

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE AGRONOMIA

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO VERDE SOBRE O POTENCIAL DE INÓCULO
DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E PRODUÇÃO DA MANDIOCA
(*Manihot esculenta*, Crantz).

Tese apresentada por

FRANCISCO ADRIANO DE SOUZA

Seropédica, RIO DE JANEIRO

1996

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE AGRONOMIA

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO VERDE SOBRE O POTENCIAL DE INÓCULO
DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E PRODUÇÃO DA MANDIOCA

(*Manihot esculenta*, Crantz).

FRANCISCO ADRIANO DE SOUZA

COMITÊ DE ORIENTAÇÃO:

Dr. DEJAIR LOPES DE ALMEIDA

Dra. ELIANE MARIA RIBEIRO DA SILVA

Dr. JOSÉ GUILHERME MARINHO GUERRA

Tese submetida como requisito parcial para a
obtenção do grau de ***Magister Scientiae*** em
Agronomia, área de concentração em Ciência do
Solo.

SEROPÉDICA, RIO DE JANEIRO.

MARÇO DE 1996.

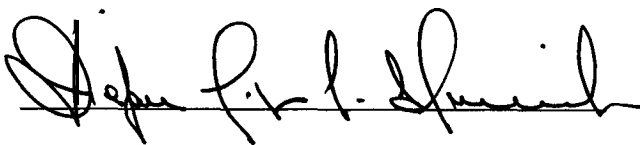
INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO VERDE SOBRE O POTENCIAL DE INÓCULO
DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E PRODUÇÃO DA MANDIOCA
(*Manihot esculenta*, Crantz).

AUTOR

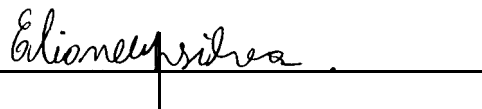
FRANCISCO ADRIANO DE SOUZA

Aprovado em: 22 /03/1996.

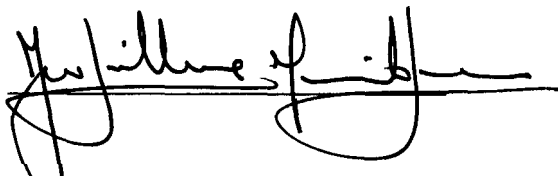
DEJAIR LOPES DE ALMEIDA



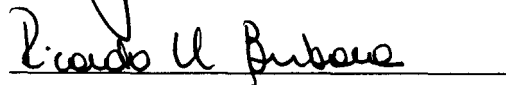
ELIANE MARIA RIBEIRO DA SILVA



JOSÉ GUILHERME MARINHO GUERRA



RICARDO LUIZ LOURO BERBARA



Aprovada em 22 de março de 1996

CADA CAMINHO É UM ENTRE UM MILHÃO

Porém, não pode se esquecer que um caminho não é mais do que isto. Se pensas que não deves segui-lo, não fiques nele sob nenhuma circunstância. Um caminho não é mais do que um caminho. Que Tu o abandones quando teu coração assim indique não quer dizer que estejas desprezando-te ou desprezando os outros. Mas tua decisão de seguir esse caminho ou afastar-te dele não deve ser produto do temor nem da ambição. Te advirto: examina cada caminho atentamente. Experimenta-o quantas vezes achares necessário. Depois questiona-te: Tem coração este caminho? Todos os caminhos são iguais, não nos levam a lugar nenhum. Atravessam a mata maligna, internam-se nela e vão por ela. Se esse caminho tem coração, então é bom. De modo contrário, não te servira de nada.”

Don Juan.
C. Castañeda

À meu Pai (*in memorium*), que soube me dar
liberdade, sabedoria e apoio na escolha
dos meus caminhos, dedico.

AGRADECIMENTOS

- Ao prof Dr Nelson Moura Brasil Amaral Sobrinho por ter aberto as portas para a minha carreira científica;
- Ao prof Dr Ricardo L. L. Berbara pela amizade e orientação no início dos meus estudos em microbiologia do solo e associações micorrízicas;
- A pesquisadora Dra. Sandra Farto Botelho Trufem do Instituto de Botânica de São Paulo pela amizade, auxílio e conhecimentos transmitidos na identificação taxonômica das espécies de fungos micorrízicos nativos e pela acolhida em seu laboratório.
- Aos pesquisadores (a) Dra. Eliane M.R. da Silva, Dr Dejair Lopes de Almeida e Dr José Guilherme M. Guerra pela orientação, estímulo e amizade nos trabalhos de iniciação científica e da tese, sem os quais seria impossível realizá-los;
- A José Antônio R. Pereira pela amizade e por ter cedido sua casa e seu computador para a redação final desta tese;
- A Dorimar do Santos Felix pela sua atenção para comigo e pela organização das referências bibliográficas;
- Aos funcionários de campo e laboratório e bolsistas do CNPAB pela ajuda e amizade;

- Ao Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia - EMBRAPA pela oportunidade de realizar o este trabalho;
- A CAPES pela concessão de bolsas de estudos e a FAPERJ pelo auxílio financeiro ao projeto de pesquisa;
- À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e seus mestres, pelo apoio e ensinamentos transmitidos;
- A todos que de alguma forma colaboraram para a realização desta tese.

Biografia do Autor

Nascido à 01 de Abril de 1964 na cidade de Santos, SP. Filho de Maurício Adriano de Souza e Dolores Rodrigues de Souza. Ingressou em Agosto de 1985 no curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, concluindo-o em Janeiro de 1991. Foi bolsista de Iniciação Científica do Departamento de Solos da UFRRJ e do Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia.

Foi pesquisador da Área de Fertilidade do Solo da PESAGRO-RIO lotado na Estação Experimental de Itaguaí, de Janeiro a Maio de 1994, e do Instituto Agrônomo onde trabalhou no Programa Seringueira, Campinas, SP, de Abril a Dezembro de 1994. Em Dezembro de 1994 ingressou no quadro do CNPAB-EMBRAPA, onde vem desenvolvendo pesquisas na área de microbiologia do solo.

Em março de 1991 ingressou no curso de Pós-graduação em Ciência do Solo da UFRRJ, no nível de Mestrado, concluindo-o em 1995.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO GERAL	XV
GENERAL SUMMARY	XVII
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. CAPÍTULO I: REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. ASPECTOS GERAIS DOS FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES	3
2.2. DEPENDÊNCIA MICORRÍZICA DE PLANTAS DE MANDIOCA.....	9
2.3. EMPREGO DA TÉCNICA DO "NÚMERO MAIS PROVÁVEL" PARA FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES	11
2.4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14
3. CAPÍTULO II. Efeito de pré-cultivas sobre o potencial de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares e a produção de mandioca (<i>Manihot esculenta</i> , Crantz)	22
3.1. RESUMO	23

3.2.	INTRODUÇÃO	25
3.3.	MATERIAL E MÉTODOS	27
3.3.1.	PRÉ-CULTIVAS	27
3.3.2.	LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	27
3.3.3.	CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	28
3.3.3.1.	PRIMEIRO CICLO (PRÉ-CULTIVAS).	28
3.3.3.2.	SEGUNDO CICLO (MANDIOCA).	29
3.3.4.	COLETA DE AMOSTRAS	29
3.3.5.	VARIÁVEIS ANALISADAS	30
3.3.6.	COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA E CONTAGEM DE ESPOROS	30
3.3.7.	NÚMERO DE PROPÁGULOS INFECTIVOS.	30
3.3.8.	ANÁLISE DOS TECIDOS VEGETAIS.....	31
3.3.9.	PESO E TEORES DE N, P, K, Ca e Mg NAS SEMENTES DAS PLANTAS UTILIZADAS	31
3.3.10	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISES ESTATÍSTICAS	32
3.4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
3.4.1.	CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E ACUMULAÇÃO DE NUTRIENTES.....	33
3.4.2.	COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA.	37
3.4.3.	ESPÉCIES DE FUNGOS IDENTIFICADAS	38
3.4.4.	NÚMERO DE ESPOROS E DE PROPÁGULOS INFECTIVOS.....	40
3.5.	CONCLUSÕES.....	48
3.6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	49

4. CAPÍTULO III. Efeito de pré-cultivas, sobre a efetividade simbiótica do fungo

<i>Glomus manihotis</i> e no desenvolvimento da Mandioca (<i>Manihot esculenta</i> , Crantz c.v. Saracura).	55
4.1. RESUMO	56
4.2. INTRODUÇÃO	58
4.3. MATERIAL E MÉTODOS	61
4.3.1. PRÉ-CULTIVAS	61
4.3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISES ESTATÍSTICAS	61
4.3.3. PRODUÇÃO DE INÓCULO E INOCULAÇÃO	62
4.3.4. FUMIGAÇÃO DO SOLO	62
4.3.5. PLANTIO E CONDUÇÃO DO ENSAIO	63
4.3.6. PARÂMETROS AVALIADOS	63
4.3.6.1. COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA	63
4.3.6.2. ANÁLISE DOS TECIDOS DA MANDIOCA	63
4.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
4.4.1. COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA RADICULAR DA MANDIOCA.....	65
4.4.2. ACUMULAÇÃO DE NUTRIENTES NA MANDIOCA.....	68
4.4.2.1. NITROGÊNIO	68
4.4.2.2. FÓSFORO	72
4.4.2.3. POTÁSSIO..	73
4.4.3. PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DA MANDIOCA	75
4.5. CONCLUSÕES	82

4.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 83

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO II.

Quadro 1: Peso e teores de N, P, K, Ca e Mg em sementes de leguminosas e de Sorgo (BR 005).....	31
Quadro 2. Produção de matéria seca e acumulação total de nitrogênio, fosforo, potássio, cálcio e magnésio na parte aérea das leguminosas utilizadas e do sorgo (BR 005).....	34
Quadro 3: Teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na parte aérea das leguminosas e do sorgo (BR 005).....	34
Quadro 4: Produtividade de grãos e total de Sorgo (BR 005), teores e acumulação de N, P, K, Ca e Mg	35
Quadro 5. Taxa de colonização radicular de fungos MA, produtividade e produção de folhas, ramos e tubérculos de mandioca após os pré-cultivas (médias de quatro repetições).....	36

Quadro 6: Taxa de colonização radicular, número de esporos e de propágulos de fungos micorrízicos arbusculares ao final dos pré-cultivos (média de quatro repetições).....	38
Quadro 7: Frequência de ocorrência das espécies de fungos micorrízicos arbusculares avaliada a partir de esporos coletados no início e final de dois ciclos de cultivo.....	40

CAPÍTULO III.

Quadro 1. Taxa de colonização micorrízica da mandioca em função da fonte de inóculo de <i>Glomus manihotis</i> e da desinfestação do solo	66
Quadro 2. Taxa de colonização micorrízica da mandioca em função do pré-cultivo e da desinfestação do solo.....	67
Quadro 3. Acumulação total (raízes + parte aérea) de N na mandioca em função do pré-cultivo e da desinfestação do solo.....	69
Quadro 4. Acumulação total (raízes + parte aérea) de nitrogênio na mandioca em função do pré-cultivo e da fonte de inóculo de <i>Glomus manihotis</i>	71
Quadro 5. Acumulação total (raízes + parte aérea) de P na mandioca em função do pré-cultivo e da desinfestação do solo	72
Quadro 6. Acumulação total de P e K na mandioca em função da fonte de inóculo de <i>Glomus manihotis</i>	73
Quadro 7. Acumulação total (raízes + parte aérea) de K na mandioca em função do pré-cultivo e da desinfestação do solo.....	74

Quadro 8. Produção de matéria seca total (raízes + parte aérea) em função do pré-cultivo e da desinfestação do solo.....	75
Quadro 9. Produção de matéria seca da parte aérea da mandioca em função do pré-cultivo e da desinfestação do solo.....	77
Quadro 10. Produção de matéria seca da parte aérea da mandioca em função da desinfestação do solo e da fonte de inóculo de <i>Glomus manihotis</i>	78
Quadro 11. Produção de matéria seca de raízes em função do pré-cultivo e da desinfestação do solo.....	79
Quadro 12. Relação raiz/parte aérea de plantas de mandioca em função do pré-cultivo e da fonte de inóculo de <i>Glomus manihotis</i>	79
Quadro 13. Coeficientes de correlação e probabilidade entre taxa de colonização micorrízica e alguns parâmetros avaliados, calculado a partir dos dados totais (solo não fumigado e fumigado) ou parciais, isolando-se o fator desinfestação..	81

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II.

FIGURA 1: Número de esporos e de propágulos infectivos no início (1) (preparo do solo) e após os tratamentos de ausência de vegetação (AV) e pré-cultivas: feijão de porco (F), mucuna (M), crotalaria (C), guandu (G) e sorgo (S).....	43
FIGURA 2: Correlação entre o número de esporos e de propágulos infectivos para ausência de vegetação e leguminosas.....	44

RESUMO GERAL

Numa primeira fase, avaliou-se o efeito de pré-cultivas com leguminosas e sorgo sobre o potencial de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares e produção de mandioca. O experimento teve dois ciclos de cultivo. O primeiro constou do plantio de diferentes coberturas vegetais e um tratamento com ausência de cobertura e o segundo com o plantio de mandioca. O experimento foi montado no CNPAB-EMBRAPA - Seropédica, RJ, sob condições de campo, em parcelas com 30 m², em delineamento experimental de blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições. Como pré-cultivas (primeiro ciclo) foram avaliadas quatro espécies de leguminosas e uma gramínea, a saber: feijão-de-porco, mucuna preta, crotalária juncea, guandu e sorgo (C.V. BR 005), além do tratamento ausência de vegetação (solo mantido sem plantas). As plantas cresceram por 82 dias. O segundo ciclo foi iniciado após corte da parte aérea das coberturas vegetais, quando então plantou-se mandioca cv. Saracura. A produtividade de raízes de mandioca variou de 12,76 à 17,20 t.ha⁻¹, porém, os tratamentos não proporcionaram diferenças significativas. As plantas de sorgo aumentaram o número de propágulos infectivos em relação a ausência de vegetação,

demonstrando que o uso de espécies vegetais com capacidade para elevar o número de propagulos infectivos é uma alternativa viável ao problema da inoculação de culturas micotróficas à nível de campo. Os dados evidenciaram que a técnica do Número Mais Provável apesar de laboriosa apresenta sensibilidade para diferenciar o efeito dos tratamentos em relação a técnica de contagem de esporos. Foram identificadas 16 espécies de fungos MA constatado-se que algumas espécies sofreram uma alteração da sua frequência de ocorrência com os cultivos. Posteriormente, avaliou-se a resposta à inoculação com o fungo *Glomus manihotis* sobre a produção da mandioca em condições de casa-de-vegetação em um delineamento experimental de blocos casualizados com 5 repetições, em esquema fatorial 3x3x2, a saber: 3 amostras de solo coletadas sob diferentes coberturas vegetais (sem cobertura, crotalára juncea e sorgo); 3 fontes de inoculação (ausência, suspensão de esporos e inóculo de solo) e dois níveis de desinfestação do solo (ausência e presença de fumigação). O pré-cultivo com crotalária promoveu os maiores benefícios, estimulando a micorrização no solo não fumigado e promovendo aumentos na acumulação de N e matéria seca total, tanto de raízes como da parte aérea em ambos tratamentos de desinfestação do solo em relação aos demais pré-cultivos. A inoculação promoveu um aumento na produção de matéria seca da parte aérea da mandioca em relação ao tratamento não inoculado no solo fumigado e aumentou a acumulação de N, P e K, sendo que o pré-cultivo com crotalária inoculado com inóculo de solo promoveu maior acumulação de N em relação aos demais pré-cultivos. No solo não fumigado não houve resposta a inoculação. A produção de matéria seca da parte aérea da mandioca no solo não fumigado foi em média

42,7% menor do que no solo fumigado. Já a produção de raízes apresentou comportamento contrário, produzindo 41,9 % a mais em relação ao solo fumigado.

GENERAL SUMMARY

The effect of pre-crops on the inoculum potential (IP) of arbuscular mycorrhizal fungi (AMP) was evaluated in the field. The experiment had two growing cycles. In the first several cover crops was sown in the plots and in the second cassava was grown in the same plots. The experiment was carried out at CNPAB-EMBRAPA, Seropédica, RJ, Brazil, in plots with 30 m² arranged in a randomised block design with four replications. As pre crops were used four legume species: *Canavalia ensiformes*, *Mucuna aterrina*, *Crotalaria juncea* and *Cajanus cajan*; and a grass Sorghum (BR 005) in relation to plots without plants. After a grown period of 82 days, at the same plots, it was planted cassava stakes, which grown for eight months. The number and frequency of spores, root colonisation and number of infective propagules (using the Most Probable Number technique) of AMP was evaluated at the beginning and in the end of each growing cycle. The yield of cassava roots ranged from 12, 76 to 17, 20 ton.ha⁻¹. No significant effects were found between the treatments. The number of infective propagules were significantly increased after shorgum crop in relation to plots without plants. It was showed that identification of plant species capable to increase

the IP in the field soils may be a good way to solve the problem of inoculum production to mycotrophic crops in the field. The MPN technique showed better results than spore counts. There were 16 AMF species identified, and some of them had a significant frequency changed after the growing cycles. Subsequently, the effectivity of *Glomus manihotis* for cassava production was evaluated in a greenhouse. This experiment was set up in three factor (3x3x2) randomised complete block design with five replications. The factor were: soils collected after three different cover crops (Sorghum, *Crotalaria juncea* and in the plots without plants), three sources of inoculum (no inoculation, spore suspension and crude inoculum) and two levels of soil fumigation (with and without fumigation). The soil collected from *Crotalaria* had the better results. It increase the mycorrhization in the soil without fumigation and promoted a significant increase of N and total dry matter of cassava plants in relation to others cover crops. The inoculation promoted a significant increased of dry matter of cassava shoots in relation to no inoculated treatments at the no fumigated soil and increased the content of N, P and K. The legume cover crop inoculated with crude inoculum had better results for N content relation to others treatments. The dry matter yields of cassava shoots was 42,7 % less at the no fumigated soil than in the fumigated. On the other hand, roots yields showed an opposite behaviour. The yield in no fumigated soil was 41,9% higher than in the fumigated.

