

**DIVERSIDADE FUNCIONAL DE FUNGOS
MICORRÍZICOS ARBUSCULARES ORIUNDOS
DE SOLOS DA AMAZÔNIA OCIDENTAL**

GLÁUCIA ALVES E SILVA

2009

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Silva, Gláucia Alves e.

Diversidade funcional de fungos micorrízicos arbusculares oriundos
de solos da Amazônia Ocidental / Gláucia Alves e Silva. – Lavras :
UFLA, 2009.

90 p. : il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

Orientador: José Oswaldo Siqueira.

Bibliografia.

1. Simbiose radicular. 2. Fungos do solo. 3. Floresta amazônica. 4.
Sistemas agroflorestais. 5. Microbiologia do solo. I. Universidade Federal
de Lavras. II. Título.

CDD – 631.4 17

**DIVERSIDADE FUNCIONAL DE FUNGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES ORIUNDOS DE SOLOS DA AMAZÔNIA
OCIDENTAL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para a obtenção do título de “Doutor”.

Orientador

Prof. José Oswaldo Siqueira

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2009

**DIVERSIDADE FUNCIONAL DE FUNGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES ORIUNDOS DE SOLOS DA AMAZÔNICA
OCIDENTAL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para a obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 17 de abril de 2009

Profa. Fátima Maria de Souza Moreira UFLA

Prof. Sidney Luiz Stürmer FURB

Dr. Cláudio Roberto Fonsêca Sousa Soares UFLA

Prof. Messias José Bastos de Andrade UFLA

Prof. José Oswaldo Siqueira
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

*À minha avó, **Maria das Dores** (in memoriam),
por todo o carinho, incentivo, fé e amor
a mim dedicados.*

OFEREÇO

*A mainha (**Alzeni Monteiro**) pelo amor e dedicação sempre;
a **João Alves**, meu pai;
aos meus queridos irmãos: **José Carlos, Lúcio Flávio e Cláudia**;
ao meu amado sobrinho **Carlos Eduardo** que só nos trouxe muita
alegria;
a Deus razão maior da minha existência.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelas maravilhas que ele me deu durante todo esse período e, principalmente, pela força espiritual, mental e física, que me fizeram ultrapassar todos os obstáculos e chegar mais uma vez ao final de mais uma importante etapa de minha vida.

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade de realização do curso.

À Fundação de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao projeto TSBF-CIAT/GEF-UNEP, “Conservation and Sustainable Management of Below Ground Biodiversity”, pelo financiamento para execução deste trabalho.

Ao professor José Oswaldo Siqueira pela oportunidade de realização do mestrado e doutorado sob sua orientação, pelos ensinamentos, valiosas sugestões e críticas, pelo apoio e confiança durante estes cinco anos e, principalmente, pelo exemplo de profissionalismo.

A todos os professores do Departamento de Ciência do Solo.

Um agradecimento especial a professora Fátima Maria de Souza Moreira pela co-orientação, apoio e o auxílio sempre que precisei.

Ao bolsista PRODOC/CAPES Cláudio Roberto Fonsêca Sousa Soares pelo auxílio, apoio e disponibilidade para discussões e esclarecimentos de dúvidas.

Aos funcionários Marlene Aparecida de Souza e Manuel Aparecido da Silva pela valiosa contribuição na realização deste trabalho, além da amizade construída durante estes cinco anos.

Aos membros da banca examinadora, prof. Sidney Luiz Stürmer, Prof. Messias José Bastos de Andrade, Profª. Fátima Maria de Souza Moreira, Dr.

Cláudio Roberto Fonsêca Sousa Soares pela participação, colaboração e sugestões apresentadas.

Aos colegas do Departamento de Ciência do Solo, em especial aos amigos do Laboratório de Microbiologia do Solo adquiridos durante estes cinco anos: Helson, Andrezinho, Adrianinha, Rafaela, José Geraldo, Lucélia, Éderson, Silvana, Alexandre, Lucas, Alessandra, André, Alice, Amanda, José Geraldo, Meire, Silvana, Cláudio, Krisle, Cândido, Cleide, Ligiane, Manoel, Márcia, Marlene, Michele Aparecida, Michele Rocha, Paulo, Pedro, Plínio, Rogério, Bruno, Maurício, Jerusa, Bruna, Maíra, Sílvia, Amanda Azarias, Jakeline e Leandro, pela convivência, amizade e colaboração durante o curso.

Aos amigos: Évio, Euzelina, Jussara, Bruno Dias, Sandro, Tácio, Ivoney, Cleilton, Wal, Vitória e Rêgla, pela amizade e pelos bons momentos de descontração.

Um agradecimento especial a amiga Bruna pela valiosa ajuda e dedicação.

A dois grandes amigos: Josinaldo e Robervone que sempre foram como irmãos pra mim, meu muito obrigada, pela maravilhosa convivência, amizade e ajuda sempre que precisei.

As amigas de república de antes e de hoje: Taís, Krisle, Sílvia, Fabiana, Ludmila, pela amizade, cumplicidade e agradável convívio.

Um agradecimento especial a minha família aqui em Lavras, meus grandes amigos: Krisle, Meire, Amanda e Cândido, agradeço pela valiosa amizade, companheirismo e alegria. Sem dúvidas vocês são um presente de Deus na minha vida, e uma verdadeira amizade que será para a vida inteira. Amo vocês!!!

Aos meus queridos pais, João Alves Perônico e Alzeni Monteiro da Silva Alves, pelo amor, conselhos, educação e confiança sempre.

Aos meus irmãos José Carlos, Lúcio Flávio e Cláudia, pelo grande carinho.

Ao meu sobrinho Carlos Eduardo que só nos trouxe com sua chegada muito amor e alegria. Titia te ama.

À secretária do DCS, Daniela, pela paciência e dedicação no trabalho.

Ao professor Jacob Silva Souto pela valiosa oportunidade na iniciação científica, por acreditar no meu trabalho, pela amizade e ensinamentos e aos professores José Romilson e Rivaldo Vital, pela valiosa amizade.

Um agradecimento muito especial ao meu namorado e grande companheiro Rodrigo, que sempre esteve presente nas horas felizes e nas mais difíceis dessa longa caminhada, me incentivando, me dando forças, carinho, amor e muita dedicação. Você foi um grande e valioso presente de Deus na minha vida. Agradeço muito pelo seu amor e peço a Deus que este amor se fortaleça cada vez mais. Te amo muito.

APRESENTAÇÃO

Esta tese apresenta parte dos resultados do projeto internacional “Conservação e Manejo Sustentado da Biodiversidade do Solo” implementado em sete países tropicais – Brasil, Costa do Marfim, Índia, Indonésia, Quênia, México e Uganda. Este projeto é coordenado pelo Tropical Soil Biology and Fertility Institute do CIAT (TSBF-CIAT) com co-financiamento do "Global Environmental Facility" (GEF), e suporte para implementação do "United Nations Environment Program" (UNEP). O componente brasileiro do projeto é denominado BiosBrasil e é coordenado pela UFLA (www.biosbrasil.ufla.br). As opiniões expressas nessa publicação são de seus autores e não necessariamente refletem aquelas das instituições dos autores, do "United Nations Environment Programme" ou do "Global Environmental Facility."

SUMÁRIO

	Página
Lista de Tabelas.....	i
Lista de Figuras.....	ii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	vi
CAPÍTULO 1	01
1 Introdução Geral.....	02
2 Referencial Teórico.....	06
2.1 Aspectos gerais.....	06
2.2 Fungos micorrízicos arbusculares (FMAs).....	09
2.3 Diversidade funcional de fungos micorrízicos arbusculares.....	14
3 Referências Bibliográficas.....	20
CAPÍTULO 2: Diversidade funcional de fungos micorrízicos arbusculares isolados de solos sob diferentes sistemas de uso na região Amazônica.....	29
1 Resumo.....	30
2 Abstract.....	31
3 Introdução.....	32
4 Material e Métodos.....	36
5 Resultados e Discussão.....	43
5.1 Etapa- 1.....	43
5.2 Etapa- 2.....	55
5.3 Considerações Gerais dos Resultados.....	69
6 Conclusões.....	77
7 Referências Bibliográficas.....	78
ANEXOS.....	85

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

TABELA 1	Lista de identificação e origem dos FMAs empregados no estudo.....	38
TABELA 2	Colonização micorrízica, número de esporos no solo e número de vagens aos 120 dias após a inoculação com diferentes tratamentos de FMAs, nos solos da Amazônia e Lavras, na etapa-1 do experimento.....	44
TABELA 3	Matéria seca da parte aérea (MSPA), número e peso de nódulos e colonização micorrízica do caupi aos 85 dias após a condução seqüencial do experimento, nos solos da Amazônia e Lavras, na etapa-2 do experimento.....	56
TABELA 4	Teor de nitrogênio e acúmulo de nitrogênio e fósforo na MSPA das plantas de caupi aos 85 dias após a condução seqüencial do experimento, nos solos da Amazônia e Lavras, na etapa-2 do experimento.....	59

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

FIGURA 1	Produção de grãos do caupi aos 120 dias após a inoculação com diferentes tratamentos fúngicos, nos solos da Amazônia e Lavras, na etapa-1 do experimento.....	48
FIGURA 2	Correlação linear simples entre colonização e produção de grãos do caupi na etapa-1 do experimento, nos solos da Amazônia e Lavras.....	49
FIGURA 3	Teor de fósforo na MSPA das plantas de caupi aos 85 dias após a inoculação com diferentes tratamentos fúngicos, nos solos da Amazônia e Lavras, na etapa-2 do experimento.....	61
FIGURA 4	Correlação linear simples entre produção de grãos e MSPA no solo da Amazônia.....	63
FIGURA 5	Índice médio de performance funcional (IMPF) dos tratamentos fúngicos, nos solos da Amazônia e Lavras.....	70
FIGURA 6	Dendograma de similaridade, construído de acordo com as características microbiológicas (colonização micorrízica e número de esporos), química (teor de P na MSPA das plantas) e da planta (produção de grãos), através dos dados referentes à colonização micorrízica, número de esporos, teor de P na MSPA das plantas e produção de grãos do caupi nos diferentes tratamentos fúngicos, no solo da Amazônia.....	72

FIGURA 7 Dendograma de similaridade, construído de acordo com as características microbiológicas (colonização micorrízica e número de esporos), química (teor de P na MSPA das plantas) e da planta (produção de grãos), através dos dados referentes à colonização micorrízica, número de esporos, teor de P na MSPA das plantas e produção de grãos do caupi nos diferentes tratamentos fúngicos, no solo de Lavras.....

