3).

Os mecanismos atuantes na colonização micorrízica parecem envolver moléculas-sinais que participariam no estímulo ao crescimento do tubo germinativo e no reconhecimento fungo-planta. Os flavonóides presentes nos exsudatos radiculares, especialmente de leguminosas forrageiras, podem atuar como indutores de gens ou conjunto de gens que controlam a capacidade de infectar dos FMVA,

sendo mantidos sob o controle da planta como forma de sobrevivência (Siqueira, 1991).

Tabela 3. Taxas de crescimento de estilosantes, na presença e ausência de fungos micorrízicos vesicular-arbusculares.

Colonização natural	Crescimento de Estilosantes crescidos com MVA/sem MVA
0	8,0
20	1,5
40	1,0
60	1,0
80	0,8
100	0,8

Fonte = Mosse (1981)

4 - SELEÇÃO DE FMVA PARA FORRAGEIRAS

O conhecimento dos melhores FMVA para uma determinada forrageira, numa determinada região, é de real interesse na prática. Contudo, o trabalho inicial com FMVA em pastagens deve ser iniciado com a avaliação da ocorrência da população nativa, no solo, e na rizosfera das forrageiras que proporcionam maior produtividade de proteína durante o período seco. Lopes-Sanchez & Honrubia (1989) mostraram variação estacional de FMVA em forrageiras, no noroeste de Murcia, Espanha.

Nalini et al, (1986), estudaram o comportamento de 4 cultivares de leucena inoculadas com 18 FMVA, e encontraram que *G. fasciculatum*, de Invermany, foi o melhor FMVA para a cv. K-8; o *G. marginata*, de ICRISAT foi melhor para a cv. K-28; o *G. velum*, de Nedlands, o melhor para a cv. K-67 e o *G.*

albidum proporcionou melhor rendimento de matéria seca para a cv. K-72.

Segundo Lara e Ferrera-Cerrato (1986), 9 FMVA testados não alteraram a altura e o diâmetro de leucena; contudo, os ecótipos 19 e 20 de *Glomus sp* e o ecótipo 8 de *Gigaspora* proporcionaram alto volume de raízes nas plantas, o que permitiria uma melhor aeração do solo e aumento dos agregados do solo. Resultados de Huang et al. (1983b) sugerem que *G. fasciculatum* isolado de leucena foi superior às demais espécies de fungos micorrízicos (*G. mosseae* e *G. etunicatum*) testadas, porque com esse FMVA, a leucena produziu mais na faixa de pH, 4.9-5,5 e em pH 6,8. Moser e Haselwandter (1983) pesquisaram os melhores FMVA para *Centrosema pubescens*, várias espécies de *Stylosanthes* e *Pueraria*. Costa et al. (1991a) testaram num Latossolo Amarelo com baixo P disponível (2ppm), 4 espécies diferentes de FMVA em 2 espécies de centrosema (*C. brasilianum* CIAT 5234 e *C. acutifolium* CIAT 5277). Para *C. brasilianum*, sem adubação fosfatada, os maiores rendimentos de matéria seca foram obtidos com a inoculação de *Acaulospora muricata*, com resultados equivalentes verificados com a adubação de 50 kg de P₂O₅/ha. Para *C. acutifolium*, na ausência de P, os fungos mais efetivos na produção de matéria seca foram *Glomus etunicatum* e *Scutellospora heterogama*; enquanto, na presença de P (50 kg P₂O₅ por ha), os fungos *A. muricata* e *G. margarita* forneceram maior rendimento de matéria seca, N e P. Sieverding e Saif (1984), testaram o efeito da inoculação com 3 FMVA (*Glomus*