1. INTRODUÇÃO GERAL:

As associações micorrízicas datam do surgimento das primeiras plantas terrestres, havendo vestígios fósseis da formação de associações micorrízicas que remontam a era do Devoniano. A ciência moderna fez o primeiro relato sobre estas associações no final do século XIX, quando FRANK em 1885, postulou que estes fungos, quando colonizavam as raízes, exerciam a função de pelos absorventes. Uma boa evidência experimental foi obtida por ASSAI em 1944, citado por ZAMBOLIM & SIQUEIRA (1985) ao observar que plantas, crescendo na presença de fungos micorrízicos em solo não tratado, apresentavam crescimento superior ao das plantas não infectadas. Na década de 60 e de 70 ocorreu uma verdadeira explosão de trabalhos científicos que demonstraram o efeito destes simbiossiontes para o desenvolvimento de plantas, principalmente sob condições de casa-de-vegetação.

No final da década de 80, surgiram vários trabalhos à nível de campo, os quais trazem relatos de algumas práticas de manejo que afetam o desenvolvimento tanto da planta como do fungo micorrízico.

Ao longo da década de 90 estão sendo publicados anualmente centenas de trabalhos sobre os mais diferentes aspectos desta associação. Notadamente vem ocorrendo uma grande evolução tanto na quantidade como na qualidade dos artigos gerados. A última edição do “Agrícola” (1992 a setembro 1995) trouxe mais de novecentos títulos sobre micorrizas. O enfoque dos trabalhos tem se voltado para os aspectos ligados a biologia molecular, ecologia e manejo destes simbioses que, ainda hoje apresentam um caráter biotrófico obrigatório. Tal fato me faz afirmar que o atual “estado de arte” do conhecimento científico sobre estas associações pode ser comparado a ponta de um “iceberg”.

Este trabalho teve como objetivos a identificação de plantas capazes de elevar o potencial de inóculo dos fungos micorrízicos arbusculares nativos de um solo e seus efeitos sobre o desenvolvimento e a produção de mandioca.

2. CAPITULO I - REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos Gerais dos fungos micorrízicos arbusculares

As micorrizas arbusculares (MA) são associações entre raízes de plantas vasculares colonizadas com fungos do solo da ordem Glomales (MORTON & BENNY, 1990), resultando uma associação simbiótica mutualista em que o macrosimbionte (vegetal) e o microsimbionte (fungo) se interrelacionam de forma dinâmica e com perfeita integração morfológica, fisiológica e funcional (SIQUEIRA & FRANCO, 1988).

A penetração e a colonização do fungo nas raízes da planta hospedeira resultam em modificações na fisiologia, bioquímica e nutrição da planta hospedeira, exercendo enorme efeito sobre o seu comportamento (SIQUEIRA & FRANCO, 1988). Os efeitos benéficos das associações MA sobre a planta hospedeira já estão amplamente demonstrados na literatura (MOSSE, 1973; SANDERS et al, 1975; POWELL & BAGYARAJ, 1984; SIQUEIRA & FRANCO, 1988; SIEVERDING, 1991). Destaca-se, especialmente, o aumento na absorção de fósforo (P) (MOSSE, 1973; BOLAN, 1991).

O P é um dos macronutrientes exigidos em menores quantidades pelas plantas, não obstante, trata-se do elemento mais usado na adubação no Brasil (RAIJ, 1987). Assim, a deficiência de P representa um dos problemas agrônômicos mais sérios nos trópicos úmidos, onde predominam solos ácidos (podzólicos e latossolos) com elevados teores de óxidos e hidróxidos de Fe e Al e argila de atividade baixa, que fixam grandes quantidades de P. Nestas condições, são necessárias quantidades expressivas de fertilizantes fosfáticos para corrigir as deficiências deste elemento (VELLOSO, 1986).

A maior eficiência na absorção de P das plantas micorrizadas se deve, basicamente, a exploração de um maior volume de solo e ao transporte do P ser mais rápido dentro das hifas fúngicas do que a difusão deste elemento no solo (BOLAN, 1991). Entretanto, os FMA não solubilizam P. Por outro lado, as plantas micorrizadas apresentam um aumento na absorção do P contido em fontes pouco solúveis, como os fosfatos de Fe e Al e rochas fosfáticas, possivelmente pelo deslocamento do equilíbrio das reações de fixação do P (BOLAN, 1991). LOPES & SIQUEIRA (1981) citados por LOPES *et al* (1983) estimaram que o equivalente a 0,26 milhão de toneladas de P_2O_5 (com base em 1978) poderia ser economizado anualmente na área de Cerrados do Brasil se as MA pudessem ser manejadas de modo a aumentar em 15% a absorção de P.

Um perfeito entendimento da ecologia das espécies de fungos MA é necessário, para nos habilitarmos a manipular a simbiose micorrízica de modo a beneficiar os sistemas agrícolas de baixos “inputs” (DODD *et al*, 1990). O conhecimento e as implicações das características dos fungos MA, sobre o manejo das associações MA são essenciais para a otimização dos benefícios desta simbiose.

Destacam-se três características importantes das associações micorrízicas arbusculares para melhor manutenção e ou otimização destes simbiossiontes: (1) ausência de especificidade hospedeiro-fungo; (2) a ocorrência generalizada na maioria dos solos e em mais de 90% das plantas cultivadas; e (3) o caráter restritivo do crescimento do fungo em meios artificiais de cultivo na ausência de uma planta hospedeira (LOPES, 1989).

A maioria dos fungos MA não apresenta especificidade por plantas hospedeiras (MORTON, 1988; SIEVERDING, 1989). Embora, a especificidade tenha sido relatada para algumas espécies (SIEVERDING, 1989), normalmente ocorre uma seletividade “preferencial” (habilidade discriminatória) entre as espécies de uma determinada população de fungos MA e o macrosimbionte (SIEVERDING, 1989), decorrente da influência das condições edafoclimáticas (SAIF, 1986), fazendo com que a frequência de ocorrência das espécies de uma determinada população sofra variações com os cultivos. Estudos no CIAT relatam que anos sucessivos de monocultura de mandioca favorecem a multiplicação de *Acaulospora* spp. e ao aumento destes esteve associado a uma redução na produtividade da cultura (SIEVERDING, 1989). Práticas de cultivo, fertilizações e a calagem do solo também são fatores determinantes desta seletividade (SCHENCK & KINLOCH, 1980; SAIF, 1986). Estes dados sugerem que hospedeiros e o ambiente podem influenciar, distintamente, a frequência de ocorrência de fungos MA.

Algumas plantas não crescem sem uma associação com fungos micorrízicos (micotróficas obrigatórias), outras crescem bem sem a micorrização em solos férteis, mas são beneficiadas pela associação em solos com baixos níveis de nutrientes disponíveis (micotróficas facultativas) e outro grupo não forma a associação sob nenhuma condição

(não micotróficas). JANOS (1980) teoriza que o predomínio de certas espécies vegetais em um ecossistema é influenciado por esta característica de dependência ao micotrofismo, sendo afetada pelo nível de fertilidade do solo e pela presença de endófitos no local. Assim, diversas culturas de importância econômica que são dependentes de uma associação efetiva com estes fungos, como a mandioca, batata doce, citros, alho, cebola, kudzu tropical e o estilosantes (YOST & FOX, 1979; LOPES, et al, 1983; PAULA et al, 1992) só conseguem se desenvolver em condições naturais quando colonizadas por fungos MA.

A colonização de uma planta micotrófica se dá a partir de propágulos infectivos presentes no meio de crescimento do vegetal. Estes podem provir de esporos, micélio externo e/ou interno (raízes infectadas contendo vesículas ou clamidosporos). Como os fungos MA são de ocorrência generalizada na maioria dos solos, para que uma planta responda a inoculação com um determinado fungo MA, o solo inoculado deverá ter um baixo potencial de inóculo ou alternativamente, conter espécies que são menos efetivas do que o fungo inoculado em sua capacidade de promover o crescimento da planta (ABBOTT & ROBSON, 1982). Além da maior efetividade simbiótica, o fungo introduzido deve ter a capacidade de infectar, colonizar e multiplicar-se nas raízes da planta hospedeira, competindo com os fungos nativos.

MIRANBA (1989) destaca duas linhas de pesquisa para trabalhos com fungos MA: (1) o manejo das espécies nativas através do uso adequado do solo e culturas que permitam a manutenção e proteção do sistema simbiótico naturalmente existente; (2) a viabilização da inoculação com espécies exóticas, está, ainda dificultada pela limitação da produção massiva de inoculante.

A utilização de pré-culturas para aumentar o potencial de inóculo de fungos MA nativos do solo para uma cultura posterior, tem apresentado benefícios para a cultura do alho (FARAH Jr, 1991), mandioca (SIEVERDING, 1991), girassol (HARINIKUMAR & BAGYARAJ, 1989), sendo este benefício dependente da espécie de planta utilizada como cultura antecessora. SIMPSON & DAFT (1990) avaliaram a produção de esporos de cinco espécies tropicais (duas leguminosas: *Cicer arietinum* e *Arachis hypogaea* e três gramíneas: milho, sorgo e painço) em condições de casa-de-vegetação, sendo que um maior número de esporos foi obtido com o cultivo das gramíneas do que com leguminosas. O número de esporos em cada uma destas espécies cresceu a uma taxa constante até que a máxima acumulação de matéria seca fosse atingida, quando então cessou, sendo que, a esporulação correlacionou positivamente com o comprimento de raízes infectadas. BALTRUSCHAT & DEHNE (1988, 1989) constataram o efeito depressivo da utilização de adubação verde com plantas não micotróficas (*Brassica napus* e *Raphanus sativus*) sobre o potencial de inóculo de fungos MA. DODD et al (1990) concluíram que o emprego de pré-culturas usadas como prática de manejo, pode não somente aumentar a número de esporos de fungos MA nativos e introduzidos, mas, também alterar a população de fungos MA dependendo da planta hospedeira utilizada.

A multiplicação de uma única espécie fungica utilizando plantas hospedeiras diferentes, pode resultar em alterações na efetividade simbiótica desta espécie. Ensaios realizados no CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (1981) com a cultura da mandioca evidenciaram que o inóculo mais efetivo para a mandioca era o produzido com plantas da própria mandioca. Resposta semelhante foi obtida por SIMPSON

& DAFT (1990) para a produção de esporos, embora, neste ensaio, o efeito promotor do crescimento não estivesse ligado à fonte de inóculo. HETRICK & WILSON (1990) constataram que a influência da microbiota associada ao esporo afeta a sua efetividade, embora os resultados não sejam consistentes. PAULA et al (1992) observaram um efeito sinérgico da inoculação conjunta de fungos MA e bactérias diazotróficas na tuberação da batata doce. Posteriormente estas bactérias foram isoladas dos esporos, sendo esta, uma possível explicação para este tipo de resposta, no entanto, o mecanismo envolvido no processo é pouco conhecido. LOUIS & LIM (1987) avaliaram a variação sazonal no número de esporos e a colonização radicular em amostras de dois solos coletados sob floresta tropical úmida em Singapura. A variação no número de esporos e na taxa de colonização em ambos os sítios de coleta apresentaram o mesmo comportamento, ou seja, quando o número de esporos era alto, a taxa de colonização era baixa, mas, quando o número de esporos declinava, a colonização aumentava. A esporulação varia com o ciclo da cultura (SIMPSON & DAFT, 1990), chegando ao seu pico na época de máxima acumulação de matéria seca (ILAG et al, 1987).

O revolvimento do solo decresce a infecção micorrízica (EVANS & MILLER, 1988; FAIRCHILD & MILLER, 1988; McGONIGLE, et al, 1990; EVANS & MILLER, 1990; JASPER et al, 1989), e a absorção de P via FMA (EVANS & MILLER, 1988). FAIRCHILD & MILLER (1988) constataram que havia um aumento simultâneo e rápido na taxa de colonização micorrízica e na absorção de P durante três cultivos sucessivos quando um sistema que sofreu uma destruição da sua estrutura, era cultivado sem sofrer mais revolvimentos. O trabalho de EVANS & MILLER (1990) comprovou que a destruição da

malha de hifas é um componente importante neste fenômeno, sendo que sua importância, possivelmente, esteja ligada ao maior potencial de inóculo de solos não revolvidos e, provavelmente, a sua destruição é diretamente responsável por muitos dos efeitos depressivos causados pelo revolvimento do solo sobre a colonização micorrízica, e algumas evidências são apresentadas indicando que o micélio intacto também pode aumentar a capacidade de absorção de nutrientes independente do grau de colonização.

2.2. Dependência micorrízica de plantas de mandioca.

A importância das micorizas arbusculares (MA) para o desenvolvimento da mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz) já foi amplamente demonstrada (YOST & FOX, 1979; KANG et al, 1980; HÖWELER et al, 1982ab; HÖWELER & SIEVERDING, 1983; SIEVERDING & GALVEZ, 1988; KATO et al, 1990). Através desta associação a mandioca é capaz de crescer e produzir em solos com baixos níveis de nutrientes disponíveis (HÖWELER, 1980).

O principal benefício desta associação para a mandioca é o aumento na capacidade de absorção de nutrientes pelo seu sistema radicular, principalmente o P (HÖWELER, 1980). Embora plantas de mandioca micorizadas necessitem de menores teores de P disponíveis para que a sua produtividade chegue próximo à máxima, HÖWELER et al (1982b) determinaram que o nível crítico para a mandioca micorizada era de 15 $\mu\text{g.g}$ de solo⁻¹ e para as não micorizadas este nível passou para 190 μg de P disponível, ou seja, um aumento de 1260% no requerimento externo de P, para que o

desenvolvimento das plantas não micorizadas equivalesse ao das micorizadas. Quando o nível de P disponível no solo está muito abaixo ou muito acima deste nível crítico o desenvolvimento da colonização micorrizica é inibido (KOIDE & LI, 1990).

Assim, o benefício advindo das associações micorrízicas é dependente de uma interação entre o sistema radicular da planta hospedeira com os em determinadas condições edafoclimáticas. Desta forma, em um determinado local (solo) pode ocorrer uma população de fungos micorrízicos nativos com endófitos eficientes e não eficientes. Respostas à inoculação ocorrem quando a população de fungos micorrízicos nativos é ineficiente e/ou o potencial de inóculo é baixo (ABBOTT & ROBSON, 1982). Como foi mostrado por HÖWELER & SIEVERDING (1983), nos locais onde ocorria uma população de fungos MA efetiva e com alto potencial de inóculo não havia resposta à inoculação com o *Glomus manihotis*, nem quando foram utilizadas diferentes fontes e níveis de material de inóculo, porém, a inoculação com fungos desta espécie em outro local onde o potencial de inóculo era baixo e a população era composta por espécies ineficientes, a inoculação promoveu um significativo aumento na produtividade da mandioca até um nível intermediário de 100 kg.ha^{-1} de P aplicado.

HÖWELER & SIEVERDING (1983) mostraram que pode haver uma interação entre o nível de fertilizante aplicado e a eficiência do isolado. Isto foi comprovado nos trabalhos de KATO (1987) no qual o *G. clarum* proporcionou aumento na presença de doses mais elevadas de P, enquanto a *Entrophospora colombiana* apresentou efeitos positivos somente quando o P não foi aplicado. SIEVERDING & HÖWELER (1985) obtiveram resultados semelhantes com o *G. manihotis* foi efetivo em doses superiores a 200

Kg de $P.ha^{-1}$, enquanto que a *E. colombiana* foi efetiva até a dose de 50 Kg de $P.ha^{-1}$. Assim, pode haver um aumento potencial da produção da mandioca ou redução dos gastos com fertilizantes fosfáticos através do manejo adequado da simbiose micorrízica a nível de campo.

2.3. Emprego da técnica do “Número Mais Provável” para fungos MA.

O conhecimento da densidade de propágulos infectivos, capacidade infectiva e efetividade dos fungos MA nativos é fundamental para o desenvolvimento de estudos sobre ecologia e manejo destes fungos, bem como, auxiliar na introdução de fungos exóticos ao sistema, quando for necessário (ABBOTT & ROBSON, 1991).

Várias metodologias vem sendo empregadas usualmente na avaliação da ocorrência dos fungos MA. Estas incluem: (a) extração e contagem de esporos (GERDEMANN & NICOLSON, 1963); (b) taxa e comprimento de raízes colonizadas (GIOVANNETTI & MOSSE, 1980); (c) estimativa da densidade de propágulos infectivos (esporos, vesículas e raízes colonizadas) presentes no solo, utilizando-se a técnica do Número Mais Provável (NMP) (PORTER, 1979).