73

RESUMO

SILVA, Gláucia Alves e. **Diversidade funcional de fungos micorrízicos arbusculares oriundos de solos da Amazônia Ocidental**. 2009. 90 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

Na Amazônia os solos de áreas desmatadas perdem a fertilidade com rapidez e, a única maneira de manter a produção para sustentar os habitantes da região é avançar no desmatamento. Assim, encontrar alternativas para garantir o aporte de nutrientes para as plantas é uma necessidade para conter a destruição da floresta e, dentre as várias possibilidades, tem-se o emprego de biofertilizadores como as bactérias diazotróficas e os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). Os FMAs são importantes componentes dos ecossistemas terrestres onde desempenham papel fundamental para a sustentabilidade destes. Estes fungos sofrem influência de diversos fatores antrópicos, como o uso da terra, que modificam a estrutura e diversidade das comunidades, podendo comprometer suas funções ecológicas. Considerando a extensão geográfica e a complexidade e riqueza de espécies da região Amazônica, muito pouco se conhece sobre os FMAs. Os poucos estudos já publicados evidenciam a ocorrência de várias espécies neste bioma, mas a dimensão da biodiversidade destas e suas características funcionais precisam ser elucidadas. Recentemente estudos realizados pelo departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras - UFLA, Minas Gerais – Brasil revelaram uma abundante comunidade de FMAs em amostras de solos sob diferentes usos no Alto Solimões-Amazônia. Comunidades isoladas destas amostras exibiram comportamento muito diferenciado em promover o crescimento do caupi em condições controladas. Isto indica a existência de isolados eficientes nestas comunidades, que devem ser identificados. No presente estudo, isolados obtidos de solos em diferentes usos na região do Alto Solimões-Amazônia, foram avaliados com relação a características funcionais como: colonização, efeitos na absorção de P, crescimento e produção do feijão caupi em condições controladas. Estes isolados foram comparados a isolados referenciais, mantidos em culturas puras e misturas de vários FMAs. O estudo foi realizado em casa de vegetação na UFLA, em duas etapas seqüenciais, cada etapa com dois ensaios (dois tipos de solo). Foram utilizados 23 tratamentos que constaram de treze isolados de FMAs da Amazônia; três fungos de comportamento conhecido provenientes da coleção de FMAs da UFLA; seis inóculos mistos compostos de

* Comitê Orientador: José Oswaldo Siqueira – UFLA (Orientador), Fátima Maria de Souza Moreira – UFLA (Co-orientador).

acordo com as espécies encontradas nos solos sob diferentes usos na Amazônia; e uma testemunha não inoculada (NI) com FMAs. Todos os inóculos mistos foram suplementados com as culturas puras de *Glomus etunicatum*, *Glomus clarum* e *Gigaspora margarita*. Os fungos isolados de solos sob diferentes usos na Amazônia apresentaram ampla diversidade funcional em relação à colonização, efeitos na absorção de P, crescimento e produção do feijão caupi, sendo encontradas diferenças intraespecíficas entre alguns isolados. No solo da Amazônia verificou-se efeito generalizado dos isolados na absorção de P e no crescimento do feijão caupi, com incrementos de até 149% e 622% em relação ao controle NI, respectivamente. Entre os fungos testados, os isolados do gênero *Glomus* se mostraram mais promissores para promover o crescimento do caupi nos diferentes solos, sendo o *Gomus* “yellow” de capoeira nova, *Gomus* “yellow” de agrofloresta e *Glomus* “thin green” de pastagem os mais promissores para programas de inoculação na Amazônia.

ABSTRACT

SILVA, Gláucia Alves e. **Functional diversity of arbuscular mycorrhizal fungi from western Amazon soils.** 2009. 90 p. Thesis (Doctorate in Soil Science) – Federal University of Lavras, Lavras, MG.*

The soils of deforested areas in the Amazon quickly lose their fertility and the only way to keep production to sustain the inhabitants of the region is moving into deforestation. Therefore, finding alternatives to ensure the nutrient supply to plants is a necessity to limit the destruction of the forest. Among the various possibilities, there is the use of bio-fertilizers such as the diazotrophic bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). The AMF are important components of terrestrial ecosystems where they play a fundamental role for their sustainability. These fungi are influenced by a number of anthropic factors such as land use which modifies the structure and diversity of fungal communities and this may hamper their ecological functions. Considering the geographical extent and the complexity and richness of species in the Amazon region, very little is known about the AMF. The few studies already published show the occurrence of several species of AMF in this biome, but the extent of this biodiversity and their functional characteristics need to be elucidated. Recent studies conducted at the Soil Science Department of the Federal University of Lavras - UFLA, Minas Gerais - Brazil revealed abundant AMF communities in samples from soils under different uses in the Alto Solimões region in the Amazon. Isolated communities of these samples showed very different behavior in promoting cowpea growth under controlled conditions. This indicates the existence of efficient isolates in these communities, which must be identified. In the present study, isolates obtained from soils under different uses in the Alto Solimões region in the Amazon were evaluated for functional characteristics like colonization, effects in the uptake of P, growth and yield of cowpea under controlled conditions. These isolates were compared to reference isolates, maintained in pure cultures and mixtures of several AMF. The study was conducted in pots under greenhouse conditions at the UFLA, in two sequential stages, being each stage with two trials (two soil types). We used twenty-three treatments that consisted of thirteen isolates of AMF from Amazonian soils; three fungi of known behavior from the UFLA collection, six mixed inoculants composed according to the species found in soils under different uses in the Amazon, and a treatment without inoculation (NI). All mixed inoculants were supplemented with pure cultures of *Glomus etunicatum*,

* Guidance Committee: José Oswaldo Siqueira – UFLA (Adviser), Fátima Maria de Souza Moreira (Co-adviser).

Glomus clarum and *Gigaspora margarita*. The fungi isolated from soils under different uses in the Amazon had wide functional diversity in relation to colonization, effects in the uptake of P, growth and yield of cowpea. Intraspecific differences were also found among isolates. In the Amazon soil it was found a generalized effect of the isolates in the uptake of P and growth of cowpea, with increments of up to 149% and 622% compared to the control NI, respectively. Among the fungi tested, the isolates belonging to the genus *Glomus* were the most promising to promote cowpea growth in the two soils, being the *Gomus "yellow"* of young secondary forest, *Gomus "yellow"* of agroforestry and *Glomus "thin green"* pasture the most promising ones for inoculation programs in the Amazon.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

A exploração dos recursos naturais de forma desordenada, pelo homem, tem resultado em alterações na superfície e na atmosfera terrestres, no clima e, principalmente, na diversidade dos seres vivos. A destruição das florestas e a poluição ambiental são alguns exemplos negativos desta intervenção antrópica e, atualmente, poucas regiões do planeta encontram-se com seus ecossistemas primários.

A região Amazônica é uma dessas poucas regiões que ainda apresenta locais que não sofreram intervenção antrópica. No entanto, com a intensificação de atividades que culminam na conversão de florestas a pastagens extensivas, ocorrem desequilíbrios e redução na biodiversidade de organismos, contribuindo, na maioria das vezes, para a rápida degradação dos recursos naturais. Essa redução pode levar a alterações nas funções dos ecossistemas que afetarão sua produtividade e sua sustentabilidade (Swift & Anderson, 1994).

Os solos dessa região são, na sua maioria, de baixa fertilidade e com limitações como acidez elevada e baixa capacidade de troca de cátions. Quando submetidos ao desmatamento, perdem rapidamente matéria orgânica e nutrientes, tornando-se inférteis (Cochrane & Sanchez, 1982) e, para se tornarem produtivos, necessitam da reposição de nutrientes que, geralmente, não são disponíveis ou acessíveis aos produtores locais. Buscar alternativas para a fertilização desses solos, na região, é necessário para conter a destruição da floresta e, dentre as várias possibilidades, tem-se o emprego de organismos biofertilizadores, como as bactérias diazotróficas e os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). Se isolados eficientes de FMAs forem selecionados, estes podem ser aplicados para incrementar o rendimento das culturas e assim contribuir para a produção de alimentos na região.

Os FMAs são de ocorrência generalizada na maioria dos ecossistemas e

ambientes terrestres, colonizando cerca de 85% das espécies vegetais da maioria das famílias de plantas (Brundrett, 2002). Contudo, a distribuição e a eficiência desses fungos são bastante variáveis e desuniformes, refletindo a ampla diversidade genética desses simbiontes e suas relações com as plantas hospedeiras e com o ambiente edáfico (Brundrett, 1991). Assim, diferentes ecossistemas e condições do solo, normalmente, apresentam estrutura e composição de espécies de FMAs distintas. Nos ecossistemas brasileiros já estudados, a riqueza de espécies de FMAs varia de 6 a 32, com média de 17 espécies por ecossistema (Stürmer & Siqueira, 2008). Como os FMAs têm efeitos diferenciados sobre as plantas, os quais variam entre espécies fúngicas e até mesmo entre isolados de uma mesma espécie, modificações nas comunidades destes fungos, em função de alterações no ecossistema, podem ter consequências para as plantas hospedeiras.

O uso da terra exerce efeito diferenciado sobre os FMAs, podendo causar modificação na estrutura das comunidades fúngicas, alterando a distribuição e a dominância das espécies (Siqueira et al., 1989). Segundo estes autores, isso ocorre devido às alterações bióticas e abióticas do ambiente edáfico, como modificação da vegetação e das propriedades químicas do solo. As respostas diferenciadas dos FMAs às interferências no ecossistema resultam da complexa interação fungo-planta-ambiente, a qual é determinada pela plasticidade ecológica desses fungos em adaptar-se às alterações e colonizar as raízes, e pela eficiência da simbiose em promover o crescimento vegetal (Smith & Read, 1997).

Apesar de os FMAs serem considerados sem especificidade hospedeira, há evidências de especificidade funcional quando se consideram os efeitos desses fungos sobre as plantas hospedeiras (Lovelock et al., 2003; Gollotte et al., 2004; Pouyu-Rojas et al., 2006). Como os isolados fúngicos podem variar em função de alterações ambientais, é importante avaliar, além da ocorrência, a

diversidade funcional, uma vez que esta pode ser decisiva tanto para a estrutura da comunidade de plantas quanto para a produtividade do ecossistema (O'Connor et al., 2002).

Conhecer a estrutura da comunidade de FMAs de determinado ambiente ou bioma e avaliar a diversidade funcional destes simbioses são de importância fundamental quando se pretende explorar o potencial desses fungos. A diversidade funcional das micorrizas arbusculares (MAs) tem sido frequentemente definida em termos de respostas no crescimento das plantas, que podem variar de efeitos negativos a positivos, dependendo da combinação particular fungo-planta e das condições ambientais (Johnson et al., 1997). Esta diversidade funcional pode ser medida pela taxa de colonização micorrízica, a absorção de nutrientes e os efeitos no crescimento das plantas.

As plantas respondem de modo diferenciado a diferentes FMAs, sendo estas respostas observadas tanto entre isolados de FMAs pertencentes a diferentes espécies, bem como entre isolados de uma mesma espécie (Klironomos, 2003; Munkvold et al., 2004; Smith et al., 2004). Na região Amazônica, os FMAs são pouco estudados, mas, estudos recentes (Leal et al., 2009) revelam uma abundante comunidade de FMAs em solos sob diferentes usos no Alto Solimões-Amazônia. Estudos preliminares abordando aspectos funcionais de comunidades de FMAs obtidos daquela região revelam a existência de comunidades com elevada eficiência simbiótica (Silva et al., 2009), sendo esta característica influenciada pela origem da comunidade. Entretanto, quanto ao potencial de aplicação, torna-se necessário avaliar o comportamento de culturas puras e de isolados fúngicos em culturas específicas.

Uma das espécies de grande importância na Amazônia é o feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.], cultura que apresenta elevada suscetibilidade à colonização micorrízica e, geralmente, elevada resposta aos FMAs, mas pouco se conhece das respostas a FMAs isolados daquela região. No presente trabalho,

avaliaram-se características funcionais em relação à colonização, aos efeitos na absorção de P, ao crescimento e à produção do feijão-caupi, em condições controladas, de isolados obtidos de solos em diferentes usos, na região do Alto Solimões-Amazônia, em comparação a isolados referenciais, mantidos em culturas puras e misturas de vários FMAs.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos gerais

O impacto das atividades antrópicas sobre os recursos naturais tem interferido de maneira negativa no equilíbrio dos ecossistemas, constituindo uma das principais causas de degradação do solo e do ambiente. A degradação do solo torna-se evidente pela redução da capacidade produtiva das terras agrícolas, provocadas pelas perdas de matéria orgânica e pelos efeitos do impacto direto das chuvas sobre áreas sem a proteção adequada da cobertura vegetal (Souza & Silva, 1996). A intensificação das atividades antrópicas tem acelerado a destruição dos ecossistemas e, conseqüentemente, a perda da biodiversidade no planeta, implicando não apenas na interrupção da integridade dos ciclos biológicos, como também colocando em risco a própria sobrevivência humana (Siqueira, 1994).