manihotis, *G. oclutum* e *Entrophospora colombiana*) no crescimento de *Pueraria phaseoloides*, obtendo o melhor resultado com *Entrophospora colombiana*. Segundo Maluf et al. (1988), *G. leptotichum* proporcionou maior desenvolvimento das plantas de leucena do que *G. fasciculatum* ou FMVA nativos. A micorrização trouxe maior benefício para a leucena não o tolerante ao Al^{+++} e os maiores teores de N, P, K, Ca e Mg nas plantas, foram verificados em plantas não tolerantes ao Al^{+++} , em simbiose com *G. leptotichum* e com FMVA nativos. Centrosema inoculada com 3 FMVA e crescendo em 2 solos, sem aplicação de fosfato de rocha, absorveu mais fósforo e cresceu melhor, com o FMVA "YV". Com os FMVA "HON" e "E3", o seu crescimento não foi alterado (Sanders, 1975). FMVA isolado de gramíneas foi menos infectivo e efetivo em *Stylosanthes guyanensis* do que os FMVAS isolados dessa leguminosa (Jehne, 1984). Lopes e de Oliveira (1980) testaram 9 espécies de FMVA no siratro em solo esterilizado com baixo P, verificando que só *Glomus fasciculatum* e *G. macrocarpum* aumentaram o crescimento dessa leguminosa.

Costa et al (1991b), testaram 8 espécies de FMVA em *Paspalum guenoarum* em Latossolo Amarelo esterilizado. O maior rendimento de matéria seca e P absorvido, foi conseguido com *G. macrocarpum*, enquanto a maior % de colonização ocorreu com *G. margarita*.

Na seleção de FMVA para uma determinada planta, o melhor fungo para esta planta é função do melhor estabelecimento do fungo no ambiente testado (Monteiro, 1990).

5 - SIMBIOSE LEGUMINOSA + FMVA + *Rhizobium*

É muito importante se conhecer os efeitos de nutrientes aplicados na expressão da tríplice simbiose, planta, FMVA e *Rhizobium*, no caso das leguminosas; e FMVA, planta, outras bactérias diazotróficas, no caso das gramíneas e outras plantas.

Espécies de leguminosas diferem na sua eficiência em utilizar P dos fosfatos de rocha. Assim, *Lotononis bainesii*, *Centrosema pubescens*, *Indigofera spicata* e *Stylosanthes guyanensis*, apresentaram maior rendimento com fosfato de rocha do que *Desmodium uncinatum* e *Macroptilium lathyroides* (Brian e Andrew 1971).

Plantas micorrizadas com FMVA, utilizam mais eficientemente P e outros nutrientes, em formas minerais de baixa solubilidade, como os fosfatos de rocha (Tabela 4).

Tabela 4. Nodulação e crescimento relativo de kudzú tropical e estilósantes inoculados com fungos MVA, em solo não fumigado, na presença de fosfato de rocha.

Tratamento	kudzú tropical		Estilósantes	
	Nº	Trat./controle	Nº	Trat./controle
	Nº	Trat./controle	Nº	Trat./controle
Controle	9 a	1,0	3 a	1,0
FMVA	18 b	2,0	6 b	1,8
Fosfato rocha*	30 c	7,0	13 c	5,7
FMVA + F.rocha	48 d	11,7	22 d	9,6

Fonte = Howeler et al. (1987)

* aplicado na base de 20 kg de P/ha.

Os mecanismos envolvidos nesse processo não estão definidos, mas se sabe que os FMVA não possuem mecanismos químicos capazes de solubilizar o nutriente. As hipóteses propostas são as de que haja favorecimento de microrganismos solubilizadores associados e/ou maior absorção de Ca e o abaixamento de concentrações do P na solução do solo pelas plantas micorrizadas, favorecendo o equilíbrio sólido-solução, no sentido da solução.

Os FMVA, na realidade atuam mais no aumento de absorção de nutrientes com baixa disponibilidade e de baixa mobilidade no solo como é o caso de P, Zn, Cu, Mo e NH_4^+ . Além do mais, o valor de K_m , constante de Michaelis-Menten, corresponde à concentração do nutriente necessária para a velocidade de absorção atingir a metade de seu valor máximo, para o P do micélio é muito menor do que o das raízes da planta. E mais, as raízes micorrizadas continuam a absorver mais P após a sua suberificação. Atualmente, existem confirmações de produção de fosfatases ácidas e alcalinas por FMVA.