Estas metodologias apresentam pontos positivos e negativos, e fornecem informações que muitas vezes se complementam (AN *et al.*, 1990; ABBOTT & ROBSON, 1991). A técnica do NMP é baseada na diluição dos propágulos até a extinção. Os seus valores são estimativas da densidade de propágulos em um meio definido (COCHRAN, 1950). Esta técnica foi adaptada por PORTER (1979) para estimar o número total de

propágulos infectivos de fungos micorrízicos arbusculares em amostras de solo. Ela vem sendo empregada em diversos trabalhos (HARINIKUMAR & BAGYARAJ, 1988; HGWELER & SIEVERDING, 1983), pois fornece uma melhor estimativa da abundância de propágulos infectivos do que os métodos convencionais (HARINIKUMAR & BAGYARAJ, 1988; HGWELER & SIEVERDING, 1983; PORTER, 1979).

Para o emprego correto desta metodologia é necessário cumprir duas premissas principais. Em linguagem estatística, a primeira consiste em que o organismo deva estar distribuído ao acaso através do meio ou substrato. Isto significa que determinado organismo tem a mesma probabilidade de ser encontrado em qualquer parte do substrato, e de que não há tendência para formação de pares ou grupos de organismos ou de se repelirem uns aos outros. Na prática isto implica em que o meio deve ser vigorosamente misturado. A segunda consiste de que cada amostra quando incubada, exibirá o crescimento de um ou mais organismos. Se o meio de cultura estiver limitado por algum fator, ou se ocorrerem fatores inibitórios ao crescimento, ou se a presença de mais de um organismo for necessária para iniciar o crescimento, o NMP será subestimado (COCHRAN, 1950).

As principais críticas feitas à metodologia do NMP são (1) é uma metodologia muito laboriosa (FRANSON & BETHLENPALVAY, 1989; HARINIKUMAR & BAGYARAJ, 1988); (2) consome muito tempo (cinco ou mais semanas) (FRANSON & BETHLENPALVAY, 1989); (3) não fornece nenhum dado sobre a efetividade da população de fungos MA (HGWELER & SIEVERDING, 1983; FRANSON & BETHLENPALVAY, 1989). O emprego da metodologia do NMP, geralmente, não se

correlaciona com os dados de contagem de esporos ou com respostas à inoculação (HÖWELER & SIEVERDING, 1983; FRANSON & BETHLENFALVAY, 1989).

O emprego da metodologia do NMP parece especialmente adequada quando o objetivo do trabalho visa evidenciar o efeito de práticas de manejo como rotação de culturas, pousio, etc, sobre a população de fungos MA nativos. HARINIKUMAR & BAGYARAJ (1988) empregaram esta técnica em um sistema de rotação de culturas acompanhado em três estações do ano, os autores evidenciaram o efeito benéfico da sucessão de plantas micotróficas no aumento do número de propágulos infectivos (NPI) e o efeito depressivo do pousio e do cultivo com uma planta não micotrófica (mostarda) sobre os mesmos. ILAG et al (1987) utilizaram a técnica do NMP em um sistema de rotação no qual o arroz irrigado por inundação era a cultura principal. Os autores constataram várias mudanças no NPI de fungos MA durante as diversas fases de desenvolvimento das culturas. O efeito depressivo do cultivo com arroz irrigado, preparo do solo e pousio foi confirmado, bem como, o efeito benéfico de culturas micotróficas como o milho e o feijão mungo na recuperação do NPI. Novas metodologias tem sido desenvolvidas (FRANSON & BETHLENFALVAY, 1989; PLENCHETTE et al 1989; DURVERT et al, 1990), mas todas parecem apresentar os mesmos problemas que a metodologia do NMP.

2.4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOTT, L.K., ROBSON, A.D. The role of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture and selection of fungi for inoculation. *Australian Journal of Agricultural Research*, Victoria, v.33, p.389-408, 1982.
- ABBOTT, L.K., ROBSON, A.D. Factors influencing the occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizas. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v.35, p.121-150, 1991.
- AN, Z.Q., HENDRIX, J.W., HERSHMAN, D.E., HENSON, G.T. Evaluation of the “most probable number” (MNP) and wet-sieving methods for determining soil-borne population of endogonaceous mycorrhizal fungi. *Mycologia*, New York, v.82, p. 576-581, 1990.
- BALTRUSCHAT, H., DEHNE, H.W. The occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizal in agro-ecosystems. I. Influence of nitrogen fertilization and green manure in continuous monoculture and in crop rotation on the inoculum potetion of winter wheat. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 107, p.279-284, 1988.

- BALTRUSCHAT, H., DEHNE, H.W. The occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizal in agro-ecosystems. II. Influence of nitrogen fertilization and green manure in continuous monoculture and in crop rotation on the inoculum potentiation of winter barley. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 113, p.251-256, 1989.
- BOLAN, N.S. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil*, Netherlands, v. 134, p. 189-207, 1991.
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Cassava Program, Annual Report 1981. Cali. CIAT.
- COCHRAN, W.G. Estimation of bacterial densities by means of the "most probable number". *Biometrics*, Washington, v.6, p. 105-116, 1950.
- DODD, J.C., ARIAS, I., KOOMBN, I., HAYMAN, D.S. The management of populations of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in acid-infertile soils of a savanna ecosystem. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 122, p.241-247, 1990.
- DURVERT, P., PERRIN, R., PLENCHETTE, C. Soil receptiveness to VA mycorrhizal association: Concept and method. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 124, p. 1-6, 1990.
- EVANS, D.G., MILLER, M.H. Vesicular-arbuscular mycorrhizas and the soil-disturbance-induced reduction of nutrient absorption in maize: I. Casual relations. *New Phytologist*, Oxford, v. 110, p.67-74, 1988.
- EVANS, D.G., MILLER, M.H. The role of the external mycelial network in the effect of soil disturbance upon vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization of maize. *New Phytologist*, Oxford, v. 114, p.65-71, 1990.

- FAIRCHILD, G.L., MILLER, M.H. Vesicular-arbuscular mycorrhizas and the soil-disturbance-induced reduction of nutrient absorption in maize: II. Development of the effect. *New Phytologist*, Oxford, v. 110, p.75-84, 1988.
- FARAH JR., KASUYA, M.C.M., CASALI, V.W.D., THIÉBAUT, J.T.L. Efeito de culturas antecessoras sobre a produção e a micorrização do alho (*Allium sativum* L.) “Amarante”. In: REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRÍZAS, 4., 1991, Mendes. Resumos... Itaguaí: EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa de Biologia do Solo; Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1991. p. 141.
- FRANSON, R.L., BETHLENFALVAY, G.J. Infection unit method of vesicular-arbuscular mycorrhizal propagule determination. *soil Science Society of American Journal*, Madison, v.53, p.754-756, 1989.
- GERDEMANN, J.W., NICOLSON, T.H. Espores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet-sieving and decanting, *Transactions of the British Mycological Society*, Cambridge, v.46, p.235-244, 1963.
- GIOVANNETTI, M., MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots, *New Phytologist*, Oxford, v.84, p.489-500, 1980.
- HARINIKUMAR, K.M., BAGYARAJ, D.J. Effect of crop rotation on native vesicular arbuscular mycorrhizal propagules in soil. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 110, p.77-80, 1988.

- HARINIKUMAR, K.M., BAGYARAJ, D.J. Effect of crop sequence, fertilizers and farmyard manure on vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in different crop over three consecutive seasons. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, v.7, p. 173-175, 1989.
- HETRICK, B. A.D., WILSON, G. W.T. Relationship of native and introduced mycorrhizal fungi to mycorrhizal dependence of *Andropogon gerardii* and *Koeleria pyranidata*. *Mycologia*, New York, v.82, n.6, p.779-782, 1990.
- HGWELER, R.H. Soil-related cultural practices for cassava. In: WEBER E.J., JORO, M., GRAHAM, M., eds. *Cassava Cultural Practice*. Ottawa: DRC, 1980. p.59-69.
- HÖWELER, R.H., ASHER, C.J., EDWARDS, D.G. Establishment of an effective endomycorrhizal association on cassava in flowing solution culture and its effects on phosphorus nutrition. *New Phytologist*, Oxford, v.90, p.229-238, 1982a.
- HGWELER, R.H., CADAVID, L.F., BURCKHARDT, E. Response of cassava to VA mycorrhizal inoculation and phosphorus application in greenhouse and field experiments. *Plant and Soil*, The Hague, v.69, p.327-339, 1982b.
- HGWELER, R.H., SIEVERDING, E. Potentials and limitations of mycorrhizal inoculation illustrated by experiments with field-grown cassava. *Plant and Soil*, The Hague v.75, p.245-261, 1983.
- ILAG, L.L., ROSALES, A.M., ELAZEGUI, F.A., MEW, T.W. Changes in the population of infective endomycorrhizal fungi in a rice-baceb cropping system. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 103, p.67-73, 1987.
- JANOS, D.P. Mycorrhizae influence tropical succession. *Biotropica*, Washington, v.12 p.956-64, p.83-95, 1980.

- JASPER, D.A., ABBOTT, L.K., ROBSON, A.D. Soil disturbance reduces the infectivity of external hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi New Phytologist, Oxford, v. 112, p.93-99, 1989.
- KANG, B.T., ISLAM, R., SANDERS, F.E., AYANABA, A. Effect of phosphate fertilization and inoculation with VA-mycorrhizal fungi on performance of cassava (*Manihot esculenta*, Crantz) grown on an Alfisol. Field Crops Research, Netherlands, v.3, p. 84-94, 1980.
- KATO, O.R. Efeito de micorriza vesicular-arbuscular no crescimento e nutrição da mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz) em solo adubado com doses crescentes de superfosfato triplo. Lavras: ESAL, 1987. 177p. Tese Mestrado.
- KOIDE, R.T., LI, M. On the host regulation of the vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. New Phytologist, Oxford, v. 114, p.59-74, 1990.
- LOPES, E.S. Importância das micorrizas em explorações agropecuárias. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMAS DE PASTAGENS, 1989, Jaboticabal. Anais... Jaboticabal, 1989, p. 313.
- LOPES, E.S., SIQUEIRA, J.O., ZAMBOLIN, L. Caracterização das micorrizas vesículo-arbusculares (MVA) e seus efeitos no crescimento das plantas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.7, p.1-19, 1983.
- LOUIS, I., LIM, G. Spore density and root colonization of vesicular-arbuscular mycorrhizal in tropical soil. Transactions of the British Mycological Society, Cambridge, v.88, p.207-212, 1987.

- McGONIGLE, T.P., EVANS, D.G., MILLER, M.H. Effect of degree of soil disturbance on mycorrhizal colonization and phosphorus absorption by maize in growth chamber and field experiments. *New Phytology*, Oxford, v. 116, p.629-639, 1990.
- MIRANDA, J.C. Situação atual e perspectiva do uso de micorrizas no cerrado. In REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 3., 1989, Programa e Resumos... Piracicaba: USP/CENA, 1989. p.65
- MORTON, J.B., Taxonomy of VA mycorrhizal fungi: Classification, nomenclature, and identification, *Mycotaxon*. Ithaca, v.32, p.267-324, 1988.
- MORTON, J.B., BENNY, G. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zigomycetes): a new Order, Glomales, two new Suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new Families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. *Mycotaxon*, Ithaca, v.37, p.471-491, 1990.
- MOSSE, B. Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhizal. *Annual Review of Phytopathology*, Palo Alto, v. 11, p. 171-196, 1973.
- MOSSE, B. Vesicular-arbuscular mycorrhizal research for Tropical Agriculture. *Research Bulletin*, Hawaii Institute of Tropical and Human Resources. Hawaii, 82p. , 1981.
- PAULA, M.A., URQUIAGA, S., SIQUEIRA, J.O., DÖBEREINER, J. Synergistic effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and diazotrophic bacteria on nutrition and growth of sweet potato (*Ipomoea batatas*). *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, v. 14, 61-66, 1992.

- PLENCHETTE, C., PERRIN, R., DUVERT, P. The concept of soil infectivity and a method for its determination as applied to endomycorrhizas. *Canadian Journal of Botany*, Ottawa, v.67, n.1, p.112-115, 1989.
- PORTER, W.M. The "Most Probable Number" Method for enumerating Infective Propagules of Vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in soil. *Australian Journal of Soil Research*, Victoria, v. 17, p. 515-519, 1979.
- POWELL, CL., BAGYARAJ, D. J., VA mycorrhiza. Boca Raton: CRC, 1984. 234p.
- RAIJ, B. Van. Fosforo: Dinâmica e disponibilidade no solo. In: *Curso de atualização em fertilidade do solo*, Ilha Solteira, SP. p. 161-179, 1987.
- SAIF, S.R. Vesicular-arbuscular mycorrhizae in tropical forage species as influenced by season, soil texture, fertilizers, host species and ecotypes. *Angew. Botanik* 60, 125-139, 1986.
- SANDERS, F.E.; MOSSE, B., TINKER, P.B. Endomycorrhizas. London: Academic Press, 1975. 626p.
- SCHENCK, N.C., KINLOCH, R.A. Incidence of mycorrhizal fungi on six field crops in monoculture on a newly cleared woodland site. *Mycologia*, v.72, 445-456, 1980.
- SIEVERDING, E. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Technical Cooperation, Federal Republic of Germany, Eschborn, 371p., 1991.
- SIEVERDING, E. Yield response of cassava to field inoculation with VA-mycorrhizal in acidic soils. In: R. Molina. *Proceeding of the 61th Norht American Conference on Mycorrhizal*. June, 25-29, Oregon, USA. p.241, 1984.

- SIEVERDING, E. Ecology of VAM fungi in tropical agrosystems. Agriculture, Ecosystems and Environment, Amsterdam, v.29, p.369-390, 1989.
- SIEVERDING, E., GALVEZ-A, L. Performance of different cassava clones with various VA mycorrhizal fungi Angewandte Botany, Weinheim, v.62, n.5/6, p.273-282, 1988.
- SIEVERDING, E., HÖWELER, R.H. Influence of species of V.A. mycorrhizal fungi on cassava yield response to phosphorus fertilization. Plant and Soil, The Hague, v.68, p.213-221, 1985.
- SIMPSON, D., DAFT, M.J. Spore production and mycorrhizal development in various tropical crop host infected with *Glomus clarum*. Plant and Soil, Netherlands. v. 121, p.117-178, 1990.
- SIQUEIRA, J.O., FRANCO, A.A. Biotecnologia do solo: Fundamentos e Perspectivas. Brasília: MEC Ministério da Educação ABREAS/ Lavras, ESAL/FAEPE, 1988. 236p.
- VELLOSO, A.C.X. Fósforo. Notas de Aula, Curso de Química do Solo, Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFRRJ/Depto. de Solos, 1986, n.p.
- YOST, R.S, FOX, R.L. Contribution of mycorrhizal to P nutrition of crops growing on an Oxisol. Agronomy Journal, Madison, v.71, p.903-908, 1979.
- ZAMBOLIN, L., SIQUEIRA, J.O. Importância e potencial das associações micorrízicas para a agricultura. Belo Horizonte, MG, EPAMIG, documentos, v.26, 36p. 1985.

3. CAPÍTULO 2

Efeito de pré-cultivas sobre o potencial de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares e produção de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz).

3.1. RESUMO

Avaliou-se o efeito de pré-cultivas com adubos verdes sobre o potencial de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares e produção de mandioca em um Podzólico Vermelho-Amarelo. O experimento foi instalado sob condições de campo, em parcelas com 30 m², em delineamento experimental de blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições. Os pré-cultivas constaram de *Canavalia ensifomes*, *Mucuna aterrima*, *Crotalaria juncea*, *Cajanus cajan* e *Sorghum bicolor* (BR 005) e um tratamento com ausência de vegetação (solo mantido sem plantas). O segundo ciclo foi iniciado após corte da parte aérea das coberturas vegetais, quando então plantou-se mandioca cv. Saracura. No início e após o término dos dois ciclos de cultivo avaliou-se a micorrização das plantas e o número e frequência das espécies de fungos micorrízicos arbusculares (MA) nativos. O número de propágulos infectivos (NPI) dos fungos MA foi avaliado no início e após o primeiro ciclo de cultivo usando a técnica do Número Mais Provável (NMP). A produtividade de raízes de mandioca variou de 12,76 a 17,20 t.ha⁻¹, porém, não foi detectada diferença entre os tratamentos. Foram identificadas 16 espécies de fungos MA

constatado-se que algumas espécies sofreram uma alteração da sua frequência de ocorrência com os cultivos. Os pré-cultivos com sorgo aumentou o número de propágulos infectivos em relação a ausência de vegetação, demonstrando que o uso de espécies de plantas com capacidade para elevar o NPI é uma alternativa viável a inoculação de culturas micotróficas a nível de campo. Os resultados evidenciaram que a técnica do NMP apresenta uma maior sensibilidade para diferenciar o efeito dos tratamentos em relação a técnica de contagem de esporos.

3.2. INTRODUÇÃO

Os efeitos benéficos das associações micorrízicas sobre o crescimento e produção de plantas já estão amplamente demonstrados (POWELL & BAGYARAJ, 1984). Dentre estes, os fungos micorrízicos arbusculares (MA) (MORTON & BENNY, 1990) São de grande importância, principalmente para as regiões tropicais (MOSSE, 1981; SIEVERDING, 1989 e 1991).

No entanto, a impossibilidade de cultivo destes fungo sem meios de cultivo sintéticos tem dificultado tanto a pesquisa básica, como também a sua difusão a nível prático. A principal forma de produção do inóculo consiste no sistema tradicional de multiplicação do fungo em “vasos-de-cultivo”, que é um procedimento oneroso, demorado e de baixo rendimento, o que praticamente restringe sua aplicação a culturas que passem por uma fase em viveiro. Porém, os fungos MA são de ocorrência generalizada na maioria dos solos (MOSSE, 1973; TRAPPE, 1987). Assim, através de práticas de manejo agrícolas adequadas pode-se elevar e/ou manter o potencial de inóculo das populações de fungos MA nativos (DODD et al, 1990; FAIRCHILD & MILLER, 1988; SIEVERDING, 1991).