A região Amazônica, com aproximadamente 5 milhões de km², abrange 59% do território nacional, e ainda apresenta locais que não sofreram intervenção antrópica. Os solos desta região apresentam, em geral, baixa fertilidade e limitações como baixa capacidade de troca de cátions e acidez elevada (Alfaia et al., 2008). Possui imensa diversidade de espécies vegetais que se traduz em uma grande diversidade animal, devido ao grande número de nichos existentes, e é de se esperar que a diversidade de organismos do solo seja afetada pela ampla diversidade vegetal e edáfica. No entanto, com a intensificação das atividades antrópicas, ocorrem desequilíbrios e redução na biodiversidade de organismos, podendo causar alterações nas funções dos ecossistemas, que afetarão sua produtividade e sustentabilidade, contribuindo, na maioria das vezes, para a rápida degradação dos recursos naturais e, conseqüentemente, para diminuição da capacidade dos ecossistemas de resistir e de se recuperar de perturbações (Swift & Anderson, 1994).

Na região Amazônica, os microrganismos e seus processos são ainda pouco conhecidos, considerando sua abrangência territorial e a diversidade de ecossistemas, embora alguns estudos já realizados (Jesus et al., 2005; Nóbrega, 2006; Leal et al., 2009; Lima et al., 2009; Silva et al., 2009) demonstrem a ocorrência de microrganismos benéficos, como bactérias que nodulam leguminosas (BNL) e FMAs que se associam às plantas e são de grande importância para a sustentabilidade do ecossistema (Moreira & Siqueira, 2006). No estudo realizado por Jesus et al. (2005), verificou-se influência do uso do solo sobre a diversidade de bactérias que nodulam leguminosas, sendo obtido menor número de isolados a partir de solo sob floresta, quando comparada às áreas cultivadas. Também Leal et al. (2009) verificaram que a riqueza e a diversidade de espécies de FMAs variou em função do uso do solo, sendo maior em capoeira nova e pastagem e muito reduzida na Floresta primária. Em outros estudos (Lima et al., 2009; Nóbrega, 2006; Silva et al., 2009) também foi constatada influência dos diferentes usos do solo na ocorrência, na diversidade e nos efeitos das BNL e dos FMAs.

A camada superficial do solo representa o principal reservatório de microrganismos. Dessa forma, qualquer fator que exerça impacto sobre esta parte do perfil do solo exercerá grande influência na ecologia e nas funções dos microrganismos (Habte et al., 1988). Oehl et al. (2003), estudando o impacto da intensidade do uso da terra sobre a diversidade de FMAs em agroecossistemas da Europa, verificaram que, em amostras de campo, o número de espécies e de esporos de FMAs foi maior nas pastagens e menor em solo com monocultivo intensivo de milho. Estes autores concluíram que o aumento da intensidade do uso do solo correlacionou-se com a diminuição da riqueza de espécies de FMAs e com a seleção preferencial de espécies que colonizaram as raízes lentamente, mas esporularam rapidamente.

Resultados semelhantes foram encontrados por Boddington & Dodd (2000),

estudando o efeito de práticas agrícolas sobre o desenvolvimento de FMAs indígenas em situação de campo. Estes autores verificaram que a perturbação do solo (sistema de monocultivo) reduziu a densidade de esporos, a riqueza de espécies e o comprimento do micélio extrarradicular dos FMAs, em comparação com o solo não perturbado (sistemas agroflorestais). Estes fatores são relacionados à severidade da perturbação sofrida pelo ecossistema, podendo ser reversíveis ou não, conforme o uso que será feito do solo (Picone, 2000). Desse modo, diferentes usos do solo podem exercer grande influência nos microrganismos e seus processos e isso precisa ser mais bem avaliado.

A diversidade microbiana do solo tem sido considerada fator importante na sustentabilidade de ecossistemas. Os microrganismos facilitam o desenvolvimento da estrutura edáfica, contribuem para o controle biológico de patógenos e pragas e controlam a disponibilidade de nutrientes às plantas por meio da mediação dos ciclos biogeoquímicos dos elementos e do melhoramento de limitações químicas ou físicas (Tate & Klein, 1985). Por outro lado, os microrganismos, pela sua diversidade e dinâmica, e por estarem continuamente mudando e se adaptando às alterações ambientais, representam indicadores sensíveis às mudanças no solo, oriundas de modificações em seu uso e manejo (Kennedy & Papendick, 1995) e também no tipo de cobertura vegetal (Prasad et al., 1994).

O efeito do uso do solo sobre a diversidade microbiana tem sido demonstrado sistematicamente para alguns grupos de microrganismos. Em solos de regiões tropicais, a remoção da vegetação nativa para a introdução de florestas plantadas, para o cultivo de subsistência ou para o cultivo comercial, altera a composição de espécies vegetais, os níveis de matéria orgânica e de nutrientes, bem como a estrutura da comunidade microbiana do solo, conforme discutido por Tótola & Chaer (2002). De acordo com estes autores, a comunidade vegetal, geralmente constituída de grande número de espécies em

diferentes estádios de desenvolvimento, quando substituída por uma única espécie, em que todos os indivíduos apresentam o mesmo grau de desenvolvimento, representa alterações potenciais na microbiota do solo. Essas alterações afetam a abundância e a composição de espécies no local e, conseqüentemente, a biodiversidade do solo. O resultado dessa perda de biodiversidade é negativo, uma vez que um solo ecologicamente balanceado depende da ciclagem de nutrientes e do balanço entre matéria orgânica, organismos do solo e diversidade de plantas.

2.2 Fungos micorrízicos arbusculares (FMAs)

Entre os componentes da comunidade microbiana do solo, os fungos micorrízicos arbusculares, classificados na Ordem Glomerales da recém-proposta Divisão Glomeromycota (Schussler et al., 2001), são particularmente importantes para as regiões tropicais, onde predominam solos com baixa fertilidade e alta fixação de fosfatos. Estes fungos encontram-se amplamente distribuídos na maioria dos ecossistemas, desde florestais aos desérticos, em regiões tropicais, temperadas e árticas e representam a mais ampla associação entre plantas e fungos encontrada na natureza (Souza & Silva, 1996).

O caráter mutualista das micorrizas contribuiu para a evolução e a sobrevivência das plantas terrestres e dos próprios fungos, que existem desde há 400 milhões de anos (Smith & Read, 1997). A simbiose MA está conectada às plantas pela rede de hifas dos fungos, que podem ser superiores a 100 metros de hifas por centímetro cúbico de solo (Miller et al., 1995). Essa rede de hifas é especializada na absorção de nutrientes (predominantemente fosfato) e água (Finlay, 2008). Em troca do fornecimento de nutrientes e água às plantas, os fungos obtêm carboidratos destas. Estima-se que cerca de 20% dos produtos da fotossíntese das plantas terrestres (cerca de 5 bilhões de toneladas de carbono por ano) sejam consumidos pelos FMAs (Bago et al., 2000). Portanto, a

simbiose MA contribui significativamente para a ciclagem global de fosfato e carbono e influencia a produtividade em ecossistemas terrestres (Fitter, 2005).

Em condições naturais, a grande maioria das espécies de plantas apresenta-se colonizada pelos FMAs, que desempenham importante função na sobrevivência, no crescimento e na nutrição das plantas, sendo seus efeitos benéficos mais aparentes em condições limitantes de disponibilidade de nutrientes. Para Parniske (2008), embora as bases fundamentais dos mecanismos reguladores ainda não sejam compreendidas, a taxa de colonização das raízes diminui quando os nutrientes estão em abundância. Assim, esses fungos apresentam particular importância para os solos tropicais, caracterizados por baixos teores de nutrientes disponíveis e alta capacidade de fixação de fosfatos (Sieverding, 1991; Siqueira, 1994). Sob tais condições, esses fungos potencializam a absorção de nutrientes, especialmente de fósforo e assim contribuem para a estabilidade e a sustentabilidade dos ecossistemas.

Além das funções ao ecossistema, os FMAs exercem efeitos acentuados e diferenciados sobre as plantas individuais, incluindo as espécies cultivadas. Ao estabelecerem relação mutualista com seus hospedeiros, melhoram a capacidade destes de absorverem nutrientes do solo e os protegem contra fatores adversos, tanto de natureza biótica quanto abiótica.

Apresentando pouca ou nenhuma especificidade hospedeira (Eom et al., 2000; Helgason et al., 2002), os FMAs constituem a regra na natureza, exercendo grande influência nos nichos ecológicos ocupados pelas plantas, influenciando a composição das comunidades vegetais (Francis & Read, 1995) e desempenhando importante papel no equilíbrio dessas comunidades. Dessa forma, tem consequências decisivas para a sobrevivência e o funcionamento das comunidades de plantas e ecossistemas (Rodriguez et al., 2004). Estudos chave sobre as interações das comunidades de plantas têm registrado que os FMAs atuam como determinantes da diversidade e competição de plantas (Heijden et

al., 1998b) e podem melhorar a produtividade da comunidade (Klironomos et al., 2000).

Flores-Aylas et al. (2003) mostraram que a micorrização influencia as relações competitivas entre espécies arbóreas em semeadura direta. Estes autores verificaram que a presença dos FMAs reduziu a dominância da comunidade vegetal em solos com baixa disponibilidade de fósforo. Em estudo realizado por Pouyu-Rojas et al. (2006), foi demonstrado que várias espécies arbóreas nativas apresentaram promiscuidade micotrófica variável de restritiva a generalista, em relação a dez isolados fúngicos. Desse modo, embora os estudos com FMAs tenham a tendência de enfatizar aspectos nutricionais, o papel multifuncional que esses simbiossios desempenham nos ecossistemas terrestres é agora reconhecido como sendo também importante (Rodriguez et al., 2004).

Os FMAs merecem grande atenção devido ao caráter íntimo, obrigatório e evoluído da micorriza. O potencial que eles desempenham na manutenção e na dinâmica dos ecossistemas vegetais (Rillig, 2004) é importante, principalmente nas regiões tropicais, onde as reservas minerais de nutrientes no solo são muito limitadas, necessitando de uma estrutura biológica bem organizada e eficiente. Esses fungos trazem benefícios à comunidade vegetal e ao ambiente, fornecendo nutrientes e água às plantas, assim como a agregação e a estabilidade dos solos (Augé et al., 2001). Os FMAs têm sido estudados visando à sua aplicação para incrementar o desenvolvimento e a produção das culturas, mediante seus efeitos na nutrição das plantas e outros benefícios diretos e indiretos. No entanto, existem alguns obstáculos a isto, dentre os quais a adaptação aos fatores edáficos e a competição com fungos indígenas, que podem comprometer a eficiência simbiótica dos FMAs introduzidos na inoculação (Balakrishna et al., 1996).

A micorriza é formada pela raiz da planta hospedeira, o micélio intraradical (incluindo a interface simbiótica), o micélio extraradical (rede de hifas do solo, arbuscúlos e ocasionalmente vesículas) e os esporos fúngicos

(Merryweather & Fitter, 1998), sendo seu estabelecimento e manutenção influenciados por fatores do solo, da planta hospedeira e do fungo. Dessa forma, a perturbação do solo pode causar impacto na micorrização, dependendo de mudanças das condições do solo, da natureza dos propágulos fúngicos e da alteração qualitativa e quantitativa da vegetação presente (Brundrett et al., 1996).

Vários fatores edáficos interferem na infectividade e na eficiência da micorriza, tais como: pH e nível de fertilidade do solo, principalmente quanto à disponibilidade de P; fatores físicos, como umidade/aeração, luminosidade e temperatura; interações entre FMAs e outros organismos do solo; aplicação de agrotóxicos; manejo do solo e de culturas; fatores inerentes à planta hospedeira, como o grau de micotrofia da planta e a compatibilidade desta com o isolado fúngico (McGonigle & Miller, 1999; Moreira & Siqueira, 2006), além do próprio substrato de crescimento, que pode afetar a taxa de colonização de um novo hospedeiro. Isso pode ocorrer indiretamente, impedindo a chegada do fungo ao hospedeiro, ou diretamente, ao colocar um dreno de energia sobre o fungo, o que pode impedir ou limitar a colonização (Drew et al., 2003). A propagação desses organismos ocorre através de esporos, do micélio e de fragmentos de raízes colonizadas, coletivamente denominadas propágulos que, ao infectarem as raízes da planta hospedeira, podem se desenvolver e dar origem ao estabelecimento da associação micorrízica (Smith & Read, 1997).