O pH do solo influencia, qualitativa e quantitativamente, as micorrizas. O gênero *Glomus* geralmente prefere os solos com pH próximo do neutro a alcalino, ao contrário do que é observado nos outros gêneros de FMVA, que preferem pH na faixa ácida. A calagem nos solos minerais ácidos não cultivados, pode reduzir a formação de micorrizas nativas, através da diminuição da capacidade de infectar dos

fungos nativos, naturalmente adaptados às condições ácidas (Siqueira e Franco, 1988; Siqueira *et al.*, 1990).

Algumas pesquisas têm mostrado a relação dos efeitos de inoculação de micorrizas e fosfato de rocha, na nodulação, fixação de N₂ e crescimento de plantas de *Centrosema pubescens*, *Trifolium repens* e *Stylosanthes guyanensis*. Assim, Mosse *et al.* (1976), examinaram a interação dessas leguminosas com 3 FMVA e fosfato de rocha, em 8 solos deficientes em P, cujos valores de pH variaram de 5,3 a 8,1. De uma maneira geral, os FMVA aumentaram a absorção de P em todas as leguminosas, mas só ocorreram aumentos significativos na produção de matéria seca, nos casos em que as plantas não inoculadas tinham baixa concentração de P nos tecidos (abaixo de 0,15%). A aplicação de fosfato de rocha (100 mg/250g de solo) aumentou significativamente a absorção de P nos solos ácidos, favorecendo as plantas micorrizadas. Em solos neutros e alcalinos o fosfato de rocha não era utilizado pelas plantas micorrizadas ou não micorrizadas. Quando o solo era muito deficiente em P, só ocorria nodulação na presença de micorriza. O fosfato de rocha aumentou, significativamente, a nodulação e a fixação de N₂ nestes solos.

Em onze solos tropicais não esterilizados, inoculados com FMVA e adubados ou não com fosfato de rocha, o melhor crescimento de *Centrosema pubescens* foi obtido com FMVA + fosfato de rocha (Mosse, 1977).

Adição de fosfato de rocha de Patos (100 ug P/g solo) com inoculação com fungo micorrízico (estirpe E-3), aumentou o rendimento de *Stylosanthes guyanensis* e *Desmodium intortum*, porém o aumento nas gramíneas *Cenchrus ciliaris* e *Paspalum plicatulum*, foi mais influenciado pelo P do que pela inoculação, tendo Cabala-Rosand e Wild (1982), relacionado este efeito com a extensão das raízes. Na presença de inibidor de nitrificação, a utilização do fosfato pelo *Paspalum*, foi muito maior com a aplicação de NH_4^+ do que com a de NO_3^- . Os autores concluíram que o potencial para utilizar baixo nível de fosfato de rocha em um oxissolo, foi aumentado através da inoculação com micorrizas, no caso das leguminosas e pela acidificação do solo, no caso dos capins.

Há resposta diferenciada de leguminosas, em relação a utilização de fosfato de rocha. Assim, a mucuna foi mais eficiente que a crotalária, na utilização de P do fosfato de Rocha (Monteiro *et al.* 1985), e apresentou 33% a mais em relação à produção de prótons (Jesus, comun. pessoal).

Em um experimento em vasos, Salinas *et al.* (1985), estudaram o efeito de *Glomus manihotis* em um oxissolo plantado com *Pueraria phaseoloides* e *Andropogon gayanus*, com níveis crescentes de P (0 a 140 kg P.ha⁻¹). A adição de inoculante, resultou num maior crescimento de ambas espécies, no mais baixo nível de P (9 kg P.ha⁻¹) por ocasião da 1ª coleta. Nas sucessivas coletas efetuadas até 160 dias após o plantio, o crescimento das gramíneas não foi afetado, nem pela inoculação, nem pelo P. Contudo, a inoculação

proporcionou mais precocidade e uma maior extensão temporal no desenvolvimento do MVA, além de uma mais longa absorção de P pelas plantas. O nível de P, 35 kg P.ha⁻¹, e o mais alto (140 kg P.ha) afetaram a micorriza na gramínea, porém não na leguminosa.