Vários autores já demonstraram que diferentes espécies vegetais afetam qualitativa e quantitativamente a população dos fungos MA. Dentre as plantas usualmente empregadas para multiplicação de fungos MA em vasos de cultivo nos trópicos, tem se destacado o uso de gramíneas como a *Brachiaria decumbens* e o *Sorghum bicolor* (L.) MOENCH (REIS, *et al*, 1991; SIMPSON & DAFT, 1990). Leguminosas têm sido pouco utilizadas, porém, dentre estas SIEVERDING (1991) recomenda o uso da *Pueraria phaseoloides* na Colômbia. A utilização de pré-culturas ou sistemas de rotação tem se mostrado uma alternativa viável para elevar o potencial de inóculo de populações de fungos nativos (ILAG *et al*, 1987; BALTRUSCHAT & DEHNE, 1988, 1989; HARINIKUMAR & BAJARAJ, 1989; DODD *et al*, 1990).

Conquanto a prática da adubação verde, notadamente com leguminosas, venha crescendo a cada ano, face ao grande potencial de produção de fitomassa, rusticidade e capacidade de fixar N_2 atmosférico, além de outras vantagens tais como o controle biológico, a melhoria das características físicas e químicas dos solos e a ciclagem de nutrientes (DE-POLLI *et al*, 1988), os efeitos sobre o potencial de inóculo dos fungos MA nativos não tem sido devidamente investigados nos solos brasileiros.

Dentro deste contexto, a identificação de plantas com potencial para adubação verde deveria também considerar as mudanças relacionadas ao potencial de inóculo de fungos MA de forma a beneficiar a cultura subsequente. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de pré-culturas com leguminosas utilizadas para adubação verde e uma gramínea sobre a densidade de propágulos de fungos MA nativos do solo e a produção de mandioca em um Podzólico Vermelho-Axnarelo.

3.3. MATERIAL E MÉTODOS

3.3.1. Pré-cultivas

Foram avaliadas diferentes coberturas vegetais, sendo quatro espécies de leguminosas utilizadas para adubação verde e uma gramínea, além de um tratamento mantido sem vegetação:

- (1) Sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) MOENCH];
- (2) Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* D.C.);
- (3) Mucuna preta [*Mucuna aterrima* (Piper & Tracy) Holland];
- (4) Crotalária (*Crotalaria juncea* L.);
- (5) Guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp);
- (6) Ausência de vegetação (parcela mantida limpa com capinas freqüentes).

3.3.2. Localização e características da área experimental

O trabalho foi instalado no Campo Experimental do Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia - EMBRAPA, Seropédica (RJ), localizado a 22°46' de latitude sul e 43°41' de longitude oeste, com altitude de 33 metros. O clima é o AW segundo Koeppen. A área

encontrava-se em pousio por vários anos, sendo a vegetação predominante no local o capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq.). O solo da área é um Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico (PVD), textura franca, apresentando as seguintes características químicas na camada de 0-0,20 m de profundidade, de acordo com a metodologia descrita pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1979): pH água (1:2,5) 5,6; Al^{3+} 0,0 $\text{mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ de solo; Ca^{2+} 27 $\text{mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ de solo; Mg^{2+} 12 $\text{mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ de solo; K^+ 39 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ de solo; P 2,5 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ de solo.

3.3.3. Condução do Experimento

O preparo inicial do solo constou de uma aração e três gradagens. Todas as espécies foram semeadas em sulcos distanciados de 0,50 m. As densidades de plantio foram: 14 plantas. m^{-1} para sorgo, 10 plantas. m^{-1} para crotalária e guandu e 6 plantas. m^{-1} para feijão-de-porco e mucuna preta. As parcelas correspondentes ao tratamento ausência de vegetação foram mantidas limpas através de capinas periódicas. As parcelas experimentais tinham uma área de 30 m^2 e todas receberam uma adubação uniforme no sulco de plantio, equivalente a 26 kg de $\text{P} \cdot \text{ha}^{-1}$ na forma de termofosfato Yoorin e 33 kg de $\text{K} \cdot \text{ha}^{-1}$ na forma de KCl.

3.3.3.1. Primeiro ciclo (pré-cultivas)

O primeiro ciclo de cultivo constou do plantio das leguminosas e sorgo. Rizóbios específicos foram inoculados previamente nas sementes das leguminosas. O plantio foi feito em dezembro de 1991 e o corte das plantas em março de 1992, correspondendo a 82 dias de

crescimento. As plantas foram cortadas com um rolo-faca acoplado a um microtrator. A massa vegetal produzida foi deixada sobre a superfície do terreno como cobertura morta.

3.3.3.2. Segundo ciclo (mandioca)

Após o corte das leguminosas foi cultivada a mandioca. Manivas-semente da cultivar Saracura com aproximadamente 20cm de comprimento, foram plantadas na posição horizontal em covas abertas sobre as mesmas linhas anteriormente cultivadas (pré-culturas), porém, no espaçamento de 1 m entre linhas e 0,5 m entre plantas. O solo não sofreu nenhum revolvimento.

3.3.4. Coleta de amostras

Amostras de solo, foram coletadas em três épocas; a primeira após o preparo inicial do solo, a segunda e a terceira após o término, respectivamente, do 1º e 2º ciclo de cultivo. Na primeira, uma amostra composta foi retirada da camada superficial (0 - 0,20 m) e para as seguintes foram coletadas amostras compostas a partir da rizosfera de cinco plantas de cada parcela experimental.

No primeiro ciclo, o peso da fitomassa aérea fresca, foi determinado por amostragem, sendo retiradas duas amostras referentes a 1 m² de área. Após pesagem, foi retirada uma subamostra para determinação do peso da amostra seca em estufa com circulação de ar forçado à 65 °C até atingir massa constante. Também foi coletada uma amostra composta das raízes no final de cada ciclo, foram lavadas em água corrente e acondicionadas em frascos de plástico contendo solução alcóolica a 50%, até serem processadas.

3.3.5. Variáveis analisadas

- (1) Taxa de colonização radicular pelos fungos MA;
- (2) Número de esporos de fungos MA;
- (3) Número de propágulos infectivos de fungos MA;
- (4) Peso de fitomassa fresca e seca;
- (5) Acumulação total de nutrientes na fitomassa (N, P, K, Ca, Mg).

3.3.6. Colonização micorrízica e contagem de esporos

Amostras de raízes foram processadas para observação em microscópio estereoscópico, através da técnica descrita por KOSKE & GEMMA (1990) e a taxa de colonização foi determinada pelo método da interseção, descrito em GIOVANETTI & MOSSE (1980).

Os esporos foram extraídos de amostras com 50g de solo seco ao ar, segundo a técnica de peneiramento úmido descrita por GERDEMANN & NICOLSON (1963). Os esporos foram dispersos em uma placa canelada e contados com o auxílio de microscópio estereoscópico. Após a contagem dos esporos foram feitas lâminas para identificação taxonômica das espécies presentes em microscópio ótico equipado com câmara Clara., foi feita no Instituto de Botânica de São Paulo sob a supervisão da pesquisadora Dr^a Sandra F. Trufem.

3.3.7. Número de propágulos infectivos

A estimativa do número de propágulos infectivos foi feita em bio-ensaio montado sob condições de casa-de-vegetação, segundo a metodologia descrita por PORTER (1979) e

adaptada por SIEVERDING (1991). Como planta teste foi utilizada a leguminosa forrageira *Stylosanthes guianenses* cultivar Shofield.

3.3.8. Análises dos tecidos vegetais

O procedimento para análise de N foi baseado no método recomendado por BREMNER & MULVANEY (1965) para solos. O P, K, Ca e Mg foram determinados a partir da digestão nítrico-perclórica (BATAGLIA et al, 1983). O P foi determinado colorimetricamente à partir da formação da cor azul do complexo fosfato-molibdato na presença de ácido ascórbico como redutor (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- 1979). O K foi determinado através de fotometria de chama e o Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica.

3.3.9. Peso e teores de N, P, K, Ca e Mg nas sementes das plantas utilizadas

Quadro 1: Peso e teores de N, P, K, Ca e Mg em sementes de leguminosas e de Sorgo (BR 005).

Espécies	Peso de 100 sementes secas (g)	N	P	K	Ca	Mg
		----- g kg ⁻¹ -----				
F. Porco	142,8	29,1	3,7	12,1	1,7	1,6
M. Preta	69,5	40,0	5,1	15,5	0,6	1,4
Crotalária	4,1	37,6	8,2	16,4	1,9	2,8
Guandu	13,5	33,9	4,7	16,0	0,7	1,4
Sorgo	3,8	31,5	2,6	15,8	0,3	1,0

3.3.10. Deleneamento experimental e Análises estatísticas

O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso com seis tratamentos e quatro repetições. As médias dos tratamentos foram comparadas através do teste de Duncan ($p < 0,05$). Análise de regressão para um par de variáveis (x,y) foi calculada dentro ou entre grupos de dados e foram feitos testes para as diferenças entre coeficientes de regressão.

3.4. Resultados e Discussão:

3.4.1. Crescimento, produção e acumulação de nutrientes

As espécies utilizadas no pré-cultivo apresentaram um grande vigor no início do ciclo de crescimento, porém, devido ao plantio tardio, as plantas de sorgo, crotalária, feijão-de-porco e guandu entraram em florescimento precocemente (aproximadamente 60 dias).

Não houve diferenças significativas para a produção de matéria seca (MS) entre as espécies testadas (Quadro 2). Porém, a leguminosa feijão-de-porco obteve valores entre 48 e 35% acima das demais leguminosas e 65% em relação a produção de palha de sorgo. No entanto, a produção total das plantas de sorgo (grãos + palha) (Quadro 4) foi igual a desta leguminosa.

Embora, entre as leguminosas, não tenha sido detectado diferenças significativas quanto a acumulação de N, P, Ca e Mg, a leguminosa feijão-de-porco destacou-se quanto acumulação de N, P, K, Ca e Mg em relação as demais espécies avaliadas. As plantas de sorgo acumularam significativamente menos P do que as leguminosas, com exceção da crotalária a qual equivaleu-se nesse parâmetro (Quadro 2). Como as plantas não receberam nenhuma adubação nitrogenada, através dos valores apresentados pelo sorgo (Quadros 2, 3 e 4), verifica-se que o solo apresentava uma boa capacidade de suprimento deste elemento.

Quadro 2. Produção de matéria seca e acumulação total de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na parte aérea das leguminosas utilizadas e do sorgo (BR 005).

Tratamentos ^{1,2}	Matéria seca ----- t.ha ⁻¹ -----	N	P	K	Ca	Mg
		----- kg.ha ⁻¹ -----				
F. Porco	7,32	219,4	18,9a	72,7	79,1	22,3
M. Preta	5,42	118,2	15,3a	54,6	63,7	16,1
Crotalária	4,94	122,4	13,0ab	52,2	52,7	15,6
Guandu	5,39	109,9	17,0a	61,3	51,7	14,0
Sorgo (palhada)	4,41	92,3	8,1b	51,6	40,1	13,7
C V	32,05	43,8	30,6	42,3	32,5	36,5

(¹). Valores médios de 4 repetições.

(²). Valores seguidos de letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

Quadro 3: Teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na da parte aérea das leguminosas e do sorgo (BR 005).

Tratamentos ^{1,2}	N	P	K	Ca	Mg
	----- g.kg ⁻¹ -----				
F. Porco	28,9 a	2,6 a	9,5	11,0 a	3,0 a
M. Preta	21,8 bc	2,9 a	10,4	11,5 a	2,9 a
Crotalária	24,8 b	2,7 a	10,5	10,6 ab	3,2 a
Guandu	20,4 c	3,1 a	11,5	9,6 bc	2,6 b
Sorgo	21,5 bc	1,8 b	11,7	9,1 c	3,1 a
C V	9,3	13,8	16,6	7,5	6,3

(¹). Valores médios de 4 repetições.

(²). Valores seguidos de letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

Quadro 4: Produtividade de grãos e total de Sorgo (BR 005), teores e acumulação de N, P, K, Ca e Mg.

Produtividade	N	P	K	Ca	Mg
t.ha⁻¹	-----		g.kg⁻¹	-----	
	32,6	2,3	15,2	0,1	1,0
	-----		kg.ha	-----	
2,91²	85,26	0,67	44,17	0,26	2,62
7,32³	177,60	14,10	50,00	40,40	16,30

(¹). Valores médios de 4 repetições.

(²). Produtividade de grãos.

(³). Produtividade de grãos mais palha.

No quadro 5 nota-se que a produtividade de raízes tuberosas após os pré-cultivos variou de 12,76 à 17,20 **t.ha⁻¹**, respectivamente, com os pré-cultivos ausência de vegetação e sorgo. Já a produção de folhas e caules foi superior nas parcelas pré-cultivadas com as leguminosas mucuna e crotalaria quando comparadas ao sorgo e ausência de vegetação, o que refletiu uma maior acumulação de fitomassa da parte aérea por planta nestes tratamentos.

A capacidade de ciclagem de nutrientes, produção de biomassa, controle biológico e fixação biológica de N₂ atmosférico (FBN) (leguminosas) de espécies utilizadas para adubação verde tem beneficiado o desenvolvimento de culturas em sistemas de rotação (Cargill, 1984). Dentre estas características a incorporação de N ao sistema via FBN é tida como fundamental para a manutenção da sustentabilidade de sistemas agrícolas de baixo “input”. A quantidade de N fixada por leguminosas pode variar desde quantidades irrisórias até valores superiores a 500 Kg de N por **ha.ano⁻¹**. Esta simbiose é autorregulada pelo macrosimbionte (planta), que utiliza deste recurso para obter a complementação de N necessário ao seu desenvolvimento em solos pobres neste nutriente.

Neste trabalho a área utilizada estava em pousio por vários anos, a vegetação predominante consistia de capim colônia. Verifica-se nos quadros 2, 3 e 4 que a reserva de nutrientes no solo, especialmente a de N estavam adequadas para o crescimento das plantas. O sorgo acumulou 177,6 kg de N (Quadro 2) sendo que destes 85,3 saíram nos grãos (Quadro 4) e 92,3 ficaram retidos na palhada. Desta forma pode-se concluir que a contribuição da FBN foi pequena na quantidade de N acumulado pelas leguminosas neste solo.

Quadro 5. Taxa de colonização radicular de fungos MA, produtividade e produção de folhas, ramos e tubérculos de plantas de mandioca após os pré-cultivos (médias de quatro repetições).

Tratamentos	Colonização radicular (%)	Produtividade (t.ha ⁻¹)	Folhas (kg.planta ⁻¹)	Ramos (kg.planta ⁻¹)	Tubérculos (kg.planta ⁻¹)	Acumulação de matéria fresca (kg.planta ⁻¹)
Feijão de Porco	62,60	12,76	0,68ab	1,17ab	0,64	2,49
Mucuna	57,80	15,20	0,74a	1,31a	0,76	2,81
Crotalária	54,42	16,72	0,73a	1,32a	0,84	2,89
Guandu	61,12	14,32	0,63ab	1,12ab	0,72	2,47
Sorgo	46,51	17,20	0,50b2	0,82b	0,86	2,18
Sem vegetação	58,30	12,96	0,51b	1,01ab	0,65	2,17
CV. ³ (%)	19,94	17,95	18,19	19,08	17,95	16,97

(¹). Dados transformados para arco seno raiz de ($x.100^{-1}$) para porcentagem de colonização radicular.

(²). Valores seguidos de letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

(³). Coeficiente de Variação médio calculado a partir dos dados transformados.

No entanto, as plantas de mandioca cultivadas nas parcelas previamente cultivadas com leguminosas apresentaram, em geral, maior acumulação total de matéria fresta, principalmente na parte aérea.

3.4.2. Colonização micorrízica

Todas as leguminosas avaliadas apresentaram taxas de colonização micorrízica, na ocasião do corte das plantas, significativamente superiores a obtida pelas plantas de sorgo (Quadro 6). A taxa de colonização da crotalária e da mucuna foi semelhante a encontrada por ABBOUD (1986) e para feijão-de-porco e guandu este autor reportou valores inferiores aos obtidos neste trabalho. As plantas de sorgo também apresentaram valores baixos, possivelmente, devido ao fato de por ocasião da avaliação já terem completado seu ciclo. O efeito proporcionado pelos pré-cultivos sobre a taxa de colonização micorrízica das plantas de mandioca não resultou em diferenças significativas.

Quadro 6: Taxa de colonização radicular, número de esporos e de propágulos de fungos micorrízicos arbusculares ao final dos pré-cultivos (média de quatro repetições).

Tratamentos	Colonização ²	Esporos	Nº de propágulos ²	
	----- % -----		----- N°/100 g solo seco -----	
F. Porco	52,8 a	400,0	407,3 ab	870,9 ³ 190,5
M.Preta	52,5 a	253,0	288,4 ab	602,5 134,9
Crotalária	58,7 a	233,0	166,0 b	354,8 77,6
Guandu	51,4 a	340,0	331,1 ab	691,8 154,9
Sorgo	39,1 b	163,0	1258,9 a	2691,5 588,8
Sem Veg.	-	172,5	107,2 b	229,1 50,1
C V (%)	10,0	8,9	16,67	

(¹). Dados transformados para LOG (x + 1) para número de esporos, Log do número de propágulos infectivos e arco seno raiz de (x.100⁻¹) para porcentagem de colonização micorrízica.