Nas MAs, os componentes bióticos e abióticos do ecossistema interagem, estabelecendo um equilíbrio dinâmico. A estabilidade de ecossistemas naturais quanto à presença constante de hospedeiros e à ausência de variações bruscas na fertilidade do solo exerce grande influência na estrutura das comunidades dos FMAs, como relatado em estudo pioneiro no cerrado por Siqueira et al. (1989). No entanto, a conversão de ecossistemas naturais em áreas agrícolas tem sido considerada como uma das principais causas da perda de

biodiversidade em todo o mundo (Richter et al., 2002). Em áreas cultivadas, a população, a composição de espécies e a diversidade de FMAs frequentemente diminuem quando comparadas a ecossistemas naturais (Boddington & Dodd, 2000; Heijden et al., 1998b).

Em trabalho realizado por Helgason et al. (1998), maior diversidade de comunidades de FMAs foi encontrada em ecossistemas naturais, quando comparados com solos agrícolas. A diferença em diversidade observada entre estes dois ecossistemas (natural e agrícola) foi atribuída à complexa pressão seletiva das práticas agrícolas, tais como aração, fertilização e aplicação de fungicidas, sobre as comunidades de FMAs. Foi sugerido que áreas sob condições naturais (sem cultivo) estimulam a atividade micorrízica no solo e, do mesmo modo, a absorção de nutrientes pelas plantas (Dodd, 2000; Mozafar et al., 2000). As mudanças nas condições do solo podem modificar a dominância de um determinado fungo durante a formação da micorriza no campo. A perturbação dos solos de forma intencional (por exemplo, o cultivo) ou não (por exemplo, a erosão) é uma das maiores fontes de alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Abbott & Gazey, 1994). Tem sido demonstrado que, mesmo áreas com grande interferência antrópica, como aquelas submetidas à mineração, se recuperam rapidamente do impacto sofrido.

De acordo com Carrenho et al. (2002), dependendo das práticas de cultivo utilizadas para o crescimento das plantas, o tipo de substrato, a planta hospedeira e as condições ambientais, a habilidade competitiva dos FMAs presentes na população original pode sofrer mudanças, resultando em uma comunidade quantitativa e qualitativamente diferente. Conforme relatam estes autores, o estabelecimento de associações preferenciais entre plantas e FMAs pode ser mediado pelas interações entre planta, ambiente e fungo, e não pela planta apenas.

2.3 Diversidade funcional de fungos micorrízicos arbusculares

A importância ecológica e os benefícios fisiológicos dos FMAs para as plantas e comunidades vegetais são bastante conhecidos (Smith & Read, 1997). Os FMAs podem formar micorrizas com cerca de 85% das espécies vegetais da maioria das famílias de plantas (Brundrett, 2002). A aparente baixa diversidade global dos FMAs, comparada com as comunidades de plantas a que estes estão associados, sugere que os FMAs são um grupo homogêneo e as espécies realizam as mesmas funções (Husband et al., 2002). O genótipo micorrízico também interfere no crescimento das plantas, conforme verificado por Pouyu-Rojas et al. (2006) e Santos et al. (2008), no crescimento individual de espécies arbóreas nativas e também em crescimento conjunto de espécies de pequeno porte sob clima temperado (Heijden et al., 1998a, 2003).

Pouyu-Rojas et al. (2006) sugeriram a existência de seletividade e compatibilidade simbiótica diferenciada, havendo combinações preferenciais na formação das MAs e resposta variável dependente do genótipo micorrízico envolvido na relação fungo-planta. Alguns estudos têm mostrado que uma dada espécie de FMA originada do mesmo solo coloniza diferentes espécies de plantas e seus padrões de esporulação são distintamente diferentes (Bever et al., 1996; Eom et al., 2000). Em alguns casos, a espécie que melhor promove o crescimento do hospedeiro pode retardar o crescimento em outro (Heijden et al., 1998a) e esta relação benéfica ou parasitária vai depender da combinação fungo-planta e das condições ambientais (Smith & Smith, 1996; Johnson et al., 1997). Igualmente, espécies individuais de FMAs podem variar bastante na sua resposta ao crescimento de diferentes espécies de plantas (Sanders & Fitter, 1992; Bever et al., 1996; Eom et al., 2000) e estas variações podem ocorrer tanto entre isolados de FMAs pertencendo a diferentes espécies bem como entre isolados da mesma espécie (Heijden et al., 1998a; Klironomos, 2003; Munkvold et al., 2004; Smith et al., 2004). Consequentemente, a presença ou a ausência de espécies

particulares de FMAs, mudanças na estrutura da população (Heijden et al., 1998a; Klironomos et al., 2000), como, por exemplo, o aumento na diversidade destes fungos no solo (Heijden et al., 1998b; Rillig, 2004), bem como a sua diversidade global, podem influenciar a diversidade, a estrutura e a produtividade da comunidade de plantas (Heijden et al., 2004), tanto em estudos experimentais de casa de vegetação (Heijden et al., 1998b; Klironomos et al., 2000) como também em ecossistemas naturais (Newsham et al., 1995).

A inoculação com diferentes espécies de FMAs altera diferencialmente o crescimento e a coexistência de diferentes espécies de plantas (Heijden et al., 1998a, 2003) e, aumentando a riqueza de espécies desses fungos, há um incremento na diversidade e na produtividade das plantas (Heijden et al., 1998b). Em estudo realizado por Santos (2008), verificou-se influência da riqueza de espécies de FMAs na comunidade do solo no crescimento inicial de espécies arbóreas nativas. Esse autor mostrou que os benefícios do aumento da riqueza de FMAs são maiores quando as plantas crescem em comunidades complexas e onde há maior competição. Contudo, esses estudos utilizam um único indivíduo como representante de cada espécie de FMA, em que cada cultura iniciou-se de um único esporo, não podendo indicar, portanto, se variações intraespecíficas poderiam responder por algumas das diferenças observadas entre isolados de uma mesma espécie (Koch et al., 2006).

No estudo realizado por Hart & Klironomos (2002) e citado por Koch et al. (2006), a variação no crescimento de plantas foi maior entre as inoculadas com diferentes espécies de FMAs do que entre aquelas inoculadas com diferentes isolados da mesma espécie. Contudo, para estes autores, isso não significa que a variação dentro de isolados não é ecologicamente importante. Mais recentemente, tem sido encontrada considerável variação dentro das espécies de FMAs. Nos estudos realizados por Munkvold et al. (2004), grandes diferenças no crescimento e na absorção de P pelas plantas foram encontradas

dentro de espécies de FMAs, mostrando, então, a importância do potencial ecológico da variação dentro de espécies de FMAs. Também Hart & Reader (2002), testando o efeito de 21 isolados de FMAs sobre o crescimento de plantas, verificaram que famílias de FMAs também diferem nos benefícios conferidos às plantas hospedeiras, embora exista grande variação dentro e entre espécies e gêneros de FMAs. Esses estudos mostram que existe considerável diversidade funcional nos FMAs e que variações dentro de uma espécie de FMA pode ser maior que entre diferentes espécies ou gêneros de FMAs. Esta diversidade funcional é importante para o crescimento de plantas individuais e para a composição de comunidades de plantas.

Desse modo, está claro que existe alta diversidade funcional nos FMAs e que o aumento na diversidade destes fungos no solo (Heijden et al., 1998b; Rillig, 2004) pode influenciar a diversidade e a produtividade da comunidade vegetal. Um importante assunto a ser tratado é a questão da utilização desta diversidade pelas plantas e sua capacidade de selecionar FMAs ou combinações de FMAs que sejam mais benéficos em termos funcionais (Heijden et al., 2004), pois ainda não está claro se as plantas são capazes de selecionar FMAs eficientes em termos de estimulação no seu crescimento. Dessa forma, é importante saber como o incremento da diversidade de FMAs no solo influencia as plantas e quais combinações planta-fungo ocorrem preferencialmente e são eficientes. Outro ponto importante a ser estudado é a inoculação de plantas com misturas de vários FMAs, reconstruindo a comunidade de FMAs que é encontrada no campo e, subsequentemente, monitorar o desempenho da planta. Estudos como estes podem revelar se a diversidade de espécies nas raízes da planta está interligada com a diversidade funcional.

Quase todos os dados sobre a variabilidade das funções ou a diversidade funcional dos FMAs foram obtidos de experimentos nos quais as plantas têm sido inoculadas com um único isolado de FMA e o crescimento da planta ou a

absorção total de P têm sido medidos. Tais experimentos não são totalmente relevantes para situações de campo, quando mais de uma espécie de FMA está geralmente presente em um único sistema radicular (Merryweather & Fitter, 1998; Jansa et al., 2003). Então, atualmente, o desafio é estabelecer comunidades misturadas utilizando diferentes espécies de FMAs para verificar se as plantas são capazes de selecionar FMAs eficientes ou combinações de FMAs que sejam complementares em suas funções (Koide, 2000). No entanto, estudos dessa natureza são difíceis, devido à dificuldade para identificar os FMAs que estão colonizando as raízes, o que se torna um fator limitante para o entendimento do controle dessas relações.

As consequências da colonização simultânea de uma planta por FMAs funcionalmente diferentes têm sido pouco exploradas, até muito recentemente (Lekberg et al., 2007; Maherali & Klironomos, 2007). Em alguns estudos (Koide, 2000; Alkan et al., 2006; Gustafson & Casper, 2006) foi sugerido que se uma planta é colonizada por espécies de FMAs que são complementares em suas funções, como, por exemplo, na absorção de nutrientes de diferentes “pools” do solo, elas podem revelar-se mais benéficas para a planta como uma mistura do que qualquer uma das espécies separadamente. Em trabalho realizado por Johnson et al. (2004), demonstrou-se que a diversidade das comunidades de FMAs nas raízes de *Plantago lanceolata* correlacionou-se positivamente com as concentrações de P e N na parte aérea das plantas. No entanto, outros estudos, como os realizados por Daft & Hogarth (1983) e Edathil et al. (1996), indicam que os benefícios máximos para as plantas poderiam ser alcançados com uma única, mas eficiente espécie de FMA e que, se for aumentada a diversidade micorrízica, não haveria maiores benefícios para as plantas. Segundo Santos (2008), o aumento da diversidade de FMAs na comunidade presente no solo pode aumentar as chances de estabelecimento de uma espécie de fungo mais eficiente para o crescimento das plantas.

Dessa forma, torna-se importante conhecer a estrutura da comunidade de FMAs de determinado ambiente ou bioma e avaliar a diversidade funcional desses simbiontes, visando estabelecer se há relação entre a diversidade de FMAs e os benefícios às plantas. Apesar de a região Amazônica possuir a maior área de florestal tropical amazônica, pouco se conhece sobre a diversidade dos FMAs dessa região e seus efeitos no crescimento de plantas. Em levantamento da ocorrência dos FMAs nos diferentes ecossistemas brasileiros, encontraram-se índices de similaridade baixos na Floresta Amazônica, variando de 0,16 a 0,37, quando contrastados com os demais ecossistemas. Esses resultados revelam que a composição desses fungos na Floresta Amazônica mostrou-se bastante diferente das detectadas em outros ecossistemas (Stürmer & Siqueira, 2008). Recentemente, avaliou-se a ocorrência de espécies em solos sob diferentes usos no Alto Solimões (Leal et al., 2009), estudo que revelou abundante comunidade de FMAs. Entretanto, estudos que abordem a diversidade funcional de isolados de FMAs provenientes de solos sob diferentes usos na Amazônia são ainda amplamente desconhecidos.