O aumento no crescimento, peso de nódulos e atividade de nitrogenase, em leucena, foi conseguido com inoculação com *Glomus fasciculatum*, e/ou aplicação de 100 mg de K/kg solo. O nível de produtividade foi também aumentado, com posterior aplicação do P (100 a 300 mg de P/kg solo) (Purcino et al. 1986).

O efeito de níveis de K (0, 10, 20 e 40 kg K.ha⁻¹), na infecção de FMVA nativos, em forrageiras plantadas em oxissolo, foi estudado por Sieverding e Saif (1984). Na avaliação feita quatro meses após o plantio, o melhor tratamento, no caso das leguminosas, foi 40 kg/ha⁻¹, proporcionando 90%, 80% e 76% de infecção, respectivamente, em *Pueraria phaseoloides*, *Stylosanthes guyanensis* e *Desmodium ovalifolium*. Nas gramíneas, os melhores tratamentos foram 20 kg K.ha⁻¹ para *Brachiaria humidicola*, e sem potássio (0 kg K.ha⁻¹) para *Andropogon gayanus* e *B. decumbens*.

A inoculação de *G. fasciculatum*, mais adubação com P e K, em *Stylosanthes scabra*, aumentou significativamente, o peso da parte aérea, peso de nódulos e a atividade da nitrogenase dessa leguminosa (Purcino & Lynd, 1985).

Saif (1986) estudou o efeito de nutrientes em FMVA inoculados em pastagens já formadas com *Stylosanthes*

guyanensis, *Pueraria phaseoloides*, *Desmodium ovalifolium*, *Centrosema macrocarpum*, *Andropogon gayanus*, *Brachiaria humidicola* e *Paspalum* sp. A mais alta dose de P, reduziu a infecção de FMVA, enquanto a mais baixa, estimulou. O NPK não afetou a infecção, mas diminuiu o n^o de esporos no solo. A aplicação dos resíduos de plantas das pastagens, aumentou a infecção e o n^o de esporos. O K aumentou a infecção nas leguminosas, porém, não afetou as gramíneas. O Ca aumentou a infecção em *Stylosanthes guyanensis* e no *Desmodium ovalifolium*. O Mg e o S tiveram efeitos positivos na infecção de algumas espécies, porém não em outras.

Sieverding e Saif (1984), estudaram o efeito de 5 níveis de Ca (0, 50, 100, 200 e 400 kg/ha), na infecção de FMVA em forrageiras e no número de esporos no solo. A avaliação feita dois anos após o plantio, indicou que os melhores resultados para infecção foram 200, 0, 200, 50 e 50 kg de Ca/ha, respectivamente, para *Stylosanthes capitata* cv. 1315, *Pueraria phaseoloides* cv. 9900, *Desmodium ovalifolium* cv. 350, *Andropogon gayanus* cv. 621 e *Brachiaria humidicola*. Quando não houve aplicação de Ca, foi observado aumento no número de esporos, independente das espécies de forrageiras.

A inoculação com FMVA aumentou a absorção de Ca do solo por *Stylosanthes guyanensis* (Waidyanatha et al. 1979) e por outras espécies (Ross, 1971).

O efeito de três formulações de NPK (50 - 11 - 21; 100 - 22 - 42 e 100 - 33 - 62 kg de N, P e K/ha, respectivamente) na infecção de MVA em leguminosas forrageiras e no número de

esporos no solo, foi estudado por Sieverding e Saif (1984). Não houve diferença na infecção pelos FMVA nativos, nas 3 leguminosas (*Stylosanthes capitata* cv. 1315, *Pueraria phaseoloides* cv. 9900 e *Desmodium ovalifolium* cv. 350), em relação às três fórmulas de NPK; entretanto, o melhor resultado para número de esporos foi a fórmula com níveis mais baixos de NPK, independente da leguminosa.