(²). Valores seguidos de letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Duncan (p < 0,05).

(³). Intervalo de confiança, limites máximos e mínimos.

3.4.3. Espécies de fungos identificadas

Foram identificadas 16 espécies de fungos MA em 720m² de área experimental. A frequência de ocorrência das espécies destes fungos avaliada no início do ensaio e após os ciclos de cultivo encontra-se no quadro 7. Uma alteração na frequência de ocorrência provocada pelos

tratamentos só pôde ser determinada após os ciclos de cultivo, devido a determinação inicial dos esporos ter sido feita em uma amostra composta representativa da área experimental.

Verifica-se no quadro 7 que algumas espécies sofreram uma significativa alteração na frequência de distribuição devido aos ciclos de cultivo. Dentre as espécies encontradas o *Glomus etunicatum* apresenta a maior frequência de ocorrência nos dois ciclos avaliados. No entanto após o cultivo da mandioca sua ocorrência baixou 20,2%. Com exceção do *G. inveniium* e *S. weresubiae*, as demais espécies de *Glomus*, *Gigaspora* e *Scutellospora* apresentaram uma tendência de redução após o cultivo da mandioca, fato contrário ocorreu com as espécies do gênero *Acaulospora* que aumentaram, com exceção da *Acaulospora foveata*, tais resultados estão de acordo com os relatados por SIEVERDING (1991).

A maioria dos fungos MA não apresenta especificidade hospedeira (MORTON, 1988; SIEVERDING, 1989), embora este fato tenha sido relatado para algumas espécies (SIEVERDING, 1989). Contudo, normalmente ocorre uma seletividade “preferencial” (habilidade discriminatória) entre as espécies de uma determinada população de fungos MA e o macrossimbionte (SIEVERDING, 1989), por influência das condições edafoclimáticas (SAIPF, 1986), provocando variações com o cultivo nas espécies de uma determinada população. Estudos conduzidos no CIAT demonstraram que sucessivos anos de monocultura de mandioca favoreceram a multiplicação de *Acaulospora* spp. e o aumento foi associado à redução da produtividade da cultura (SIEVERDING, 1989). Práticas de cultivo, fertilizações e a calagem também são fatores determinantes desta seletividade (SCHENCK & KINLOCH, 1980; DANIELS et al, 1983).

Quadro 7: Frequência de ocorrência das espécies de fungos micorrízicos arbusculares avaliada a partir de esporos coletados no início e final de dois ciclos de cultivo.

Espécies ¹	inicial	1º ciclo Frequência ^{2,3}	2º ciclo
		----- % -----	
<i>Glomus</i> spp.			
<i>G. macrocarpum</i> Tul. & Tul.	17,6	10,9	6,6
<i>G. etunicatum</i> Becher & Gerd.	37,3	54,0a	33,8b
<i>G. invermaium</i> Hall	4,2	2,8b	8,6a
<i>G. geosporum</i> (Nicol. & Gerd.) Walker	0,4	0,3	0,0
<i>G. sp1</i>	1,8	0,3	0,0
<i>G. sp2</i>	-	19,1a	11,1b
<i>Sclerocystis</i> spp.			
<i>Sclerocystis sinuosa</i>	5,6	0,0	0,0
<i>Gigaspora</i> spp.			
<i>G. ramisporophora</i>	2,6	1,4	0,3
<i>Scutelospora</i> spp.			
<i>S. heterogama</i> (Nicol. & Gerd.) Walker & Sanders	10,0	4,7	2,5
<i>S. weresubiae</i> Koske & Walker	4,6	1,4b	6,0a
<i>Acaulospora</i> spp.			
<i>A. foveata</i> Trape & Gerd.	0,2	0,7	0,4
<i>A. mellea</i> Spain & Schenck	4,0	0,0	8,0
<i>A. morrowae</i> Spain & Schenck	2,3	1,5	4,8
<i>A. scrobiculata</i> Trappe	5,6	1,0b	16,4a
<i>A. longula</i> Spain & Schenck	-	0,3	0,6
<i>A. tuberculata</i> Janos & Trappe	0,2	0,1	0,4
Não Identificados	3,6	0,6	0,7

(¹). Valores médios de 4 repetições.

(²). Valores seguidos de letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

(³). Análise de variância calculada com os dados transformados para arco seno raiz de ($x \cdot 100^{-1}$) porcentagem de esporos.

3.4.4. Número de esporos e de propágulos infectivos

O número inicial de esporos e de propágulos infectivos (PI), avaliados após o preparo do solo foram, respectivamente, 479 esporos.100g⁻¹ e 129 (61 - 277) propágulos.100g⁻¹

de solo seco. Quando contrasta-se o número de esporos e o de PI encontrados após os pré-cultivas nota-se a capacidade de modificação que esta prática pode proporcionar (FIG. 1). Apesar do ciclo de crescimento das plantas ter sido relativamente curto (82 dias), os tratamentos promoveram mudanças tanto no número de esporos quanto no de propágulos infectivos (FIG. 1).

Após o ciclo de cultivo das diferentes coberturas vegetais verificou-se uma tendência de redução no número de esporos em relação a amostragem inicial (FIG. 1), notadamente nas parcelas cultivadas com sorgo e ausência de vegetação.

Verifica-se que no início do experimento o número de esporos estava relativamente alto (FIG. 1) e o número de PI estimados pela metodologia do NMP apresentava-se baixo quando comparado com os valores obtidos no final do ciclo (FIG. 1). Esta aparente discrepância é comum e tem sido atribuída à presença de um grande número de esporos inativos e dormentes (PORTER, 1979; AN et al, 1990), podendo também indicar um efeito depressivo causado pelo revolvimento do solo através do processo de aração e gradagem sobre a capacidade infectiva da malha de hifas da população de fungos MA nativos (MOORMAN & REEVES, 1979; EVANS & MILLER, 1988; JASPER et al, 1989).

O número de PI após os pré-cultivas encontram-se apresentados no quadro 6. Contrastando-se os valores obtidos após os pré-cultivas com o resultado inicial (FIG. 1), verifica-se uma tendência de decréscimo no tratamento sem vegetação em relação a amostragem inicial e aos pré-cultivas. No entanto, os demais tratamentos, com exceção da crotalária proporcionaram tendências de aumento do número de PI em relação a amostragem inicial. O sorgo se destacou em relação aos demais tratamentos. Dentre as leguminosas, o feijão-de porco, a mucuna preta e

o guandu embora tenham apresentado tendência de aumento no número de PI em relação a ausência de vegetação, os valores não alcançaram diferenças significativas (Quadro 6).

Os valores encontrados para o número de propágulos infectivos no início e no final do experimento (FIG. 1) estão próximos aos encontrados em outros trabalhos (SIEVERDING, 1991; ILAG et al 1987). Contudo, HARINIKUMAR & BAGYARAJ (1988, 1989) relataram em solos da Índia valores bem maiores, o que pode ser atribuído a vários fatores como o tipo, umidade e manejo do solo; modelo de produção, capacidade de suporte das plantas hospedeiras utilizadas, presença de predadores naturais dos fungos MA, infectividade e número de propágulos inicial da população nativa dos fungos MA além da duração do ciclo de crescimento das plantas (ILAG, et al, 1987; SIMPSON & DAFT, 1990).

Nas plantas de sorgo, a colonização micorrízica e a esporulação foram baixas em relação as leguminosas, e o número de propágulos infectivos alto (Quadro 6), evidenciando que na época da avaliação a principal forma de inóculo consistia de micélio fúngico presente no solo e nas raízes colonizadas. Assim sendo, o emprego da técnica do NMP possibilita uma melhor visualização das mudanças relativas ao PI dos fungos MA, fornecendo uma melhor estimativa do número de propágulos do que a contagem de esporos, como discutido por PORTER (1979). No entanto, vários trabalhos já demonstraram que o revolvimento do solo provoca uma destruição na malha de hifas, causando uma redução da capacidade infectiva do solo (EVANS & MILLER, 1988; JASPER et al, 1989). No preparo das amostras para o bioensaio do NMP é necessário um manuseio intenso do solo para homogeneização das amostras, o que acarreta, possivelmente uma destruição de parte do micélio. Assim esta técnica também deve subestimar o real potencial de

; inóculo, pois, esta parte do micélio inativada também deve contribuir para a capacidade infectiva dos fungos MA no solo.

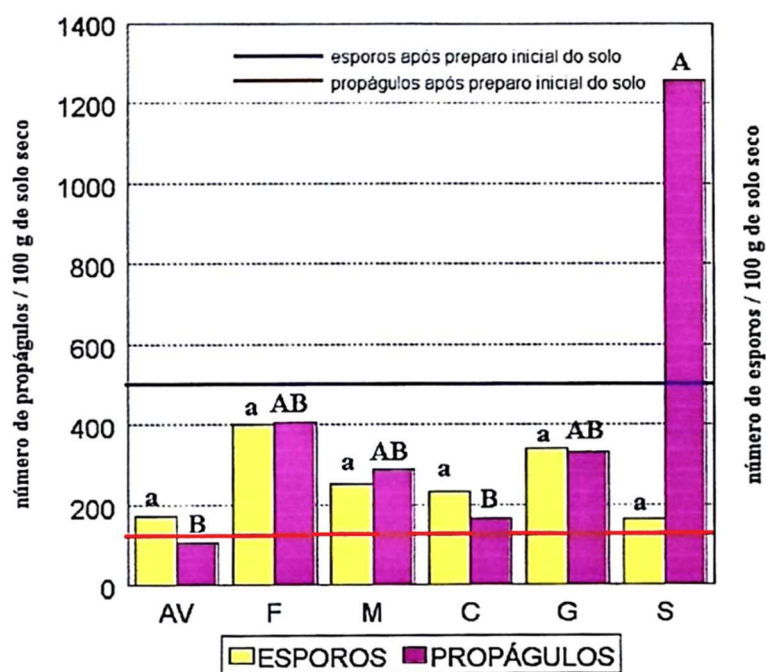


Fig. 1. Número de esporos e de propágulos infectivos no início (1) (preparo do solo) e após os tratamentos de ausência de vegetação (AV), feijão de porco (E), mucuna (M), crotalária (C), guando (G) e sorgo (S). Letras minúsculas e maiúsculas representam a comparação entre medias, respectivamente, entre esporos e propágulos infectivos pelo teste de Duncan ($p > 0,05$).

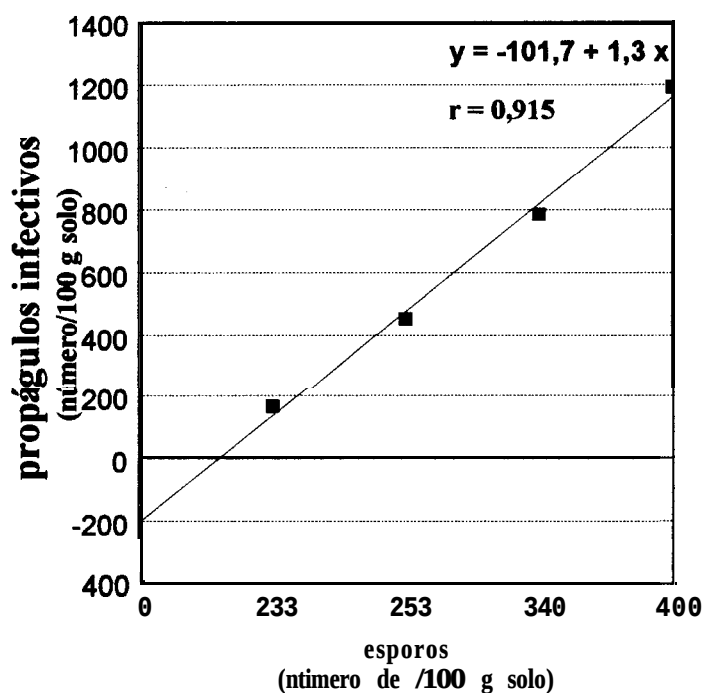


Fig. 3. Corelação entre o número de esporos e de propágulos infectivos para ausência de vegetação e leguminosas

Uma possível explicação para o elevado potencial de inóculo na rizosfera das plantas de sorgo seria o tipo de sistema radicular desta gramínea, que por ser fasciculado é mais ramificado e profuso do que o das leguminosas, bem como, deve apresentar um maior número de raízes finas. Assim, pode se supor que o maior número de PI esteja associado as raízes colonizadas. Detectou-se uma correlação positiva entre o número de esporos e o número de propágulos infectivos das áreas com ausência de vegetação e as pré-cultivadas com leguminosas

(FIG. 2). SIMPSON & DAFT (1990) atribuem as diferenças existentes no número de esporos entre plantas hospedeiras distintas a diferenças no comprimento de raízes infectadas e ao período de crescimento. Para a multiplicação massiva de fungos MA em vasos de cultivo, as gramíneas têm proporcionado melhores resultados do que as leguminosas (SIMPSON & DAFT, 1990).

Mesmo em condições de campo ILAG et al (1987), relataram que quando comparado com outras plantas, o milho foi a espécie que mais elevou o PI, seguido pelo feijão mungo. Em outro trabalho, HARINIKUMAR & BAGYARAJ (1988) relataram que tanto o número de esporos quanto o de propágulos infectivos foi maior nas plantas de amendoim em relação ao milheto e ao girassol e atribuíram este resultado as características do sistema radicular ligadas a dependência micorrízica desta planta, por estes serem grosseiros e com poucos pelos absorventes, o que discorda do trabalho de SIMPSON & DAFT (1990) e REIS et al (1991), que atribuem esta diferença ao comprimento de raízes infectadas, o que explicaria melhor o fato das plantas de sorgo terem apresentado um maior número de PI já que seu sistema radicular é notadamente mais fino e ramificado do que o das leguminosas.

As gramíneas como já discutido apresentam sistema radicular fasciculado com grande número de raízes finas e pelos absorventes mesmo quando micorrizadas (REIS et al, 1991), atributos de uma planta micotrófica facultativa, sendo beneficiadas pela micorrização em condições de baixa disponibilidade de P no solo, porém, mesmo em níveis mais altos ainda suportam bem a multiplicação dos fungos MA. JANOS (1980) teorizou que espécies micorrízicas facultativas têm grande importância na sucessão de espécies, já que em sistemas altamente degradados onde a população de fungos MA nativos foi destruída ocorre um predomínio de espécies não micorrízicas (REEVES et al., 1979) e com o tempo espécies

facultativas restabelecem o PI, permitindo assim que plantas micorrízicas obrigatórias pudessem se estabelecer (JANOS, 1980).

No tratamento ausência de vegetação ocorreu o oposto da ausência de vegetação a principal forma de propágulos, possivelmente, seriam os esporos, que, aparentemente, mantiveram a viabilidade durante o período de pousio. O processo de colonização radicular pode ser iniciado através de propágulos provenientes de micélio fúngico ou de esporos. Estes dois tipos de propágulos têm apresentado capacidades infectivas distintas. O micélio presente no solo tem resultado no aumento da capacidade infectiva dos fungos, já o inóculo proveniente de esporos tem se mostrado com menor capacidade infectiva, aumentando a fase lag da colonização micorrízica, porém apresenta uma maior capacidade de sobrevivência no solo, resistindo a condições adversas.

Assim, os diferentes tipos de propágulos têm importância distinta no processo de micorrização, e estão relacionados com o tipo de manejo. A demanda inicial por P da cultura subsequente, ou sua taxa de crescimento inicial requer um maior ou menor PI. Culturas que apresentem uma taxa de crescimento inicial lenta, respondem menos a capacidade infectiva da população nativa, já espécies de rápido crescimento necessitam de um PI maior para que todos os sítios de infecção sejam colonizados e o fornecimento de P para a planta seja adequado.

Algumas espécies de plantas micotróficas obrigatórias, como a mandioca, que se desenvolvem em solos com baixos teores de nutrientes disponíveis apresentam órgãos de propagação (sementes ou estacas) que possuem grande quantidade de reservas. Segundo ALLSOPP & STOCK (1992) isto seria uma estratégia de sobrevivência até que suas raízes se tornassem micorrizadas. As leguminosas feijão-de-porco e mucuna apresentam sementes grandes

e com um alto teor de nutrientes (Quadro 1), em solos degradados que apresentem uma pequena densidade de propágulos infectivos estas espécies teriam uma maior chance de se tornarem infectadas e, posteriormente, aumentar a densidade de propágulos de fungos MA do solo.

A otimização da população de fungos MA indígenas é uma alternativa à falta de inoculante em quantidade e qualidades adequadas. Neste trabalho, a identificação de plantas com potencial para alterar o NPI mostrou-se viável. Porém, estudos mais detalhados sobre a ecologia e manejo destes simbiontes são necessários a fim de habilitarmos a otimizar a população de FMA indígenas não só quantitativamente mas também de forma qualitativa. Para chegarmos a este patamar será necessário que micorrizologistas desenvolvam mais trabalhos nestas áreas e trabalhos de longa duração.

Por outro lado, a falta de metodologias adequadas a este tipo de estudo e a necessidade de técnicos habilitados a identificar taxonomicamente estes fungos são alguns dos pontos que dificultam avanços da pesquisa nestas áreas. Neste sentido, o desenvolvimento e a validação de metodologias apropriadas ao estudo destes simbiontes a campo é fundamental. A técnica do NMP utilizada neste estudo, apesar de suas limitações, conforme comentado acima, tem um grande potencial para aplicação para a pesquisa com fungos MA.