Nesta região, o cultivo do caupi predomina como agricultura de subsistência, caracterizada por baixo uso de tecnologia e por solos marginais deficientes em nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo. Esses fatores contribuem para a baixa produtividade de grãos, com média nacional em torno de 500 kg ha⁻¹ (Freire Filho et al., 2005). A literatura que trata dos efeitos da associação de FMAs com plantas de caupi é bastante restrita, mas, alguns estudos já realizados têm mostrado certo grau de dependência micorrízica desta planta, bem como os efeitos positivos que esta simbiose pode proporcionar às plantas de caupi. Raposo (1989), estudando o efeito da inoculação de FMAs em duas cultivares de caupi, concluiu que houve relativa especificidade para as culturas estudadas em relação ao fungo micorrízico, sendo *A. morrowae* e *G. etunicatum* as mais indicadas para as cultivares avaliadas. Islan & Ayanaba

(1981) obtiveram aumento na percentagem de raízes infectadas e peso da parte aérea em plantas de caupi inoculadas com *Glomus mosseae*. Em solos com baixo nível de P e elevada acidez, Howeler et al. (1987) demonstraram que o caupi é extremamente dependente de fungo micorrízico. Oliveira & Bonetti (1983) constataram relativa especificidade entre o caupi e a espécie de fungo utilizada, tendo o gênero *Acaulospora* sido o que mais beneficiou o peso e o número de nódulos. Silva et al. (2009), avaliando a eficiência de comunidades de FMAs oriundas de solos sob diferentes usos na Amazônia, revelaram que a proporção de comunidades eficientes variou com sua origem de isolamento. Neste caso, é essencial que isolados desses solos sob diferentes usos sejam obtidos, multiplicados e avaliados, individualmente e em mistura, visando conhecer a diversidade funcional de FMAs da Amazônia, que é de grande interesse, tendo em vista o potencial desses fungos como alternativa para a produção agrícola em áreas desmatadas da região.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOTT, L. K.; GAZEY, C. An ecological view of the formation of VA mycorrhizas. **Plant and Soil**, The Hague, v.159, n.1, p.69-78, Feb. 1994.
- ALFAIA, S. S.; KATELL, U.; RODRIGUES, M. R. L. Manejo da fertilidade dos solos da Amazônia. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (Ed.). **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: UFLA, 2008. p.117-141.
- ALKAN, N.; GADKAR, V.; YARDEN, O.; KAPULNIK, Y. Analysis of quantitative interactions between two species of arbuscular mycorrhizal fungi, *Glomus mosseae* and *G. intraradices*, by real-time PCR. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v.72, n.6, p.4192-4199, June 2006.
- AUGÉ, R. M., STODOLA, A. J. W.; TIMS, J. E.; SAXTON, A. M. Moisture retention properties of a mycorrhizal soil. **Plant and Soil**, The Hague, v.230, n.1, p.87-97, Mar. 2001.
- BAGO, B.; PFEFFER, P. E.; SHACHAR-HILL, Y. Carbon metabolism and transport in arbuscular mycorrhizas. **Plant Physiology**, Washington, v.124, n.3, p.949-958, Nov. 2000.
- BALAKRISHNA, R.; BAGYARAG, D. J.; MALLESHA, B. C.; REDDY, B. Selection of efficient VA mycorrhizal fungi for papaya. **Biology, Agriculture & Horticulture**, Oxon, v.13, p.1-6, 1996.
- BEVER, J. D.; MORTON, J. B.; ANTONOVICS, J.; SCHULTZ, P. A. Host-dependent sporulation and species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a mown grassland. **The Journal of Ecology**, Oxford, v.84, n.1, p.71-82, Feb. 1996.
- BODDINGTON, C. L.; DODD, J. C. The effect of agricultural practices on the development of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi: I: field studies in a Indonesian ultisol. **Plant and Soil**, The Hague, v.218, n.1-2, p.137-144, Jan. 2000.
- BRUNDRETT, M. C. Mycorrhizas in natural ecosystems. **Advances in Ecological Research**, London, v.21, p.171-213, 1991.

BRUNDRETT, M. C. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. **New Phytologist**, Cambridge, v.154, n.2, p.275-304, May 2002.

BRUNDRETT, M.; BOUGHER, N.; DELL, B.; GROVE, T.; MALAJCZUK, N. **Working with mycorrhizas in forestry and agriculture**. Canberra: ACIAR, 1996. 374p.

CARRENHO, R.; TRUFEM, S. F. B.; BONONI, V. I. R. Effects of using different host plants on the detected biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi from an agroecosystem. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.25, n.1, p.93-101, mar. 2002.

COCHRANE, T.; SANCHEZ, P. Land resource, soil and their management in the Amazon region: a state of knowledge report. In: HECHT, S. (Ed.). **Amazon: agriculture and land use**. Cali: Ciat, 1982. p.137-209.

DAFT, M. J.; HOGARTH, B. G. Competitive interactions amongst four species of glomus on maize and onion. **Transactions/British Mycological Society**, Cambridge, v.80, n.2, p.339-345, Apr. 1983.

DODD, J. C. The role of arbuscular mycorrhizal fungi in agro and natural ecosystems. **Outlook on Agriculture**, London, v.29, n.1, p.55-62, Mar. 2000.

DREW, E. A.; MURRAY, R. S.; SMITH, S. E.; JAKOBSEN, I. Beyond the rhizosphere: the growth and function of arbuscular mycorrhizal external hyphae in sands of varying pore sizes. **Plant and Soil**, The Hague, v.251, n.1, p.105-114, Apr. 2003.

EDATHIL, T. T.; MANIAN, S.; UDAIYAN, K. Interaction of multiple VAM fungal species on root colonization, plant growth and nutrient status of tomato seedlings (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.59, n.1-2, p.63-68, Aug. 1996.

EOM, A. H.; HARTNETT, D. C.; WILSON, G. W. T. Host plant species effects on arbuscular mycorrhizal fungal communities in tallgrass prairie. **Oecologia**, Berlin, v.122, n.3, p.435-444, Feb. 2000.

FINLAY, R. D. Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis: with special emphasis on the functional diversity of interactions involving the extraradical mycelium. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.59, n.5, p.1115-1126, 2008.

FITTER, A. H. Darkness visible: reflections on underground ecology. **The Journal of Ecology**, Oxford, v.93, n.2, p.231-243, Apr. 2005.

FLORES-AYLAS, W. W.; SAGGIN-JÚNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O.; DAVID, A. C. Efeito de *Glomus etunicatum* e fósforo no crescimento inicial de espécies arbóreas em semeadura direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.2, p.257-266, fev. 2003.

FRANCIS, R.; READ, D. J. Mutualism and antagonism in the mycorrhizal symbiosis, with special reference to impacts on plant community structure. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.73, p.1301-1309, 1995. Supplement.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, P. D.; SANTOS, A. P. Melhoramento genético. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 519p.

GOLLOTTE, A.; TUINEN, D. van; ATKINSON, D. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi colonising roots of the grass species *Agrostis capillaris* and *Lolium perenne* in a field experiment. **Mycorrhiza**, Berlin, v.14, n.2, p.111-117, Apr. 2004.

GUSTAFSON, D. J.; CASPER, B. B. Differential host plant performance as a function of soil arbuscular mycorrhizal fungal communities: experimentally manipulating co-occurring *Glomus* species. **Plant Ecology**, Dordrecht, v.183, n.2, p.257-263, Apr. 2006.

HABTE, M.; FOX, R. L.; AZIZ, T.; EL-SAWAIFY, S. A. Interaction of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi with erosion in an oxisol. **Applied of Environmental Microbiology**, Washington, v.54, n.4, p.945-950, Apr. 1988.

HART, M. M.; READER R. J. Host plant benefit from association with arbuscular mycorrhizal fungi: variation due to differences in size of mycelium. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.36, n.5, p.357-366, Nov. 2002.

HEIJDEN, M. G. A. van der; BOLLER, T.; WIEMKEN, A.; SANDERS, I. R. Different arbuscular mycorrhizal fungal species are potential determinants of plant community structure. **Ecology**, Tempe, v.79, n.6, p.2082-2091, 1998a.

HEIJDEN, M. G. A. van der; KLIRONOMOS, J. N.; URSIC, M.; MOUTOGLIS, P.; STREITWOLF-ENGEL, R.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A.; SANDERS, I. R. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. **Nature**, London, v.396, p.69-72, Nov. 1998b.

HEIJDEN, M. G. A. van der; SCHEUBLIN, T. R.; BRADER, A. Taxonomic and functional diversity in arbuscular mycorrhizal fungi – is there any relationship? **New Phytologist**, Cambridge, v.164, n.2, p.201-204, Nov. 2004.

HEIJDEN, M. G. A. van der; WIEMKEN, A.; SANDERS, I. R. Different arbuscular mycorrhizal fungi alter coexistence and resource distribution between co-occurring plants. **New Phytologist**, Cambridge, v.157, n.3, p.569-578, Mar. 2003.

HELGASON, T.; DANIELL, T.; HUSBAND, R.; FITTER A. H.; YOUNG, J. Ploughing up the wood-wide web? **Nature**, London, v.394, p.431, July 1998.

HELGASON, T.; MERRYWEATHER, J. W.; DENISON, J.; WILSON, P.; YOUNG, J. P. W.; FITTER, A. H. Selectivity and functional diversity in arbuscular mycorrhizas of co-occurring fungi and plants from a temperate deciduous woodland. **The Journal of Ecology**, Oxford, v.90, n.2, p.371–384, Apr. 2002.

HOWELER, R. H.; SIEVERDING, E.; SAIF, S. Practical aspects of mycorrhizal technology in some tropical crops and pastures. **Plant and Soil**, The Hague, v.100, n.1-3, p.249-283, Feb. 1987.

HUSBAND, R.; HERRE, E. A.; TURNER, S. L.; GALLERYYS, R.; YOUNG, P. W. Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and patterns of host association over time and space in tropical forest. **Molecular Ecology**, Oxford, v.11, n.12, p.2669-2678, Dec. 2002.

ISLAN, R.; AYANABA, A. Effects of seed inoculation and pre-infecting cowpea (*Vigna unguiculata*) with *Glomus mosseae* on growth and seed yield of the plants under field conditions. **Plant and Soil**, The Hague, v.61, n.3, p.341-350, Oct. 1981.

JANSA, J.; MOZAFAR, A.; KUHN, G.; ANKEN, T.; RUH, R.; SANDERS, I. R.; FROSSARD, E. Soil tillage affects the community structure of mycorrhizal fungi in maize roots. **Ecological Applications**, Tempe, v.13, n.4, p.1164–1176, Aug. 2003.

JESUS, E. C.; MOREIRA, F. M. S.; FLORENTINO, L. A.; RODRIGUES, M. I. D.; OLIVEIRA, M. S. Diversidade de bactérias que nodulam siratro em três sistemas de uso da terra da Amazônia Ocidental. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.8, p.769-776, ago. 2005.

JOHNSON, D.; VANDENKOORNHUYSE, P. J.; LEAKE, J. R.; GILBERT, L.; BOOTH, R. E.; GRIME, J. P.; YOUNG, J. P. W.; READ, D. J. Plant communities affect arbuscular mycorrhizal fungal diversity and community composition in grassland microcosms. **New Phytologist**, Cambridge, v.161, n.2, p.503-515, Feb. 2004.

JOHNSON, N. C.; GRAHAM, J. H.; SMITH, F. A. Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism-parasitism continuum. **New Phytologist**, Cambridge, v.135, n.4, p.575-585, Apr. 1997.

KENNEDY, A. C.; PAPENDICK, R. I. Microbial characteristics of soil quality. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.50, n.3, p.243-248, May/June 1995.

KLIRONOMOS, J. N. Variation in plant response to native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi. **Ecology**, Tempe, v.84, n.9, p.2292-2301, Sept. 2003.