Paulino et al (1986) avaliaram em experimentos de vasos, o efeito de duas espécies de micorriza, *Glomus mosseae* e *G. fasciculatum*, e duas fontes de P, fosfato de rocha e fosfato solúvel, na fixação de N₂ e no crescimento de *Centrosema pubescens*, *Galactia striata* e *Macroptilium atropurpureum* (siratro). Para a centrosema, a inoculação favoreceu a absorção de P e o crescimento, com maior efeito de *G. fasciculatum* do que de *G. mosseae*; porém, a fixação e absorção de N só foram afetadas pela inoculação quando se usou o P solúvel. O grau de colonização das raízes por *G. fasciculatum* foi superior ao encontrado para *G. mosseae*. Para o siratro, a inoculação com FMVA, aumentou a produção de matéria seca, atividade da nitrogenase e a absorção de N e P; o fungo *G. fasciculatum* foi melhor que *G. mosseae*; a inoculação com *G. mosseae* aumentou a matéria seca do siratro na presença do adubo fosfatado, enquanto *G. fasciculatum* só ou mais P (solúvel ou rocha) foram semelhantes, em relação a produção de matéria seca. Para *Galactia*, as respostas de produção foram ligeiramente influenciadas pelos FMVA; a absorção de N variou pouco, sendo maior com FMVA mais P

solúvel, e a absorção de P, foi ligeiramente aumentada pelo FMVA; não houve efeito de FMVA na fixação biológica de N₂ (FBN) em *Galactia*, sendo elevada a FBN na presença de P solúvel; a infecção radicular por FMVA e a dependência dessa leguminosa ao FMVA foram baixas.

Paulino e Azcon (1986), estudaram as respostas de *Centrosema pubescens* inoculada com rizóbio específico e com fungo micorrízico *Glomus fasciculatum*, juntamente com microrganismos solubilizadores de fosfato. A inoculação das plantas com FMVA resultou em absorção mais eficiente de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e produção de biomassa da planta. Os efeitos simbióticos da micorriza foram aumentados na presença de microrganismos solubilizadores de fósforo: um fungo e uma bactéria. A combinação de dois fungos, micorriza e solubilizador de fosfato, foi o tratamento mais efetivo com os dois fosfatos de rocha estudados. Foi evidenciada uma clara interação entre os microrganismos. Os resultados indicam que o crescimento, nutrição, nodulação e atividade de nitrogenase em *Centrosema pubescens*, podem ser melhorados pela colonização das raízes por *G. fasciculatum*, e o fungo ou a bactéria solubilizadores de fosfato, realçaram a eficiência da micorriza vesicular-arbuscular.

As MVA por terem pequena biomassa fúngica na raiz e não possuírem manto, armazenam pequena quantidade de nutrientes, mas há indicações de que elas podem promover uma reciclagem interna nas raízes, através da conexão de hifas entre raízes com estádios fisiológicos diferentes, como raízes mais velhas

e aquelas mais ativas, da mesma planta ou de plantas diferentes (Siqueira & Franco, 1988; Manjunath, 1990)

6 - EFEITO DE AGROTÓXICOS NA SIMBIOSE FMVA + RHIZOBIUM + LEGUMINOSA

A infecção micorrízica de *Glomus mosseae* em *Calopogonium mucunoides*, não foi afetada por diferentes aplicações (até 10 pulverizações, com intervalo semanal) do inseticida monocrotophus (dimetil fosfato 3 hidróxi-n-metil-cis-crotonamida) segundo Almeida et al. (1986); enquanto o nematicida phenamiphos também não influenciou o crescimento de leucena em simbiose com FMVA. (Habte e Manjunath, 1988).

Segundo Siqueira e Franco (1988), a fumigação com brometo de metila elimina os propágulos dos FMVA e o benomyl inibe a colonização. Em geral, os fungicidas sistêmicos diminuem a colonização micorrízica, enquanto os não sistêmicos têm efeito variável, na micorrização e esporulação.