3.5. CONCLUSÕES

1. A técnica do "NMP" apresentou maior sensibilidade do que a extração e contagem de esporos quanto à detecção do número de propágulos.
2. A principal forma de propágulo dos fungos MA após o primeiro ciclo de cultivo foi a de esporos exceto onde o sorgo havia sido cultivado.
3. A frequência de ocorrência das espécies de fungos MA sofreu variação com os ciclos de cultivo, havendo um incremento nas espécies do gênero *Acaulospora* após o cultivo de mandioca.
4. As leguminosas mucuna e crotalária aumentaram a produção de folhas e ramas de mandioca em relação ao sorgo e às parcelas mantidas sem vegetação, porém, não houve efeito dos pré-cultivos sobre a produção de raízes tuberosas de mandioca.

3.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ABBOUD, A.C. S. Eficiência da adubação verde associada a fosfato natural de patos de minas. Itaguaí: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 1986. 296p. Tese de Mestrado.

ALLSOPP, N. & STOCK, W.D. Mycorrhizas, seed size and seedling establishment in a low nutrient environment. *In*: READ, D.J.; LEWIS, D.H.; FITTER, A.H. & ALEXANDER, I. J. (eds.) Mycorrhizas in Ecosystems. CAB International, p.59-64, 1992.

AN, Z.Q.; HENDRIX, J.W.; HERSHMAN, D.E. e HENSON, G.T. Evaluation of the “most probable number” (MNP) and wet-sieving methods for determining soil-borne population of endogonaceous mycorrhizal fungi. *Mycologia*. v.82, n.5, p. 576-581, 1990.

BALTRUSCHAT, H.; DEHNE, H.W. The occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizal in agro-ecosystems. I. Influence of nitrogen fertilization and green manure in continuous monoculture and in crop rotation on the inoculum potetion of winter wheat. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 107, p.279-284, 1988.

- BALTRUSCHAT, H.; DEHNE, H.W.; The occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizal in agro-ecosystems. II. Influence of nitrogen fertilization and green manure in continuous monoculture and in crop rotation on the inoculum potentiation of winter barley. *Plant and Soil* Dordrecht, v. 113, p.251-256, 1989.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F. & GALLO, J.R. Métodos de análise química de plantas. Campinas, Instituto Agronômico, 1983. n.p. (Boletim, 78).
- BREMNER, J.M. & MULVANEY, C.S. Nitrogen total. In: PAGE, A.L. ed. *Methods of soil analysis, part 2: Chemical and microbiological properties*. 2. ed. Madison, Soil Science Society of America, 1965. p. 595-624.
- CARGILL. Adubação verde no Brasil, Campinas, 1984. 363p.
- DE-POLLI, H; FRANCO, A. A.; ALMEIDA, D.L.; DUQUE, F.F; MONTEIRO, E M. S.; DÖBEREINER, J. A biologia do solo na agricultura. EMBRAPA/UAPNBS, Seropédica, RJ, 1988, 48p.
- DODD, J.C.; ARIAS, I.; KOOMEN, I.; HAYMAN, D.S. The management of populations of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in acid-infertile soils of a savanna ecosystem. *Plant and Soil*. Dordrecht, v. 122, p.241-247. 1990.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro, R.J. *Manual de Métodos de Análise de Solo*: Rio de Janeiro, SNLCS, 1979. np.
- EVANS, D.G.; MILLER M.H. Vesicular-arbuscular mycorrhizas and the soil-disturbance-induced reduction of nutrient absorption in maize: I. Casual relations. *New Phytology*, Oxford, v. 110, p.67-74. 1988.

- EVANS, D.G.; MILLER, M.H. The role of the external mycelial network in the effect of soil disturbance upon vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization of maize. *New Phytology*, Oxford, v. 114, p.65-71, 1990.
- FAIRCHILD, G.L.; MILLER, M.H. Vesicular-arbuscular mycorrhizas and the soil-disturbance-induced reduction of nutrient absorption in maize: II. Development of the effect. *New Phytology*, Oxford, v. 110, p.75-84, 1988.
- GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Espores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet-sieving and decanting, *Transactions of the British Mycological Society*, Cambridge, v.46, p.235-244, 1963.
- GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots, *New Phytology*; Oxford, v.84, p.489-500, 1980.
- GOMES, J.C. & HOWELER, R. Produção de mandioca em solos de baixa fertilidade. In: EMBRAPA/DDT Práticas culturais da mandioca. Anais do seminário realizado em Salvador, Bahia, Brasil, 1980. Brasília, 1984. 245p. (EMBRAPA/DDT, documento 14).
- HARINIKUMAR, K.M.; BAGYARAJ, D.J. Effect of crop rotation on native vesicular arbuscular mycorrhizal propagules in soil. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 110, p.77-80, 1988.
- HARINIKUMAR, K.M.; BAGYARAJ, D.J. Effect of crop sequence, fertilizers and farmyard manure on vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in different crop over three consecutive seasons. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, v.7, p. 173-175, 1989.

- ILAG, L.L.; ROSALES, A.M.; ELAZEGUI, F.A.; MEW, T.W. Changes in the population of infective endomycorrhizal fungi in a rice-based cropping system. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.103, p.67-73, 1987.
- JANOS, D.P.; Mycorrhizae influence tropical succession, *Biotropica*, Washington, v. 12 p.56-64 e p.83-95, 1980.
- JASPER, D.A.; ABBOTT, L.K.; ROBSON, A.D. Soil disturbance reduces the infectivity of external hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytology*. Oxford, v. 112, p.93-99, 1989.
- KOSKE, R.E. & GEMMA, J.N. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycology Research*, Cambridge. v.92,488-505, 1989.
- MOORMAN, T.; REEVES, F.B. The role of endomycorrhizae in revegetation practices in the semi-arid west. II. A bioassay to determine the effect of land disturbance on endomycorrhizal populations. *American Journal of Botany*, Bronx, v.66, n. 1, p. 14-18, 1970.
- MORTON, J.B. ; BENNY, G. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zigomycetes): a new Order, Glomales, two new Suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new Families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. *Mycotaxon*, Ithaca, v. 37, p.471-491, 1990.
- MOSSE, B. Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhizal. *Annual Review of Phytopathology*, Palo Alto, v.11, p. 171-196, 1973.
- MOSSE, B. Vesicular-arbuscular mycorrhizal research for Tropical Agriculture. *Research Bulletin*. Hawaii Institute of Tropical and Human Resources. Hawaii, 82p., 1981.

- PORTER, W.M. The "Most Probable Number" Method for enumerating Infective Propagules of Vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in soil. Australian Journal of Soil Research, Victoria, v. 17, p. 5 15- 5 19, 1979.
- POWELL, CL.; BAGYARAJ, D.J. VA mycorrhiza. Boca Raton: CRC, 1984. 234.
- REEVES, F.B.; WAGNER D; MOORMAN, T, & KIEL, J. The role of endomycorrhizae in revegetation practices in the semi-arid. west. I. A comparison of incidence of mycorrhizae in severely disturbed vs. natural environments. American Journal of Botany. v.66, p.6-13, 1979.
- REIS, M.A.; ZAMBOLIM, L.; NASCIMENTO, JR DO. Potencial de utilização de gramíneas para multiplicação de inóculos de fungos micorrizicos vesiculo arbuscular *Glomus etunicatum*. Fitopatologia Brasileira, v. 16, n3. p. 164- 170, 1991.
- SAIF, S.R. Vesicular-arbuscular mycorrhizae in tropical forage species as influenced by season, soil texture, fertilizers, host species and ecotypes. Angew. Botanik 60, 125-139, 1986.
- SCHENCK, N.C. & KINLOCH, R.A. Incidence of mycorrhizal fungi on six field crops in monoculture on newly cleared woodland site. Mycologia. v.72, p.445-456, 1980.
- SIEVERDING, E. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Technical Cooperation, Federal Republic of Germany, Eschborn, 371 p., 1991.
- SIEVERDING, E. Ecology of VAM fungi in tropical agrosystems. Agriculture, Ecosystems and Environment, Amsterdam, v.29, p.369-390, 1989.

SIMPSON, D.; DAFT, M.J. Spore production and mycorrhizal development in various tropical crop host infected with *Glomus clarum*. Plant and Soil, Netherlands. v. 121, p. 117-178, 1990.

TRAPPE, J.M. Phylogenetic and ecologic aspects of mycotrophy in the angiosperms from an evolutionary standpoint. In: SAFIR, G.R. (ed.) Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants, 5-25. CRC Press, Boca Raton, 1987.

4. Capítulo 3. Efeito de pré-cultivas, sobre a efetividade simbiótica do fungo *Glomus manihotis* e no desenvolvimento da Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz C.V. Saracura)

4.1. RESUMO

A resposta à inoculação com o fungo *Glomus manihotis* sobre a produção da mandioca em um solo submetido a três pré-cultivas diferentes foi avaliada sob condições de casa-de-vegetação em um delineamento experimental de blocos casualizados com 5 repetições, arranjados num esquema fatorial $3 \times 3 \times 2$, à saber: 3 amostras de solo coletadas sob diferentes coberturas vegetais (sem cobertura, crotalária juncea e sorgo); 3 fontes de inoculação (ausência, suspensão de esporos e inóculo de solo) e dois níveis de desinfestação do solo (ausência e presença de fumigação). Dentre os pré cultivos o com crotalária promoveu os maiores benefícios, estimulando a micorrização no solo não fumigado e promovendo aumentos na acumulação de N e matéria seca total, tanto de raízes como da parte aérea em ambos tratamentos de desinfestação do solo quando comparado aos pré-cultivas ausência de vegetação e sorgo. A inoculação promoveu um aumento na produção de matéria seca da parte aérea da mandioca em relação ao tratamento não inoculado, somente no solo fumigado, bem como, aumentou a acumulação de N, P e K, sendo que o pré cultivo com crotalária inoculado com inóculo de solo promoveu um maior acúmulo de N em relação aos demais pré cultivos. No solo não fumigado não houve resposta a inoculação,

o que demonstra que a população de fungos nativos eram eficientes em relação ao *Glomus manihotis*. No solo fumigado a inoculação com inóculo de solo proporcionou as maiores taxas de colonização em relação à inoculação com esporos.

4.2. INTRODUÇÃO

A mandioca é a quarta cultura em importância na produção de alimentos energéticos nos países em desenvolvimento, sendo superada apenas pelo arroz, trigo e milho (FAO, 1987), embora possua maior capacidade produtiva que estas culturas (COCK, 1974). A grande capacidade de produção aliada a sua boa adaptação às condições ecológicas adversas como chuvas erráticas, déficit hídrico e solos com baixos níveis de nutrientes disponíveis, além da facilidade de condução da cultura no campo, a torna uma ótima fonte de alimentos energéticos à baixo custo de produção. Além das raízes tuberosas, as suas folhas apresentam alto teor proteico podendo ser utilizada como ração animal ou mesmo para alimentação humana.

O sistema de produção da mandioca é caracterizado por pequenas propriedades, onde se emprega uma tecnologia precária e raramente são utilizados insumos em sua produção, sendo $16t.ha^{-1}.ano$ a produtividade média do Estado do Rio de Janeiro, que apesar de estar próxima à média nacional, poderá ser elevada com o desenvolvimento de técnicas mais adequadas para seu cultivo. Dentre as alternativas viáveis para se elevar a produtividade em sistemas que empregam poucos insumos, está a otimização da simbiose

micorrízica da qual esta cultura apresenta alta dependência (YOST & FOX, 1979; HGWELER et al, 1982; KATO, 1987; SIEVERDING, 1991).

O principal benefício desta associação para a mandioca está no aumento da capacidade de absorção de nutrientes pelo seu sistema radicular, principalmente o fósforo (P) (HGWELER, 1980). HGWELER et al (1982) determinaram que o nível crítico externo de P disponível em um solo Haplustrox pelo extrator BRAY II, para a mandioca micorrizada é de 15 **mg/dm³** de solo, enquanto para a não micorrizada este nível atingiu 190 **mg/dm³** de solo, ou seja, um aumento de 1260% no requerimento externo de P para que a mandioca atingisse 90% da produção máxima.

Apesar de se obter ótimas respostas quando se trabalha com fungos micorrízicos em solo esterilizado, a inoculação à nível de campo nem sempre traz benefícios, devido a presença de endófitos nativos eficientes (RANG et al, 1980; HGWELER et al, 1982; ABBOTT & ROBSON, 1982). Na revisão de ABBOTT & ROBSON (1982) os autores citam que a maioria dos solos contém fungos MA e para que haja resposta à inoculação com estes fungos, os solos devem ter uma baixa incidência de endófitos nativos ou, alternativamente, espécies que tenham uma efetividade sobre a cultura menor do que a do fungo inoculado.

SIEVERDING (1991) apresenta diversos resultados positivos obtidos com a inoculação da mandioca à nível de campo. Neste sentido, a efetividade de varias espécies de fungos MA para o desenvolvimento da mandioca já foi testada (GARCIA et al, 1987; SIEVERDING & GALVEZ, 1988; KATO, 1987; SIEVERDING, 1991) e dentre as espécies avaliadas *Glomus manihotis* se destaca como uma das mais eficientes. Embora,

como mostrado por HÖWELER & SIEVERDING (1983), nos locais onde ocorre uma população de fungos MA efetiva e com alto potencial de inóculo, não houve resposta à inoculação com o *Glomus manihotis*, nem quando foram utilizadas diferentes fontes e níveis de inóculo. Porém, a inoculação com fungos desta espécie em outro local onde o potencial de inóculo era baixo e a população era composta por espécies ineficientes, a inoculação promove um aumento expressivo na produtividade da mandioca. No entanto, a inoculação de um campo de produção de mandioca ainda é inviável, devido à grande quantidade de inóculo necessária (50 a 500 g por planta), o alto custo e o baixo rendimento do processo de produção do inoculante.

Uma alternativa viável ao processo de inoculação é o uso de culturas antecessoras capazes de elevar o potencial de inóculo dos fungos nativos e/ou alterar a frequência de distribuição das espécies dentro de uma população de forma a beneficiar a cultura subsequente. SIEVERDING (1991) demonstrou o efeito benéfico da rotação de culturas sobre o aumento e seleção de espécies de fungos MA mais efetivas para a cultura da mandioca e o efeito deletério da monocultura de mandioca sobre sua produtividade. Resultados semelhantes foram obtidos por HARIKUMAR & BAGYARAJ (1988, 1989).

Este trabalho tem por objetivo avaliar a inoculação do fungo *Glomus manihotis* sobre a produção da mandioca em um solo que foi submetido a três pré-culturas diferentes.

4.3. MATERIAL E MÉTODOS

4.3.1. Pré-cultivas

O solo utilizado foi coletado da camada superficial (0 a 0,20 m) nas linhas de plantio do experimento presente no capítulo II, conduzido no Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia - EMBRAPA, Seropédica, RJ, dos tratamentos ausência de vegetação e pré cultivados com sorgo e crotalária. A área apresentava, inicialmente, após a aração e a gradagem e antes da implantação dos tratamentos 129,5 (60,6 - 276,8) propágulos infectivos e 470 esporos por 100 g de solo seco, determinados, respectivamente, pela metodologia do NMP (PORTER, 1979) e peneiramento úmido e contagem (GERDEMANN & NICOLSON, 1963). Por ocasião do corte das plantas as parcelas submetidas a estes tratamentos apresentavam 107,2 (50,1-229,1), 1258,9 (588,8-2691,5) e 166,0 (77,6 - 691,8) propágulos infectivos e 172,5, 163 e 233 esporos por 100g de solo seco, respectivamente para os tratamentos ausência de vegetação, sorgo e crotalária.

4.3.2. Delineamento experimental e análises estatísticas

As parcelas experimentais foram compostas por vasos plásticos contendo três kg de solo seco ao ar e passado em peneira com malha de quatro milímetros, dispostos em casa-de-vegetação. O delineamento experimental adotado foi de blocos casualizados com 5

repetições, arranjos num esquema fatorial 3x3x2, a saber: 3 amostras de solo coletadas de áreas sob diferentes coberturas vegetais (sem cobertura, crotalaria e sorgo); 3 fontes de inoculação (ausência, suspensão de esporos e inóculo de solo) e dois níveis de desinfestação do solo (ausência e presença de fumigação). As médias dos tratamentos foram comparadas através do teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.3.3. Produção de inóculo e inoculação

Esporos de *Glomus manihotis* obtidos da Universidade de Göttingen, Alemanha, foram multiplicados previamente em potes contendo 3 kg de solo desinfestado e cultivado com *Brachiaria decumbens* por quatro meses. O inóculo final apresentava, em média, 2000 esporos por 100g de solo seco. A inoculação foi feita com uma suspensão contendo 1000 esporos ou 50 g de inóculo de solo (solo, micélio, raízes colonizadas e esporos) de *Glomus manihotis*. Colocados a uma profundidade de cinco centímetros sob a região a ser plantada.

4.3.4. Fumigação do solo

As amostras de solo oriundas dos três tratamentos foram desinfestadas separadamente. O processo de fumigação constou da vaporização de BROMEX (brometo de metila + cloropicrina 2%) na dosagem de $250 \text{ cm}^{-3} \cdot \text{m}^{-3}$, em uma caixa de amianto lacrada. Após 48 horas o lacre da caixa foi aberto e o solo foi mantido durante uma semana sob aeração.