KLIRONOMOS, J. N.; MCCUNE, J.; HART, M.; NEVILLE, J. The influence of arbuscular mycorrhizae on the relationship between plant diversity and productivity. **Ecology letters**, Oxford, v.3, n.2, p.137-141, Mar. 2000.

KOCH, A. M.; CROLL, D.; SANDERS, I. R. Genetic variability in a population of arbuscular mycorrhizal fungi causes variation in plant growth. **Ecology Letters**, Oxford, v.9, n.2, p.103-110, Feb. 2006.

KOIDE, R.T. Functional complementarity in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. **New Phytologist**, Cambridge, v.147, n.2, p.233-235, Aug. 2000.

LEAL, P. L.; STÜRMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O. Occurrence and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in trap cultures from soils under different land use systems in the Amazon, Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v.40, n.1, p.111-121, Jan./Mar. 2009.

- LEKBERG, Y.; KOIDE, R. T.; ROHR, J. R.; ALDRICH-WOLFE, L.; MORTON, J. B. Role of niche restrictions and dispersal in the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. **The Journal of Ecology**, Oxford, v.95, n.1, p.95-105, Jan. 2007.
- LIMA, A. S.; NÓBREGA, R. S. A.; BARBERI, A.; SILVA, K.; FERREIRA, D. F.; MOREIRA, F. M. S. Nitrogen-fixing bacteria communities occurring in soils under different uses in the Western Amazon Region as indicated by nodulation of siratro (*Macroptilium atropurpureum*). **Plant and Soil**, The Hague, v.319, n.1-2, p.127-145, June 2009.
- LOVELOCK, C. E.; ANDERSEN, K.; MORTON, J. B. Arbuscular mycorrhizal communities in tropical forests are affected by host tree species and environment. **Oecologia**, Berlin, v.135, n.2, p.268-279, Apr. 2003.
- MAHERALI, H.; KLIRONOMOS, J. N. Influence of phylogeny on fungal community assembly and ecosystem functioning. **Science**, Washington, v.316, n.5832, p.1746-1748, June 2007.
- MCGONIGLE, T. P.; MILLER, M. H. Winter survival of extraradical hyphae and spores of arbuscular mycorrhizal fungi in the field. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.12, n.1, p.41-50, Apr. 1999.
- MERRYWEATHER, J. W.; FITTER, A. The arbuscular mycorrhizal fungi of *hyacinthoides non-scripta*: II: seasonal and spatial patterns of fungal populations. **New Phytologist**, Cambridge, v.138, n.1, p.131-142, Jan. 1998.
- MILLER, R. M.; REINHARDT, D. R.; JASTROW, J. D. External hyphal production of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in pasture and tallgrass prairie communities. **Oecologia**, Berlin, v.103, n.1, p.17-23, July 1995.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. atual. e ampl. Lavras: UFLA, 2006. 729p.
- MOZAFAR, A.; ANKEN, T.; RUH, R.; FROSSARD, E. Tillage intensity, mycorrhizal and nonmycorrhizal fungi, and nutrient concentrations in maize, wheat, and canola. **Agronomy Journal**, Madison, v.92, n.6, p.1117-1124, 2000.
- MUNKVOLD, L.; KJOLLER, R.; VESTBERG, M.; ROSENDAHL, S.; JAKOBSEN, I. High functional diversity within species of arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, Cambridge, v.164, n.2, p.357-364, Nov. 2004.

NEWSHAM, K. K.; FITTER, A. H.; WATKINSON, A. R. Multi-functionality and biodiversity in arbuscular mycorrhizas. **Trends in Ecology and Evolution**, Amsterdam, v.10, n.10, p.407-411, Oct. 1995.

NÓBREGA, R. S. A. **Efeito de sistemas de uso da terra na Amazônia sobre atributos do solo, ocorrência, eficiência e diversidade de bactérias que nodulam caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp]**. 2006. 188 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

O'CONNOR, P. J.; SMITH, S. E.; SMITH, E. A. Arbuscular mycorrhizas influence plant diversity and community structure in a semiarid herbland. **New Phytologist**, Cambridge, v.154, n.1, p.209-218, Apr. 2002.

OEHL, F.; SIEVERDING, E.; INEICHEN, K.; MÄDER, P.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A. Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of Central Europe. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v.69, n.5, p.2816-2824, May 2003.

OLIVEIRA, L. A.; BONETTI, R. Fatores químicos limitantes do solo e da nodulação, infecção por micorrizas VA e rendimento do feijão caupi num solo da região de Manaus. In: ENCONTRO DE PESQUISADORES DA AMAZÔNIA, 4., 1983, Porto Velho. **Anais...** Porto Velho: [s.n.], 1983. p.16.

PARNISKE, M. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. **Nature**, London, v.6, n.10, p.763-775, Oct. 2008.

PICONE, C. Diversity and abundance of arbuscular-mycorrhizal fungus spores in tropical forest and pasture. **Biotropica**, Washington, v.32, n.4, p.734-750, Dec. 2000.

POUYU-ROJAS, E.; SIQUEIRA, J. O.; SANTOS, J. G. D. Compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com mudas de espécies arbóreas tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.30, n.3, p.413-424, maio/jun. 2006.

PRASAD, P.; BASU, S.; BEHERA, N. A comparative account of the microbiological characteristics of soils under natural forest, grassland and crop field from Eastern India. **Plant and Soil**, The Hague, v.175, n.1, p.85-91, Aug. 1994.

RAPOSO, R. W. C. **Inoculação de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares e *Bradyrhizobium* spp. em caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]**. 1989. 84 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

RICHTER, B. S.; TILLER, R. L.; STUTZ, J. C. Assessment of arbuscular mycorrhizal fungal propagules and colonization from abandoned agricultural fields and semi-arid grasslands in riparian floodplains. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.20, n.3, p.227-238, June 2002.

RILLIG, M. C. Arbuscular mycorrhizae and terrestrial ecosystem processes. **Ecology letters**, Oxford, v.7, n.8, p.740-754, Aug. 2004.

RODRIGUEZ, A.; CLAPP, J. P.; DODD, J. C. Ribosomal RNA gene sequence diversity in arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota). **The Journal of Ecology**, Oxford, v.92, n.6, p.986-989, Dec. 2004.

SANDERS, I. R.; FITTER, A. H. Evidence for differential responses between host fungus combinations of vesicular arbuscular mycorrhizas from a grassland. **Mycological Research**, Cambridge, v.96, n.6, p.415-419, June 1992.

SANTOS, J. G. D. **Riqueza de fungos micorrízicos arbusculares no solo e o crescimento inicial de espécies arbóreas nativas**. 2008. 80 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SANTOS, J. G. D.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Eficiência de fungos micorrízicos arbusculares isolados de solos de áreas de mineração de bauxita no crescimento inicial de espécies nativas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.32, n.1, p.141-150, jan./fev. 2008.

SCHUSSLER, A.; SCHWARZOTT, D.; WALKER, C. A new fungal phylum, the *Glomeromycota*: phylogeny and evolution. **Mycological Research**, Cambridge, v.105, n.12, p.1413-1421, Dec. 2001.

SIEVERDING, E. **Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems**. Eschborn: Friedland Bremer, 1991. 371p.

SILVA, G. A.; SIQUEIRA, J. O.; STÜRMER, S. L. Eficiência de fungos micorrízicos arbusculares isolados de solos sob diferentes sistemas de uso na região do Alto Solimões na Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, 2009. No prelo.

SIQUEIRA, J. O. Micorrizas arbusculares. In: ARAÚJO, R. S.; HUNGRIA, M. (Ed.). **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1994. p.151-194.

SIQUEIRA, J. O.; COLOZZI-FILHO, A.; OLIVEIRA, E. Ocorrência de micorrizas vesicular-arbusculares em agro e ecossistemas do estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.24, n.12, p.1489-1498, dez. 1989.

SMITH, F. A.; SMITH, S. E. Mutualism and parasitism: diversity in function and structure in the 'arbuscular' (VA) mycorrhizal symbiosis. **Advances in Botanical Research**, London, v.22, p.1-43, 1996.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. 2. ed. San Diego: Academic, 1997. 605p.

SMITH, S. E.; SMITH, F. A.; JAKOBSEN, I. Functional diversity in arbuscular mycorrhizal (AM) symbioses: the contribution of the mycorrhizal P uptake pathway is not correlated with mycorrhizal responses in growth or total P uptake. **New Phytologist**, Cambridge, v.162, n.2, p.511-524, May 2004.

SOUZA, F. A.; SILVA, E. M. R. Micorrizas arbusculares na revegetação de áreas degradadas. In: SIQUEIRA, J. O. (Ed.). **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas**. Lavras: UFLA/DCS/DCF, 1996. p.255-290.

STÜRMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em ecossistemas brasileiros. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (Ed.). **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: UFLA, 2008. p.537-583.

SWIFT, M. J.; ANDERSON, J. M. Biodiversity and ecosystem function in agricultural systems. In: SCHULZE, E. D.; MOONEY, H. A. (Ed.). **Biodiversity and ecosystem function**. Heidelberg: Springer-Verlag, 1994. p.15-41.

TATE, R. L.; KLEIN, D. A. **Soil reclamation processes: microbiological analyses and applications**. New York: M. Decker, 1985. 349p.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S. S.; ALVAREZ, V., V. H. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p.195-276.

CAPÍTULO 2

DIVERSIDADE FUNCIONAL DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES ORIUNDOS DE SOLOS DA AMAZÔNIA OCIDENTAL

1 RESUMO

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são componentes importantes dos ecossistemas terrestres, onde desempenham papel fundamental para a sustentabilidade do sistema solo-planta devido à sua simbiose multifuncional com a maioria das plantas terrestres. Estes fungos sofrem influência de diversos fatores antrópicos, como o uso da terra, que modificam a estrutura e diversidade das comunidades, podendo comprometer suas funções ecológicas. No presente estudo, isolados obtidos de solos em diferentes usos na região do Alto Solimões-Amazônia, foram avaliados com relação a características funcionais como: colonização, efeitos na absorção de P, crescimento e produção do feijão caupi em condições controladas. Estes isolados foram comparados a isolados referenciais, mantidos em culturas puras e misturas de vários FMAs. O estudo foi realizado em casa de vegetação na Universidade Federal de Lavras - UFLA, Minas Gerais - Brasil, em duas etapas sequenciais, cada etapa com dois ensaios (dois tipos de solo). Foram utilizados 23 tratamentos que constaram de treze isolados de FMAs da Amazônia; três fungos de comportamento conhecido provenientes da coleção de FMAs da UFLA; seis inóculos mistos compostos de acordo com as espécies encontradas nos solos sob diferentes usos na Amazônia; e uma testemunha não inoculada (NI) com FMAs. Todos os inóculos mistos foram suplementados com as culturas puras de *Glomus etunicatum*, *Glomus clarum* e *Gigaspora margarita*. Os fungos isolados de solos sob diferentes usos na Amazônia apresentaram ampla diversidade funcional em relação à colonização, efeitos na absorção de P, crescimento e produção do feijão caupi, sendo encontradas diferenças intra-específicas entre alguns isolados. No solo da Amazônia verificou-se efeito generalizado dos isolados na absorção de P e no crescimento do feijão caupi, com incrementos de até 149% e 622% em relação ao controle NI, respectivamente. Entre os fungos testados, os isolados do gênero *Glomus* se mostraram mais promissores para promover o crescimento do caupi nos diferentes solos, sendo o *Gomus* "yellow" de capoeira nova, *Gomus* "yellow" de agrofloresta e *Glomus* "thin green" de pastagem os mais promissores para programas de inoculação na Amazônia.