Segundo Smith (1978) e Trappe et al (1984), o uso de inseticidas, fungicidas e herbicidas, nas doses recomendadas, mostrou pouco efeito sobre a infecção de FMVA.

Observa-se que a influência de agrotóxicos na simbiose micorrízica mostra-se bastante variável, com resultados diferenciados em função de condições de ambiente, solo, planta e FMVA, evidenciando a necessidade de maiores estudos nessa questão de grande relevância ecológica.

7 - EFEITO DE FMVA + RHIZOBIUM NA NODULAÇÃO E FBN EM LEGUMINOSAS.

A inoculação conjunta de *Rhizobium* e FMVA aumenta a nodulação e a fixação biológica de nitrogênio (FBN) em leguminosas (Azcon-Aguilar e Barea 1979; Sivaprasad et al., 1983; Gupta & Punj, 1990).

A inoculação conjunta FMVA (*G. fasciculatum*) e *Rhizobium* (TAL-82) em *Leucaena leucocephala* cv. K-340, aumentou mais a nodulação, crescimento e absorção de P do que quando eles foram inoculados separadamente e quando houve adição de adubos fosfatados. Inoculação de FMVA isolado foi superior à de *Rhizobium* isolado, na nodulação e crescimento. O melhor tratamento foi com FMVA + *Rhizobium* + 50 kg P₂O₅.ha⁻¹ (Sivaprasad et al., 1983).

Siratiro foi inoculado com FMVA (*Glomus macrocarpum*, *Scutellospora heterogama*, *S. agregaria* e *Acaulospora* sp) mais *Rhizobium* (CB-756), em um latossolo amarelo de Manaus, com baixo teor de P. A matéria seca das plantas micorrizadas variou de 4,5 a 6,5 g/pote e foi de 0,5 g/pote, nas não micorrizadas. Não foi encontrada nodulação em plantas não micorrizadas, enquanto no tratamento com FMVA + *Rhizobium*, o crescimento da planta e a nodulação, foram sensivelmente aumentados. Os resultados mostraram que o aumento no crescimento foi devido, principalmente, a uma melhor

utilização do P pelas MVA, que aumentou a nodulação e melhorou a nutrição nitrogenada (Bonetti, 1984).

Lynd et al. (1985), verificaram que a nodulação e a atividade da nitrogenase em siratro, foram correlacionadas com o aumento de FMVA, P e K, sugerindo que, uma simbiose favorável com estirpes efetivas de *Rhizobium* e FMVA é essencial para se obter altos níveis de fixação biológica de N.

Manjunath et al. (1984), estudaram a resposta de *Leucaena* à inoculação com *Glomus fasciculatum* e/ou rizóbio, em um solo não esterilizado e deficiente de P. *Glomus fasciculatum* só melhorou a nodulação pelo rizóbio nativo, enquanto o rizóbio inoculado só melhorou a colonização de raízes com FMVA nativos. A inoculação com ambos, rizóbio e FMVA, melhorou a nodulação, colonização micorrízica, matéria seca, N% e P% das plantas, quando comparados com a inoculação isolada dos dois microrganismos.

Certas bactérias diazotróficas de vida livre (*Azotobacter*), são estimuladas pelas substâncias exsudadas na micorrizosfera, especialmente o manitol, podendo favorecer assim, as bactérias fixadoras de N₂ na rizosfera das plantas. (Siqueira e Franco, 1988).

8 - COMPETIÇÃO DA TRÍPLICE SIMBIOSE POR FOTOSSINTATOS

Diversos estudos têm mostrado que rizóbio e FMVA não competem por sítios de infecção (Barea e Azcón-Aguilar, 1983).

A captação de P pelos FMVA em leguminosas noduladas, parece ser responsável pelo início da cadeia de reações cruzadas entre os simbiossitos, cuja atividade parece determinada pelo conteúdo em carboidratos solúveis (Azcón-Aguilar, 1989 informação pessoal). Segundo Waidyanatha et al (1979), as FMVA são mais importantes para a fixação do N_2 do que para a planta, pois a fixação de N_2 aumenta a exigência em P.