4.3.5. Plantio e Condução do Ensaio

Foi plantada uma maniva-semente da cultivar Saracura com duas ou três gemas por vaso, na posição horizontal e na profundidade de 0,05 m. Não foi feita nenhuma adubação adicional nos vasos. A irrigação dos vasos foi feita diariamente com água destilada, conforme a necessidade das plantas. As plantas cresceram por 80 dias, quando então procedeu-se a coleta da parte aérea e raízes.

4.3.6. Parâmetros avaliados

- (1) Taxa de colonização radicular pelos fungos MA;
- (2) Peso de fitomassa seca;
- (3) Efetividade da população nativa de fungos MA;
- (4) Acumulação de nutrientes na fitomassa (N, P, K, Ca, Mg),

4.3.6.1. Colonização micorrízica

Amostras de raízes finas foram processadas para observação em microscópio estereoscópico, através da técnica descrita por KOSKE & GEMMA (1990) e a taxa de colonização foi estimada pelo método da interseção descrito por GIOVANETTI & MOSSE (1980).

4.3.6.2. Análises dos tecidos da mandioca

O procedimento para análise de N foi baseado no método recomendado por BREMNER & MIJLVANEY (1965) para solos. P e K foram determinados a partir de digestão

nítrico-perclórica (BATAGLIA et al, 1983). O P foi determinado colorimetricamente a partir da formação da cor azul do complexo fosfato-molibdato na presença de ácido ascórbico como redutor (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1979). O K foi determinado através de fotometria de chama.

4.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4.1. Colonização micorrízica radicular da mandioca

A colonização radicular das plantas de mandioca foi influenciada significativamente pelos pré-cultivos, pela desinfestação e pela inoculação, havendo efeito interativo entre inoculação x desinfestação e pré-cultivos x desinfestação.

A ausência de colonização no solo fumigado não inoculado demonstra que a desinfestação do solo foi eficiente (QUADRO 1). A inoculação com inóculo de solo proporcionou maiores taxas de colonização do que a inoculação com suspensão de esporos neste tratamento. Este aumento pode ser decorrente do maior potencial de inóculo deste tipo de inoculante, quando comparado a inoculação com suspensão de esporos (MANJUNATH & BAGYARAJ, 1981; SIQUEIRA et al. 1994), visto que o solo não apresentava propágulos infectivos.

O fato da inoculação no solo não desinfestado não ter promovido modificações na taxa de colonização radicular da mandioca reforça esta afirmativa, pois plantas infectadas com quantidades elevadas de propágulos apresentam taxas de colonização elevadas no início do crescimento, mas, geralmente, não diferenciam ao final do experimento, quando aquelas

com menores quantidades alcançam o ponto de saturação máximo da colonização (BOWEN, 1987, SIQUEIRA, et al. 1994). Além da influência do genoma da planta e do fungo, as características da colonização são afetadas pelo ambiente e pela densidade de propágulos no solo ou na rizosfera (BOWEN, 1987). Este resultado evidencia também que apesar da grande diferença no número de propágulos infectivos nestes três pré cultivos, a não resposta a inoculação no tratamento não desinfestado demonstra que o potencial para micorrização dos três solos não foi alterado pelos pré-cultivos e que o ponto de saturação da colonização para a mandioca foi atingido em todos os solos (BOWEN, 1987).

Quadro 1. Taxa de colonização micorrízica da mandioca em função da fonte de inóculo de *Glomus manihotis* e da desinfestação do solo.

FONTE DE INÓCULO	DESINFESTAÇÃO		MÉDIA
	FUMIGADO	NÃO FUMIGADO	
	%	%	%
Não inoculado	0,000 Cb	73,139 Aa	36,569 C
Esporos	80,339 Ba	72,469 Ab	76,404 B
Inóculo misto	86,431 Aa	75,126 Ab	80,779 A
MEDIA	55,590 b	73,578 a	

C.V. (%) = 7,62

(¹). Valores seguidos de letras maiúsculas e minúsculas representam, respectivamente, contraste de médias dentro e entre colunas, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A inoculação no solo fumigado proporcionou aumentos na taxa de colonização superiores aos do solo não desinfestado para as duas fontes de inóculo. A maior taxa de colonização proporcionada pela inoculação do fungo *Glomus manihotis* no solo

desinfestado reflete, em geral, um melhor desenvolvimento do fungo introduzido em um ambiente onde não ha competição com os fungos nativos (ABBOTT & ROBSON , 1982). Verifica-se que no solo não fumigado não há diferenças entre as formas de inóculo, bem como, entre estas e o tratamento não inoculado (QUADRO 1).

Quadro 2. Taxa de colonização micorrízica da mandioca em função do pré-cultiva e da desinfestação do solo .

PRÉ-CULTIVO	DESINFESTAÇÃO		MÉDIA
	FUMIGADO	NÃO FUMIGADO	
	-----	%	-----
Ausência de vegetação	53,409 Ab	64,160 Ca	58,784 B
Sorgo	56,875 Ab	75,086 Ba	65,980 A
Crotalária	56,486 Ab	81,488 Aa	68,987 A
MÉDIA	55,590 b	73,578 a	

C.V. (%) = 7,62

(¹)Valores seguidos de letras maiúsculas e minúsculas representam, respectivamente, contraste de médias dentro e entre colunas, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O efeito interativo entre os pré-cultivas e desinfestação sobre a taxa de colonização micorrízica está apresentado no quadro 2. Decompondo-se a interação pode-se observar que no solo não fumigado o pré-cultiva com crotalária proporcionou um maior benefício sobre a taxa de colonização do que os demais pré-cultivas (QUADRO 2). O sorgo proporcionou valores intermediários e o pré-cultiva ausência de vegetação resultou menor taxa de colonização da mandioca em relação aos demais tratamentos. DURVET, et al (1990) lançaram o conceito de receptividade de um solo a micorrização que seria a resposta

em aumento no desenvolvimento de uma dada planta como efeito da inoculação com um dado fungo MA. Utilizando-se deste conceito, verifica-se um baixo potencial para micorrização no tratamento ausência de vegetação, mesmo através da inoculação com o fungo exótico *Glomus manihotis*, o que demonstra a baixa receptividade deste pré-tratamento à micorrização.

4.4.2. Acumulação de nutrientes na mandioca

Os resultados dos tratamentos com pré-cultiva, inoculação e desinfestação do solo sobre a acumulação de nutrientes, avaliados nas plantas de mandioca são apresentados nos quadros 3, 4, 5, 6 e 7.

4.4.2.1. Nitrogênio

Através dos resultados da análise de variância verificou-se tantos os efeitos isolados da desinfestação, do pré-cultiva e da inoculação como da interação desinfestação x pré-cultiva e inoculação x pré-cultiva para a acumulação total de N pelas plantas (QUADRO 3 e 4).

O pré-cultiva com crotalária proporcionou a maior acumulação total de N nas plantas de mandioca (QUADRO 3) quando comparado com os demais pré-cultivas, possivelmente, pelo enriquecimento nos teores de N do solo, visto que esta leguminosa se beneficia da associação com bactérias fixadoras de N_2 atmosférico (LATHWELL, 1990). A mais baixa relação C/N do material vegetal desta leguminosa também deve ter contribuído para obtenção deste resultado, quando comparado ao sorgo. VEJSADOVÁ (1992) observou que a aplicação de fertilizante nitrogenado estimulou positivamente a frequência e a intensidade da micorrização de plantas de trevo por fungos nativos, o mesmo foi verificado

para a aplicação de esterco. Desta forma, um possível incremento do N do solo promovido por esta leguminosa pode ser uma das possíveis explicações para o benefício do pré-cultiva com esta leguminosa sobre a taxa de colonização (QUADRO 2) em relação aos demais pré-cultivos.

Um efeito interativo entre pré-cultiva x desinfestação do solo revela um comportamento diferencial para o tratamento ausência de vegetação em relação ao sorgo e a crotalária. As plantas crescidas no solo desinfestado acumularam significativamente mais N do que as do solo não desinfestado nos tratamentos pré-cultiva com crotalária e sorgo, enquanto no tratamento ausência de vegetação não houve diferença entre solo desinfestado e não desisfestado.

Quadro 3. Acumulação total (raízes + parte aérea) de N na mandioca em função do pré-cultivo e da desinfestação do solo.

	DESINFESTAÇÃO		MÉDIA
	FUMIGADO	NÃO FUMIGADO	
PRÉ-CULTIVO	-----	mg.planta ⁻¹	-----
Ausência de vegetação	111,827 Ca	98,741 ABa	105,284 B
Sorgo	152,066 Ba	81,612 Bb	116,839 B
Crotalária	194,248 Aa	115,289 Ab	154,768 A
MÉDIA	152,714 a	98,547 b	
C.V. (%)	17,16		

(¹). Valores seguidos de letras maiúsculas e minúsculas representam, respectivamente, contraste de médias dentro e entre colunas, pelo teste de Tukey (p < 0.05).

Considerando que de 85 (FASSBENDER, 1975) a 98% (BREMMER, 1965) do N do solo está na forma orgânica, o processo de desinfestação do solo tende a liberar parte da fração ligada a biomassa (POWLSON & JENKINSON, 1976), assim, quanto maior o conteúdo de N microbiano maior será a quantidade de N liberada. Desta forma, o comportamento observado em relação a ausência de resposta à acumulação de N no tratamento ausência de vegetação pode ser indicativo de uma redução na atividade microbiana do solo. Estes dados concordam com os obtidos por THOMPSON (1989), em que este autor verificou que a desinfestação do solo com brometo de metila aumenta a mineralização líquida do N durante a incubação do solo.

A inoculação com inóculo misto promoveu um aumento na acumulação total de N em relação ao tratamento não inoculado (QUADRO 4). Já a interpretação da interação inoculação x pré-cultiva revela que à inoculação nos pré-cultivas ausência de vegetação e sorgo não resultou aumento na acumulação de N. Somente para a crotalária observou-se aumento na acumulação em ambos os tipos de inóculo, quando comparados ao tratamento não inoculado. Como discutido acima este efeito pode ter sido potencializado por um incremento no teor de N disponível neste tratamento.

Quadro 4. Acumulação total (raízes + parte aérea) de N na mandioca em função do pré-cultivo e da fonte de inóculo de *Glomus manihotis*.

PRÉ-CULTIVO	FONTE DE INOCULO		
	NÃO INOCULADO	SUPENSÃO DE ESPOROS	INOCULO DE SOLO
		----- mg	planta ⁻¹ -----
Ausência de vegetação	94,380 Ba	108,535 Ba	112,937 Ba
Sorgo	121,961 Aa	115,154 Ba	113,401 Ba
Crotalária	134,028 Ab	158,985 Aa	171,292 Aa
MÉDIA	116,790 b	127,558 ab	132,543 a
C.V. (%) = 17,16			

(¹). Valores seguidos de letras maiúsculas e minúsculas representam, respectivamente, contraste de médias dentro e entre colunas, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O efeito das micorrizas arbusculares sobre a absorção de N ainda é pouco conhecido, mas, geralmente, a micorrização promove um aumento na absorção de N pelas plantas (BAREA *et al.* 1989). AMES *et al.* (1984) sugerem que a inoculação com FMA pode induzir uma exploração de diferentes formas de N do solo, por meio disso, a micorrização poderia afetar a quantidade de N disponível para as plantas. Estes resultados têm sido comprovados pelos estudos de BAREA *et al.* (1989) que através da utilização de ¹⁵N, tem sugerido que as hifas de FMA podem utilizar formas de N que são pouco disponíveis para as plantas não micorrizadas.

4.4.2.2. Fósforo

Em relação a acumulação total de P nas plantas de mandioca detectou-se efeito do pré-cultivo, da desinfestação e da inoculação e efeito interativo apenas entre o pré-cultivo e desinfestação do solo (QUADRO 5 e 6).

Nota-se que a interação pré-cultivo x desinfestação em relação ao P total acumulado segue basicamente o mesmo comportamento encontrado para o N (QUADRO 3), porém, as plantas crescidas no solo não fumigado no pré-cultivo ausência de vegetação apresentaram maiores teores de P acumulado do que no solo fumigado, o que poderia ser atribuído a ausência de micorrização no tratamento não inoculado no solo fumigado, restringindo a absorção de P (THOMPSON, 1990), comprovando a grande dependência desta planta à micorrização para a absorção de P (YOST & FOX, 1979).

Quadro 5. Acumulação total (raízes + parte aérea) de P na mandioca em função do pré-cultivo e da desinfestação do solo.

	DESINFESTAÇÃO		
	FUMIGADO	NÃO FUMIGADO	MÉDIA
PRE-CULTIVO	-----	mg.planta ⁻¹	-----
Ausência de vegetação	22,191 Bb	28,583 Aa	25,387 B
Sorgo	31,419 Aa	25,178 Ab	28,299 A
Crotalária	32,629 Aa	26,352 Ab	29,491 A
MEDIA	28,747 a	26,705 b	

C.V. (%) 15,62

(¹). Valores seguidos de letras maiúsculas e minúsculas representam, respectivamente, contraste de médias dentro e entre colunas, pelo teste de Tukey (p < 0.05).

Quadro 6. Acumulação total de P e K na mandioca em função da fonte de inóculo de *Glomus manihotis*.

INOCULAÇÃO	ACUMULAÇÃO		TOTAL	
	FÓSFORO		POTÁSSIO	
	-----	mg. planta ⁻¹ -----		
Não inoculado	25,635	B	113,490	B
Esporos	28,766	A	128,131	A
Inóculo misto	28,776	A	129,125	A
C.V. (%)	15,62		15,76	

(¹). Valores seguidos de letras maiúsculas representam contraste de médias dentro de uma mesma colunas, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A inoculação com *Glomus manihotis* promoveu um aumento na acumulação de P em relação ao tratamento controle (QUADRO 6). A ausência de interação entre inoculação com o pré-cultivo ou a desinfestação indica um benefício da inoculação na absorção de P, quando comparado ao tratamento não inoculado independente dos outros fatores sob investigação, sugerindo que a absorção de P pode ser melhorada pela introdução de um fungo exótico mais efetivo (ABBOTT & ROBSON, 1982; HÖWELER & SIEVERDING, 1983; KATO, et al. 1990).

4.4.2.3. Potássio

Como os demais nutrientes avaliados a acumulação total de K variou com o pré-cultivo, desinfestação e inoculação, detectando-se um efeito interativo apenas entre o pré-cultivo e desinfestação do solo.

O pré-cultiva com crotalária aumentou a acumulação total de K em relação aos demais. Porém ao decompor-se a interação entre pré-cultiva x desinfestação não detectou-se diferença para o pré-cultiva com sorgo no solo fumigado (QUADRO 7). De forma geral, observou-se um efeito negativo da fumigação do solo sobre a acumulação de K. A análise da interação pré-cultiva x desinfestação demonstra que este comportamento foi determinado pelo tratamento ausência de vegetação, já que no sorgo ocorreu o oposto e na crotalária não houve diferença entre os tratamentos de desinfestação.

O comportamento do K em relação a inoculação foi semelhante ao apresentado pelo P (QUADRO 6). A inoculação promoveu aumento na acumulação deste nutriente em relação ao tratamento não inoculado, mas, não houve diferença entre as fontes de inóculo.

Quadro 7. Acumulação total (raízes + parte aérea) de K na mandioca em função do pré-cultivo e da desinfestação do solo.

DESINFESTAÇÃO						
		FUMIGADO		NÃO FUMIGADO		MÉDIA
PRE-CULTIVO		-----		mg.planta ⁻¹		-----
Ausência	de vegetação	99,027	Bb	126,971	Ba	112,999 B
Sorgo		126,541	Aa	107,335	Cb	116,938 B
Crotalária		135,059	Aa	146,558	Aa	140,808 A
MEDIA		120,209 b		126,955 a		
C.V. (%)		15,62				

(¹). Valores seguidos de letras maiúsculas e minúsculas representam, respectivamente, contraste de médias dentro e entre colunas, pelo teste de Tukey (p < 0,05).

4.4.3. Produção de matéria seca da mandioca

A produção de matéria seca total foi influenciado pelos tratamentos de inoculação e pré-cultivas, havendo ainda um efeito interativo pré-cultiva x desinfestação do solo. A inoculação com o fungo micorrízico exótico *Glomus manihotis* promoveu um aumento significativo na produção total de matéria seca das plantas de mandioca inoculadas em relação as não inoculadas sendo este aumento de 23 e 17%, respectivamente, para inoculação com suspensão de esporos e inóculo de solo (resultados não apresentados).

Quadro 8. Produção de matéria seca total (raízes + parte aérea) em função do pré-cultiva e da desinfestação do solo.

PRE-CULTIVO	DESINFESTAÇÃO		MÉDIA
	FUMIGADO	NÃO FUMIGADO	
	-----	g.planta⁻¹	-----
Ausência de vegetação	10,153 Cb	14,894 Ba	12,524 C
Sorgo	16,276 Ba	12,901 Bb	14,589 B
Crotalária	19,451 Aa	21,291 Aa	20,371 A
MÉDIA	15,293 a	16,362 a	

C.V. (%) 17,09

(¹). Valores seguidos de letras maiúsculas e minúsculas representam, respectivamente, contraste de médias dentro e entre colunas, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O pré-cultiva crotalária proporcionou um aumento significativo em relação aos demais tratamentos, tanto em solo fumigado como no não fumigado (QUADRO 8). Além da menor produção obtida nos tratamentos pré-cultiva sorgo e ausência de vegetação quando comparados ao tratamento crotalária, o pré-cultiva com sorgo no solo fumigado foi superior

a do não fumigado, o inverso ocorreu para o tratamento ausência de vegetação, que no solo fumigado resultou em uma menor produção de matéria seca total.