Palavras-chave: Simbiose fungo-raiz, fungos do solo, biodiversidade funcional, cultivos amazônicos, recursos naturais

2 ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are important components of terrestrial ecosystems where they play a fundamental role to the sustainability of plant-soil systems due to their multifunctional symbiosis with most of land plants. These fungi are influenced by a number of anthropic factors, such as land use, which modifies the structure and diversity of fungal communities, and may hamper their ecological functions. In the present study, isolates obtained from soils under different uses in the Alto Solimões region in the Amazon were evaluated for functional characteristics like colonization, effects in the uptake of P, growth and yield of cowpea under controlled conditions. These isolates were compared to reference isolates, maintained in pure cultures and mixtures of several AMF. The study was conducted in pots under greenhouse conditions at the Federal University of Lavras - UFLA, Minas Gerais, Brazil, in two sequential stages, being each stage with two trials (two soil types). We used twenty-three treatments that consisted of thirteen isolates of AMF from Amazonian soils; three fungi of known behavior from the UFLA collection, six mixed inoculants composed according to the species found in soils under different uses in the Amazon, and a treatment without inoculation (NI). All mixed inoculants were supplemented with pure cultures of *Glomus etunicatum*, *Glomus clarum* and *Gigaspora margarita*. The fungi isolated from soils under different uses in the Amazon had wide functional diversity in relation to colonization, effects in the uptake of P, growth and yield of cowpea. Intraspecific differences were also found among isolates. In the Amazon soil was found generalized effect of the isolates in the uptake of P and growth of cowpea, with increments of up to 149% and 622% compared to the control NI, respectively. Among the fungi tested, the isolates belonging to the genus *Glomus* were the most promising to promote cowpea growth in the two soils, being the *Gomus "yellow"* of young secondary forest, *Gomus "yellow"* of agroforestry and *Glomus "thin green"* pasture the most promising ones for programs of inoculation in the Amazon.

Key Words: Fungus-root symbiosis, soil fungi, functional biodiversity, amazonian cultivation, natural resources

3 INTRODUÇÃO

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são componentes importantes dos ecossistemas terrestres, nos quais desempenham papel fundamental para a sustentabilidade do sistema solo-planta, devido à sua associação simbiótica com a maioria das plantas terrestres, para formar as micorrizas arbusculares (MAs) e suas multifunções. Esses fungos sofrem influência de diversos fatores antrópicos, como o uso da terra, que modificam a estrutura e a diversidade das comunidades, podendo comprometer suas funções ecológicas. Também estão envolvidos na absorção de nutrientes pelas plantas, no crescimento e na tolerância a estresses ambientais (Smith & Read, 1997), têm potencial para aumentar a absorção de fósforo (P) e podem ser mais importantes que as próprias raízes como órgãos de absorção de nutrientes pouco móveis no solo, como o P (Smith et al., 2003).

Uma recente compilação de resultados de 290 ensaios de campo e em casa de vegetação, publicados entre 1988 e 2003, por Lekberg & Koide (2005) mostrou que significativo aumento na colonização micorrízica resultou em aumento médio de 23% de rendimento em campo. Isso pode ser de particular importância para a região Amazônica, onde solos de áreas desmatadas perdem a fertilidade com rapidez e a única maneira de manter a produção para sustentar os habitantes da região é avançar no desmatamento. Assim, encontrar alternativas para garantir o aporte de nutrientes para as plantas é uma necessidade para conter a destruição da floresta e, dentre as várias possibilidades, tem-se o emprego de organismos biofertilizadores, como as bactérias diazotróficas e os FMAs. A obtenção de FMAs eficientes pode ser aplicada para incrementar o rendimento das culturas e, assim, contribuir para a produção de alimentos na região.

Os FMAs apresentam diferentes graus de compatibilidade simbiótica,

tanto em termos de capacidade de colonização quanto no funcionamento da micorriza, uma vez que o resultado da interação simbiótica é afetado por fatores relacionados à planta hospedeira, ao genótipo do fungo (Heijden et al., 1998; Smith et al., 2000) e ao ambiente (Koide, 1991), evidenciando a presença de diversidade funcional nos FMAs (Munkvold et al., 2004). Portanto, avaliar e conhecer a eficiência dos isolados mantidos em cultura ou recuperados de determinado ambiente ou bioma se revestem de grande interesse.

A eficiência dos FMAs está relacionada com a capacidade de os isolados colonizarem ampla e precocemente vários hospedeiros, promoverem o crescimento da planta, melhorando a nutrição mineral e aumentando a tolerância a estresses bióticos e abióticos (Giovannetti & Avio, 2002; Jakobsen et al., 2002) e manterem o caráter de eficiência, mesmo quando multiplicados em condições diferentes daquelas de sua origem (Abbott et al., 1992) e em condições de competição com outros fungos.

O estudo das características que afetam a capacidade e a eficiência da colonização fúngica é essencial para prever os efeitos da simbiose e para definir ou avaliar o emprego dos FMAs, uma vez que ocorre grande variabilidade funcional entre os diferentes isolados, mesmo aqueles que pertencem à mesma espécie (Klironomos, 2003; Smith et al., 2000, 2004). Munkvold et al. (2004) consideram que a variação intraespecífica tem grande importância ecológica, especialmente em situações que apresentam baixa diversidade de espécies. Neste caso, uma grande diversidade funcional intraespecífica compensará a baixa diversidade de espécies, em termos de eficiência na absorção de nutrientes pelos FMAs.

Como os isolados fúngicos variam em função das condições ambientais, é importante avaliar a presença e a diversidade funcional, uma vez que esta pode influenciar a estrutura da comunidade de plantas e a produtividade do ecossistema (O'Connor et al., 2002). No entanto, apesar de os fundamentos da

relação fungo-planta já terem sido estabelecidos, há completa falta de dados sobre a influência da diversidade dos FMAs e a funcionalidade dessa simbiose.

Johnson et al. (2004) demonstraram que a diversidade das comunidades de FMAs nas raízes de *Plantago lanceolata* correlacionou-se positivamente com as concentrações de P e N na parte aérea das plantas. No entanto, outros estudos, como os realizados por Daft & Hogarth (1983) e Edathil et al. (1996), indicam que os benefícios máximos para as plantas poderiam ser alcançados com uma única, mas eficiente espécie de FMA e que aumentando-se a diversidade micorrízica não haveria mais benefícios para as plantas. No estudo de Santos et al. (2008) observou-se que diferentes isolados de FMAs apresentaram graus variados de eficiência em função da espécie vegetal hospedeira e que as misturas de isolados sempre estiveram entre os tratamentos fúngicos com maior eficiência em aumentar o crescimento da planta em relação ao tratamento não inoculado.

Considerando a extensão geográfica e a complexidade e riqueza de espécies da região amazônica, pouco se conhece sobre os FMAs. Os poucos estudos já publicados (Bonetti, 1984; Oliveira et al., 1997; Oliveira et al., 1999; Oliveira & Oliveira, 2004) abordam a ocorrência de colonização de espécies florestais e efeitos da inoculação em poucas espécies. Esses estudos evidenciam a ocorrência dos FMAs neste bioma, mas a dimensão da biodiversidade destes e suas características funcionais ainda são pouco estudadas. Recentemente, Leal et al. (2009) revelaram abundante comunidade de FMAs em amostras de solos sob diferentes usos no Alto Solimões-Amazônia. Comunidades isoladas dessas amostras exibiram comportamento muito diferenciado em promover o crescimento do caupi em condições controladas (Silva et al., 2009). Isso indica a existência de isolados eficientes nessas comunidades, mas não permite definir ou identificar quais são estes isolados. Esta é uma situação que deve ser esclarecida, especialmente em se tratando da Amazônia, onde o conhecimento da dimensão e da diversidade dos componentes da biota do solo é de grande interesse.

Este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar características funcionais em relação à colonização, aos efeitos na absorção de P, ao crescimento e à produção do feijão-caupi em condições controladas, de isolados obtidos de solos em diferentes usos na região do Alto Solimões-Amazônia, em comparação a isolados referenciais, mantidos em culturas puras e misturas de vários FMAs.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (DCS/UFLA), em duas etapas sequenciais, cada uma com dois ensaios. Na etapa-1, foram empregados dois tipos de solo, um para cada ensaio. No ensaio com o solo da Amazônia, foi utilizado um Cambissolo Háplico aluminico típico de textura argilosa, coletado na profundidade de 0-20 cm, em área com vegetação primária de Floresta Equatorial Perenifólia, atualmente utilizado com pastagem de capim-imperial, no município de Benjamin Constant, AM, cujas características químicas antes da correção encontram-se na Tabela 1A. Decorrido o período de incubação com calcário dolomítico para elevar a saturação por bases a 60%, o solo foi tratado com brometo de metila (98% - brometo de metila + 2% - cloropicrina), na dosagem de $393 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-3}$, para eliminar propágulos de FMAs nativos e, posteriormente, foi acondicionado em vasos plásticos com capacidade para $3,0 \text{ dm}^3$.

Em análises realizadas em amostras de solo após a correção foram observadas as seguintes características químicas, determinadas segundo métodos compilados em Embrapa (1999): pH em água = 6,2; P = $4,9 \text{ mg dm}^{-3}$ (Mehlich - 1); $\text{K}^+ = 86 \text{ mg dm}^{-3}$ (Mehlich -1); $\text{Ca}^{2+} = 7,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Mg}^{2+} = 3,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Al}^{3+} = 0,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; H + Al = $2,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; V = 82,1% e MO = $3,3 \text{ dag kg}^{-1}$. No ensaio com o solo de Lavras, empregou-se um substrato composto por areia estéril e um Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), de textura argilosa, coletado na camada de 0-20 cm, em uma área de mata nativa localizada no câmpus da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, MG, na proporção de 1:2, vol/vol, cujas características químicas antes da correção encontram-se na Tabela 2A. Dessa forma, esse substrato foi designado de solo de Lavras. Após correção e fumigação como descrito para o ensaio com o solo da Amazônia, o solo de

Lavras foi acondicionado em vasos plásticos com capacidade para 3,0 dm³. Análises realizadas em amostras de solo após a correção revelaram as seguintes características químicas, determinadas segundo métodos compilados em Embrapa (1999): pH em água = 5,9; P = 4,9 mg dm⁻³ (Mehlich -1); K⁺ = 50 mg dm⁻³ (Mehlich -1); Ca²⁺ = 1,7 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 0,9 cmol_c dm⁻³; Al³⁺ = 0,0 cmol_c dm⁻³; H + Al = 2,6 cmol_c dm⁻³; V = 51,2 % e MO = 2,1 dag kg⁻¹.

A espécie utilizada como planta hospedeira foi o caupi (*Vigna unguiculata* L. cv. BRS 17 Gurgueia), escolhida por se tratar de uma espécie micotrófica e de interesse regional na Amazônia. A cultivar BRS 17 Gurgueia é uma variedade resistente ao vírus *cowpea golden mosaic virus* (CpGMV) e foi fornecida pela Embrapa Meio Norte, em Teresina, PI.

O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados (DBC), com duas plantas por vaso e cinco repetições. Os 23 tratamentos constaram de treze isolados de FMAs oriundos de solos sob diferentes usos na Amazônia; três fungos de comportamento conhecido e obtidos de culturas puras da coleção de FMAs do DCS/UFLA, utilizados como tratamentos referência; seis inóculos mistos compostos de acordo com as espécies encontradas nos solos sob diferentes usos na Amazônia (Tabela 1); e uma testemunha sem inoculação com FMAs. Todos os inóculos mistos foram suplementados com as culturas puras de Ge, Gc e Gm. Os esporos dos FMAs utilizados no experimento foram provenientes de solos sob diferentes usos na Amazônia (Figura 1A), obtidos através de cultivo armadilha e estabelecimento de cultura pura (Leal, 2005), e esporos da coleção de FMAs do DCS/UFLA. Constatada a pureza dos isolados selecionados, estes foram multiplicados em casa de vegetação do DCS/UFLA utilizando-se como plantas hospedeiras pueraria (*Pueraria phaseoloides*) e braquiaria (*Brachiaria decumbens*), por um período de 150 dias. Esses esporos foram coletados pelo método do peneiramento úmido, seguido de centrifugação com água e solução de sacarose 500 g L⁻¹ (Gerdemann & Nicolson, 1963).