A micorrização, segundo Baas et al. (1989) representa um dreno adicional de fotossintatos nas raízes, podendo consumir entre 0 e 17% de fotossintatos originários da fotossíntese total da planta. Para cobrir esta demanda adicional provocada pela respiração dos fungos e maior absorção iônica das raízes, as plantas micorrizadas elevam a taxa de assimilação de CO_2 e/ou reduzem os carboidratos armazenados. Infelizmente, segundo Siqueira (1991) pouco se conhece sobre estes mecanismos.

As condições de limitação de carboidratos afetam mais a nodulação e a fixação biológica de nitrogênio que a micorrização (Bayne et al., 1984), o que sugere que as bactérias fixadoras de N_2 são competidores menos eficazes que os fungos micorrízicos nessas condições. Segundo Sivaprasad e

Rai (1985), esta competição depende do estágio em que se encontra a planta. Assim, Sivaprasad e Rai (1985), mediram a relação ^{14}C raiz/ ^{14}C nódulo em guandu inoculado com rizóbio e FMVA. Aos 25 dias após o plantio independente do tratamento, esta relação foi < 1 , isto sugere que nos estádios iniciais, o "carreamento" do C para os nódulos é mais efetivo. Aos 35 dap, quando aconteceu o máximo de atividade de nitrogenase e suficiente MVA, a relação foi em torno de 1. Já na senescência dos nódulos, aos 60 dap, houve um aumento súbito na relação. Com isto se vê claramente a competição dos nódulos e raízes pelos fotossintatos translocados para o sistema radicular.

Wallace *et al.* (1982), verificaram que a micorrização de *Panicum coloratum*, sob severo regime de corte, não foi suficiente para evitar a baixa acumulação de N nas folhas e o teor desse elemento na bainha. Segundo os autores, isto poderia ser explicado pela competição por fotossintatos para a absorção de N pelas raízes do capim e pelo requerimento dos FMVA.

9 - CONCLUSÕES

- . A presença de micorrizas VA efetivas nas raízes de forrageiras proporciona maior crescimento e FBN das plantas, maior absorção de nutrientes, melhoria nas propriedades físicas do solo, melhor crescimento de plantas sob estresses (seca) e amenização de doenças e nematódios que porventura ocorram nessas culturas.

- . As gramíneas forrageiras são menos responsivas à micorrização do que as leguminosas e entre estas também se observam diferenças.
- . As leguminosas forrageiras com menor abundância de pêlos absorventes são mais dependentes das MVA do que as plantas com maior abundância de pêlos absorventes. O sucesso da inoculação e micorrização nas leguminosas em solos tropicais, depende do nível de P do solo ser inferior àquele encontrado na planta com 80% do seu crescimento máximo, e de que o grau da capacidade de infectar natural do solo seja baixo.
- . A manutenção dos efeitos da micorrização efetiva em forrageiras, em solos pobres em P, depende da reposição de níveis adequados desse elemento no solo.
- . A seleção de fungos micorrízicos VA para leguminosas apresenta respostas ao nível de cultivares.
- . A melhor performance de MVA em relação ao pH do solo, depende de uma forma geral, do gênero de FMVA. Assim, *Glomus* coloniza melhor geralmente num pH próximo ao neutro, enquanto os demais gêneros podem se estabelecer até mesmo em pH ácido.
- . Os nutrientes, de uma maneira geral, quando adequados para a micorrização, em níveis relativamente não muito altos, proporcionam aumento de crescimento de leguminosas micorrizadas.
- . Há um efeito sinérgico de FMVA, rizóbio e microrganismos solubilizadores de fosfatos em forrageiras.

- . Pode ocorrer competição temporal pelos fotossintatos da planta, entre os nódulos e os FMVA.
- . Uma vez ultrapassadas as dificuldades encontradas quanto à produção de inoculantes comerciais para FMVA, as espécies fúngicas selecionadas deveriam ser efetivas, competitivas, persistentes e com tecnologias viáveis para produção, armazenamento e aplicação desse inoculante.