Notou-se uma redução na produção de matéria seca total e da parte aérea das plantas cultivadas no solo pré-cultivado com sorgo, não desinfestado em relação ao pré cultivo com crotalaria (QUADROS 8 e 9). SIEVERDING (1991) reportou uma correlação entre o número de propágulos infectivos (NPI) do solo e produção da mandioca, a partir de um limite crítico de 1300 propágulos por 100 g de solo seco ocorria um decréscimo de produção. Como este solo apresentava um potencial de inóculo de 1259 propágulos infectivos por 100 gramas de solo, com a inoculação com inóculo de solo este limite pode ter sido ultrapassado, ocasionando este efeito depressivo. CLAPPERTON & REID (1992) concluíram que existe uma interação entre a densidade de inóculo de fungos micorrhízicos arbusculares e a disponibilidade de nutrientes no solo, pois, a adição de nutrientes alivia o efeito depressivo causado pelo aumento excessivo do número de propágulos.

A partição da matéria seca com base na relação a produção de parte aérea e raízes apresenta comportamento distinto quanto a fuminação do solo. O desenvolvimento da parte aérea foi influenciado de forma independente em relação ao pré-cultivas x fumigação e inoculação x fumigação

A produção de matéria seca da parte aérea da mandioca no solo não fumigado foi em média 42,7 % menor do que no solo fumigado (QUADRO 9). Já a produção de raízes apresentou comportamento inverso, produzindo 41,9 % a mais em relação ao solo fumigado (QUADRO 11). Neste trabalho, quando se faz referência a raíes refere-se a raízes

absorventes mais as tuberosas, que no caso da mandioca funcionam como órgão de reserva de fotossintatos.

Quadro 9. Produção de matéria seca da parte aérea da mandioca em função do pré-cultivo e da desinfestação do solo.

PRE-CULTIVO	DESINFESTAÇÃO		MEDIA
	FUMIGADO	NÃO FUMIGADO	
	-----	g.planta⁻¹	-----
Ausência de vegetação	9,503 Ba	5,921 Ab	7,712 B
Sorgo	10,041 Ba	4,251 Bb	7,146 B
Crotalaria	13,062 Aa	7,243 Ab	10,152 A
MEDIA	10,869 a	5,805 b	
C.V. (%) 20,45			

(¹). Valores seguidos de letras maiúsculas e minúsculas representam, respectivamente, contraste de médias dentro e entre colunas, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A inoculação promoveu aumentos significativos na produção da parte aérea das plantas no solo fumigado, porém, o mesmo não ocorreu no solo não fumigado (Quadro 10). A maior produção das plantas no solo não fumigado em relação ao não fumigado pode ser devido a mineralização de nutrientes contidos na biomassa microbiana e/ou pela eliminação de algum fator biótico deletério ao crescimento das plantas pelo tratamento com brometo de metila.

Quadro 10. Produção de matéria seca da parte aérea da mandioca em função da desinfestação do solo e da fonte de inóculo de *Glomus manihotis*.

FONTE DE INOCULO	DESINFESTAÇÃO		MÉDIA
	FUMIGADO	NÃO FUMIGADO	
	-----	g.planta⁻¹	-----
Não inoculado	8,354 Ba	5,522 Ab	6,938 B
Esporos	11,463 Aa	6,168 Ab	8,815 A
Inóculo de solo	12,788 Aa	5,726 Ab	9,257 A

C.V. (%) 20,45

(¹). Valores seguidos de letras maiúsculas e minúsculas representam, respectivamente, contraste de médias dentro e entre colunas, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A produção de raízes foi influenciada pelo pré-cultiva e pela desinfestação do solo, sendo ainda influenciada pela interação destes fatores (Quadro 11). O pré-cultiva com crotalária no solo não fumigado foi superior aos demais. A fumigação do solo foi deletéria a produção de raízes em todos os tratamentos (QUADRO 11). O pré-cultiva ausência de vegetação proporcionou resultou em uma baixa produção de raízes, o que reforça a hipótese de que outro fator além da micorrização esteja contribuindo para este aumento na produção de raízes pelas plantas, visto que, a inoculação com *G. manihotis* não estimulou a formação de raízes neste tratamento.

O efeito do pré-cultiva e da inoculação com *Glomus manihotis* sobre a relação raiz/parte aérea encontra-se no quadro 12. Verifica-se que o pré-cultiva com crotalária e ausência de vegetação não sofreram influência da inoculação, porém apresentaram em geral valores distintos.

Quadro 11. Produção de matéria seca de raízes em função do pré-cultivo e da desinfestação do solo.

PRÉ-CULTIVO	DESINFESTAÇÃO		MÉDIA
	FUMIGADO	NÃO FUMIGADO	
	-----	g.planta ⁻¹	-----
Ausência de vegetação	0,650 Bb ¹	8,973 Ba	4,811 C
Sorgo	6,235 Ab	8,650 Ba	7,442 B
Crotalária	6,389 Ab	14,048 Aa	10,219 A
MÉDIA	4,425 b	10,557 a	

C.V. (%) 35,85

(¹). Valores seguidos de letras maiúsculas e minúsculas representam, respectivamente, contraste de médias dentro e entre colunas, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Quadro 12. Relação raiz/parte aérea de plantas de mandioca em função do pré-cultivo e da fonte de inóculo de *Glomus manihotis*.

PRÉ-CULTIVO	FONTE DE INÓCULO			MÉDIA
	NÃO INOCULADO	SUSPENÇÃO DE ESPOROS	INÓCULO DE SOLO	
Ausência de vegetação	0,549 Ba ¹	0,612 Ba	0,696 Aa	0,620 B
Sorgo	1,305 Aa	1,277 Aa	0,651 Ab	1,077 A
Crotalária	1,153 Aa	1,001 ABa	0,897 Aa	1,017 A
MÉDIA	1,003 a	1,248 a	1,077 a	

C.V. (%) = 40,30

(¹). Valores seguidos de letras maiúsculas e minúsculas representam, respectivamente, contraste de médias dentro e entre colunas, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Teores extremos de N e/ou P na planta tendem a limitar a micorrização (DOUDS & SCHENCK, 1990). A colonização da mandioca crescida no solo pré-cultivado com sorgo atingiu um nível intermediário entre os obtidos nos pré-tratamentos ausência de vegetação e crotalária, apresentando também níveis de nutrientes acumulados intermediários em relação a estes. As maiores taxas de colonização e de acumulação de nutrientes foram encontradas nas plantas de mandioca cultivadas no solo pré-cultivado com crotalária.

Dos parâmetros avaliados, em geral, as respostas foram devidas aos tratamentos de pré-cultiva e dentre estes o com crotalária propiciou o melhor desenvolvimento para as plantas de mandioca.

A taxa de colonização se correlacionou com a produção de matéria seca total. Quando os dados são analisados isolando-se a fonte de variação desinfestação, esta correlação ocorre apenas no solo não fumigado (Quadro 13). A ausência de uma correlação no solo fumigado pode estar indicando uma deficiência da simbiose micorrízica neste solo provavelmente devido aos tratamentos não inoculados.

A correlação entre taxa de colonização e produção de matéria seca da parte aérea e de raízes reforça a hipótese de que outro fator além da micorrização está promovendo uma alteração na relação raiz/parte aérea da mandioca. No solo não fumigado a correlação ocorre apenas para a produção de raízes e no solo fumigado a correlação só é significativa para a produção de matéria seca da parte aérea. PAULA *et al* (1992) verificaram comportamento semelhante para o desenvolvimento da batata-doce inoculada com fungo micorrízico *Glomus clarum* e a bactéria *Acetobacter diazotrophicus* observando que a presença da bactéria potencializava a produção de raízes através de uma ação.

sinérgica entre os organismos e atribuiu este fato a produção de fitohormônios pela bactéria.

A ausência de uma correlação significativa entre colonização e acumulação de fósforo total na mandioca no solo não fumigado demonstra que o benefício da micorrização neste solo é devido a outro fator e não pode ser atribuído ao aumento da absorção de P, no solo fumigado o comportamento foi contrário.

Quadro 13. Coeficientes de correlação e probabilidade entre taxa de colonização micorrízica e alguns parâmetros avaliados, calculado a partir dos dados totais (solo não fumigado e fumigado) ou parciais, isolando-se o fator desinfestação.

		TOTAL	NÃO FUMIGADO	FUMIGADO
Colonização	radicular	$r = 0,324$	$r = 0,373$	$r = 0,366$
x matéria seca	total	$p < 0,002$	$p < 0,011$	$p < 0,013$
Colonização	radicular	$r = 0,233$	$r = 0,413$	$r = - 0,023$
x matéria seca de	tubérculos	$p < 0,027$	$p < 0,005$	$p < 0,882$
Colonização	radicular	$r = 0,121$	$r = 0,127$	$r = 0,567$
x matéria seca da parte	aérea	$p < 0,257$	$p < 0,407$	$p < 0,000$
Colonização	radicular	$r = 0,252$	$r = 0,054$	$r = 0,396$
x acumulação de P		$p < 0,016$	$p < 0,723$	$p < 0,007$
Colonização	radicular	$r = 0,366$	$r = 0,298$	$r = 0,453$
x acumulação de K		$p < 0,000$	$p < 0,047$	$p < 0,002$

4.5. CONCLUSÕES

1. O pré-cultiva com crotalária proporcionou, em geral, as melhores respostas ao crescimento da mandioca em termos de produção de matéria seca total, colonização micorrízica radicular e acumulação de N, P e K quando comparado ao pré cultivo sorgo e o tratamento ausência de vegetação.
2. A utilização de pré-cultivas com o objetivo de aumentar a micorrização da cultura subsequente mostrou-se viável.
3. Houve resposta à inoculação do fungo micorrízico *Glomus manihotis* para a produção de matéria seca da parte aérea, porém, o mesmo não ocorreu para a produção de raízes.

4.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOTT, L.K., ROBSON, A.D. The role of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture and selection of fungi for inoculation. *Australian Journal of Agricultural Research*, Victoria, v.33, p.389-408, 1982.
- BATAGLIA, O.C., FURLANI, A.M.C., TEIXEIRA, J.P.F., GALLO, J.R. Métodos de análise química de plantas. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. n.p. (Instituto Agronômico. Boletim, 78).
- BOWEN, G.D. The biology and physiology in infection and its development. In: SAFIR, G.R. (Ed.). *Ecophysiology of VA mycorrhizal plants*. USA: CRC Press, 1987. p.27-55.
- BREMNER, J.M. Inorganic forms of nitrogen. In: Black, C.A. et al., (Eds.). *Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, 1965. p.1179-1237.
- BREMNER, J.M., MULVANEY, C. S. Nitrogen total. In: PAGE, A.L., ed. *Methods of soil analysis*. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1965. Part 2. p. 595-624.

- CLAPPERTON, J.M., REID, D.M. A relationship between plant growth and increasing VA mycorrhizal inoculum density. *New Phytologist*, Oxford, p. 227-234, 1992.
- COCK, J.H. Cassava: physiological basis. In: COCK, J.H., REYES, J.A., ed. *Cassava: Research, production and utilization*. UNDP/CIAT, 1985. p. 33-62.
- DOUDS, D.D., SCHENCK, N.C. Relationship of colonization and sporulation by VA mycorrhizal fungi to plant nutrient and carbohydrate contents. *New Phytologist*, Oxford, v. 116, 621-627, 1990.
- DURVERT, P., PERRIN, R., PLENCHETTE, C. Soil receptiveness to VA mycorrhizal association: Concept and method. *Plant and soil* Dordrecht, v. 124, p. 1-6, 1990.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro, R.J. *Manual de Métodos de Análise de Solo*: Rio de Janeiro: SNLCS, 1979. n.p.
- FAO; *Production Yearbooks*. v.40. FAO, Rome, 1987.
- FASSBENDER, H. *Química de Suelos. Con énfasis en suelos de América Latina*. Turrialba, Costa Rica. IICA. p. 398, 1975.
- GARCIA, L.F., ALMEIDA, R.T. Comportamento da mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz cv. olho verde) em relação à inoculação de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares. *Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 18, n. 1, p. 1-8, 1987.
- GERDEMANN, J.W., NICOLSON, T.H. Espores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet-sieving and decanting, *Transactions of the British Mycological Society*, Cambridge, v.46, p.235-244, 1963.

- GIOVANNETTI, M., MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots, *New Phytologist*, Oxford, v.84, p.489-500, 1980.
- GOMES, J.C., HGWELER, R. Produção de mandioca em solos de baixa fertilidade. In: EMBRAPA/DDT. Práticas culturais da mandioca. Brasília: EMBRAPA/DDT, 1984. 245p. (EMBRAPA/DDT. Documento 14).
- HARINIKUMAR, K.M., BAGYARAJ, D.J. Effect of crop rotation on native vesicular arbuscular mycorrhizal propagules in soil. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 110, p.77-80, 1988.
- HARINIKUMAR, K.M., BAGYARAJ, D.J. Effect of crop sequence, fertilizers and farmyard manure on vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in different crop over three consecutive seasons. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, v.7, p.173-175, 1989.
- HGWELER, R.H. Soil-related cultural practices for cassava. In: WEBER E. J., JORO, M., GRAHAM, M., ed. *Cassava Cultural Practice*. Ottawa: DRC, 1980. p.59-69.
- HGWELER, R.H., ASHER, C.J., EDWARDS, D.G. Establishment of an effective endomycorrhizal association on cassava in flowing solution culture and its effects on phosphorus nutrition. *New Phytologist*, Oxford, v.90, p.229-238, 1982a.
- HGWELER, R.H., CADAVID, L.F., BURCKHARDT, E. Response of cassava to VA mycorrhizal inoculation and phosphorus application in greenhouse and field experiments. *Plant and Soil*, The Hague, 69,327-339, 1982b.

- HÖWELER, R.H., SIEVERDING, E. Potentials and limitations of mycorrhizal inoculation illustred by experiments with field-grown cassava. *Plant and Soil*, The Hague v.75, p. 245-261, 1983.
- KANG, B.T., ISLAM, R., SANDERS, F.E., AYANABA, A. effect of phosphate fertilization and inoculation with VA-mycorrhizal fungi on performance of cassava (*Manihot esculenta*, Crantz) grown on an Alfisol. *Field Crops Research*, Netherlands, v.3, p. 84-94, 1980.
- KATO, O.R. Efeito de micorriza vesicular-arbuscular no crescimento e nutrição da mandioca (*Manihit esculenta*, Crantz) em solo adubado com doses crescentes de superfosfato triplo. Lavras: ESAL, 1987. 177p. Tese Mestrado.
- KATO, O.R., CORRÊA, H., SIQUEIRA, J.O., SOUZA, P., OLIVEIRA, E. Efeito de micorrizas vesicular-arbusculares no crescimento da mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz) em solo adubado com doses crescentes de superfosfato triplo. *Ciência e Prática*, 14, 1, p. 9-19, 1990.
- KOSKE, R.E., GEMMA, J.N. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycological Research*, Cambridge, v. 92, p. 488-505, 1989.
- LATHWELL, D.J. Legume green manures, principles for management based on recent research. In: Levesque, C. (Ed.). *TropSoils Bulletin Number 90-01*. Soil Management Collaborative Research Support Program, North Carolina State University, Raleigh. US Agency for International Development. 1990, 30p.
- MANJUNATH, A., BAGYARAJ, D.J. Components of VA mycorrhizal inoculum and their effects of growth of onion. *New Phytologist*. v87, p.355-363, 1981.

- PAULA, M.A., URQUIAGA, S., SIQUEIRA, J.O., DÖBEREINER, J. Synergistic effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and diazotrophic bacteria on nutrition and growth of sweet potato (*Iponea batatas*). *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, v. 14, p.61-66, 1992.
- PORTER W.M. The “Most Probable Number” Method for enumerating Infective Propagules of Vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in soil. *Australian Journal of Soil Research*, Victoria, v. 17, p.515-519, 1979.
- POWLSON, D.S., JENKINSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil - II. Gamma irradiation, autoclaving, air-drying and fumigation. *Soil Biology and Biochemistry*. VS, 3, p. 179-188. Headington, 1976.
- SIEVERDING, E. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Technical Cooperation, Federal Republic of Germany, Eschborn, 1991. 371p.
- SIEVERDMG, E., GALVEZA, L. Performance of different cassava clones with various VA mycorrhizal fungi. *Angewandte Botany*, Wenheim, v.62, n.5/6, p. 273-282, 1988.
- SIQUEIRA, J.O. Cultura axênica e monoxênica dos fungos micorrízicos vesículo-arbusculares. In: REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 2., 1987, São Paulo. Resumos... São Paulo : Secretaria do Meio Ambiente e da Agricultura, 1987. p. 44-70.
- SIQUEIRA, J.O., COLOZZI-FILHO., SAGGIN JUNIOR, O. J. Efeitos da infecção de plântulas de cafeeiro com quantidades crescentes de esporos de fungo endomicorrízico *Gigaspora margarita*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v-29,6, p.875-883, 1994.

- THOMPSON, J.P. Soil sterilization methods to show VA-Mycorrhizae aid P and Zn nutrition of wheat in vertisols. *Soil Biology and Biochemistry*. v.22, 2, p. 229-240, 1990.
- YOST, R.S, FOX, R.L. Contribution of mycorrhizal to P nutrition of crops growing on an Oxisol. *Agronomy Journal*, Madison, v.71, p.903-908, 1979.