TABELA 1 Lista de identificação e origem dos FMAs empregados no estudo

Identificação/Origem	FMAs
Ad-F (07)*	<i>Acaulospora delicata</i>
Ad-CV (23)	<i>Acaulospora delicata</i>
Am-CV [70A CV]**	<i>Acaulospora morrowiae</i>
Tg-CV (81)	<i>Glomus "thin green"</i>
Tg-CN (38 FURB)	<i>Glomus "thin green"</i>
Gy-CN (38 UFLA)	<i>Glomus "yellow"</i>
Ad-AF (17)	<i>Acaulospora delicata</i>
Tg-AF (24)	<i>Glomus "thin green"</i>
Gy- AF (66)	<i>Glomus "yellow"</i>
Am-R (44A)	<i>Acaulospora morrowiae</i>
Ad-R (50)	<i>Acaulospora delicata</i>
Tg-P (87)	<i>Glomus "thin green"</i>
Ad-P (93)	<i>Acaulospora delicata</i>
Ge	<i>Glomus etunicatum</i>
Gc	<i>Glomus clarum</i>
Gm	<i>Gigaspora margarita</i>
MCN***	<i>Glomus "thin green" + Glomus "yellow"</i>
MCV***	<i>Acaulospora delicata + Acaulospora morrowiae + Glomus "thin green"</i>
MAF***	<i>Acaulospora delicata+ Glomus "thin green" + Glomus "yellow"</i>
MR***	<i>Acaulospora delicata + Acaulospora morrowiae</i>
MP***	<i>Acaulospora delicata + Acaulospora morrowiae</i>
MT***	<i>Ad-F-Acaulospora delicata + Tg-P-Glomus "thin green" + Gy-CN-Glomus "yellow" + Am-R- Acaulospora morrowiae</i>

*Números e letras dentro de "parênteses" corresponde à identificação em Leal (2005); **Números e letras dentro de "cochetes" corresponde a identificação em Silva et al. (2009); *** Todos os inóculos mistos foram suplementados com culturas puras de Ge, Gc e Gm; F – Floresta; CV – Capoeira Velha; CN – Capoeira Nova; AF – Agrofloresta; R – Roça; P – Pastagem; MT – Mistura contendo inóculo das diferentes espécies de FMAs trabalhadas.

Antes da semeadura as sementes de caupi foram desinfestadas superficialmente com álcool 70% e hipoclorito de sódio 2% por 2 minutos e foram, posteriormente, lavadas com água destilada, esterilizada por seis vezes. As sementes foram pré-germinadas em papel de filtro, em câmara de germinação e, após a emergência, foram transferidas para vasos com 3,0 dm³ de solo (duas sementes pré-germinadas por vaso), onde receberam ou não (testemunha – NI) suspensão de esporos de FMAs (aproximadamente 250 esporos por vaso) de cada tratamento de inoculação. A inoculação foi realizada diretamente na radícula no ato da transferência das duas sementes pré-germinadas para o vaso. Nos inóculos mistos o número total de esporos foi igualmente dividido pelo número de espécies de FMAs destes inóculos. Todos os tratamentos, incluindo o NI, foram inoculados também com 1mL de inoculante de rizóbio (*Bradyrhizobium* sp., estirpe INPA03-11B) contendo 10⁹ células viáveis de rizóbio por semente. Visando equilibrar a microbiota entre os tratamentos inoculado e não- inoculado, este último recebeu 10 mL vaso⁻¹ de um filtrado do inóculo sem propágulos de FMAs. Vinte dias após a transferência das sementes pré-germinadas para os vasos, foram aplicados 20 mL da solução de Hoagland & Arnon (1950) sem P e sem N, em intervalos de 20 dias. O total de nutrientes fornecidos por vaso foi: 14,0 mg de K; 5,8 mg de Mg; 9,53 mg de Ca; 20,9 mg de S; 61,0 µg de B e 1,28 µg de Mo. A irrigação foi feita de modo a manter a umidade do solo com 60% do volume total de poros (VTP) ocupados com água.

Ao final dos 120 dias de crescimento, entre os meses de novembro de 2007 a março de 2008 (etapa-1), as plantas foram retiradas dos vasos e separadas em parte aérea e raízes. Após a lavagem das raízes foi retirada aproximadamente 1g de raízes frescas de cada planta para clarificação e coloração (Phillips & Haymann, 1970) e posterior avaliação da colonização micorrízica (Giovanetti & Mosse, 1980). As vagens de cada planta foram retiradas (após secagem ao ar) e colocadas em sacos de papel devidamente etiquetados. As sementes das plantas

foram colhidas quando encontravam-se maduras (vagens amarelas). A matéria seca da parte aérea (MSPA), número de vagens vaso⁻¹ e a produção de grãos vaso⁻¹ foram determinados após secagem em estufa com circulação forçada de ar à 60 °C até atingirem peso constante. Terminada esta etapa-1 do experimento, também foi determinada a densidade de esporos (50 mL de solo) de todos os tratamentos inoculados com FMAs, após extração dos esporos via peneiramento úmido (Gerdemann & Nicolson, 1963), seguido de centrifugação com água e solução de sacarose (500 g L⁻¹) e contagem em microscópio estereoscópio com aumento entre 20x a 40x.

A etapa-2 do experimento foi realizada sequencialmente, por aproximadamente 85 dias, de abril a julho de 2008. A finalidade foi a de avaliar a nodulação, a MSPA e os teores de macro e micronutrientes na MSPA das plantas de caupi, uma vez que a quantidade de solo utilizada no ensaio com o solo proveniente da Amazônia não seria o bastante para conduzir um único experimento com número de repetições suficientes para avaliá-lo na floração e na maturação da espécie. Considerando-se a quantidade de solo disponível e a dificuldade de coleta e de transporte de maior quantidade deste solo, foi justificável a realização de uma etapa-2 sequencial. Quando terminada a etapa-1, as plantas inteiras (parte aérea e raízes) foram retiradas dos vasos, restando apenas o solo com os esporos remanescentes. Para a realização da etapa-2, o solo foi apenas revolvido e o caupi novamente ressemeado. Do mesmo modo que na etapa-1, todos os tratamentos, nos dois ensaios, foram inoculados com rizóbio e, após vinte dias de transferência das sementes pré-germinadas para os vasos, foram aplicados 20 mL da solução de Hoagland & Arnon (1950) sem P e sem N, em intervalos de 20 dias. O total de nutrientes fornecidos por vaso foi: 9,33 mg de K; 3,85 mg de Mg; 6,41 mg de Ca e 14,00 mg de S; 40,67 µg de B e 0,85 µg de Mo. A irrigação foi feita de modo a manter a umidade do solo com 60% do volume total de poros (VTP) ocupados com água.

Aos 85 dias, início de floração da espécie, as plantas foram retiradas dos vasos e separadas em parte aérea e raízes. Após a lavagem das raízes, foram determinados o número e o peso de nódulos e retirado, aproximadamente, 1g de raízes frescas de cada planta para clarificação e coloração (Phillips & Haymann, 1970) e posterior avaliação da colonização micorrízica (Giovanetti & Mosse, 1980).

Após secagem do material vegetal em estufa de circulação de ar forçada a 60°C, até atingirem peso constante, foi determinada a MSPA. A MSPA foi moída para análise dos teores de macro e micronutrientes após digestão nitroperclórica (Zarosky & Burau, 1977). No extrato, Ca, Mg, Zn e Cu foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, P e S por colorimetria e K por fotometria de chama. O N foi determinado pelo método semimicro Kjeldahl (Liaio, 1981) e o B, após extração por digestão via seca (incineração), foi determinado por colorimetria.

No intuito de verificar o efeito da fumigação sobre a nodulação do caupi em solo da Amazônia foi conduzido um ensaio complementar com este solo sem esterilização. O delineamento experimental utilizado neste ensaio foi também o de blocos casualizados (DBC, para homogeneizar as condições de crescimento e avaliação do experimento), com duas plantas por vaso e quatro repetições. Devido à limitada quantidade de solo não estéril, neste ensaio foram eliminados os tratamentos fúngicos Gc, Ge e Gm, isolados da coleção do DCS/UFLA. Estes foram escolhidos para serem excluídos porque o objetivo principal deste estudo foram os FMAs da Amazônia. O Tg-CN foi retirado por falta de inóculo suficiente nos vasos de cultivo referentes a este tratamento. O inóculo misto MCN também foi eliminado por ter em sua composição o isolado Tg-CN.

De posse dos resultados dos atributos microbiológicos (colonização micorrízica nas etapas-1 e 2 e número de esporos em 50 mL solo⁻¹), químico (teor de P) e da planta (produção de grãos vaso⁻¹), os tratamentos fúngicos foram

agrupados em dendrograma de similaridade pelo método UPGMA (método da média aritmética não ponderada), com a utilização do coeficiente de similaridade de Jaccard (Jaccard, 1908) e do programa estatístico NTSYS (Numerical Taxonomic and Multivariate Analysis System, version 2.0, Applied Biostatistics, New York).

Para melhor entendimento dos efeitos e para a comparação dos tratamentos fúngicos, foi calculado o índice médio de performance funcional (IMPF) a partir das seguintes variáveis: colonização (etapas-1 e 2), crescimento (etapa-2), teor de P (etapa-2) e produção (etapa-1). O IMPF foi calculado com base no teste de média para cada variável. Dessa forma, os tratamentos fúngicos que se encontravam no agrupamento superior obtiveram um valor numérico maior, sendo este decrescente até o agrupamento inferior, ao qual foi atribuído valor 1. Considerando a importância da variável produção neste estudo, foi atribuído a ela um peso 2.

Os dados das duas etapas (etapas-1 e 2) experimentais e do ensaio complementar foram submetidos à análise de variância e ao teste de média (Scott-Knott, a 5% confiança), utilizando-se o programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2000), com os valores de colonização micorrízica, nodulação e esporulação sendo previamente transformados em arco seno $(x/100)^{1/2}$, $(x + 1)^{1/2}$ e $\log(x + 1)$, respectivamente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Etapa-1

A análise de variância demonstrou que todas as variáveis avaliadas na etapa-1 foram influenciadas significativamente pelos tratamentos fúngicos, tanto no solo da Amazônia quanto no solo de Lavras (Tabelas 3A, 4A).

As plantas sem inoculação não apresentaram sinais de colonização por FMAs nas raízes em nenhum dos dois solos, ao contrário das inoculadas, nas quais a colonização teve ampla variação entre os tratamentos fúngicos, variando de 1% a 74%, com média geral de 31% e 35%, nos solos da Amazônia e Lavras, respectivamente (Tabela 2). A maioria dos FMAs estudados apresentou colonização elevada, com cerca de 50% dos fungos no solo da Amazônia e 60% no solo de Lavras, com colonização superior a 20%. Entre todos os tratamentos inoculados, apenas o isolado Ad-F no solo Amazônia não colonizou as raízes, isolado que também apresentou baixa colonização (10%) no solo de Lavras, estando esta entre os menores índices de colonização neste solo. Sete isolados (Ad-CV, Am-CV, Tg-CV, Tg-AF, Am-R, Ad-R e Gm) no solo da Amazônia apesar de terem apresentado alguma colonização nas raízes do caupi, esta foi tão reduzida que estes isolados não diferenciaram-se significativamente da Ad-F, que não colonizou as raízes do caupi. Destes sete isolados, quatro (Ad-CV, Ad-R, Am-CV e Am-R) pertencem ao gênero *Acaulospora*, sendo dois isolados de *Acaulospora delicata* (Ad-CV e Ad-R) originados de capoeira velha e roça, e dois isolados de *Acaulospora morrowiae* (Am-CV e Am-R), também originados destes ambientes. O isolado Ad-P originado de pastagem foi o único da espécie

TABELA 2 Colonização micorrízica, número de esporos no solo e número de vagens aos 120 dias após a inoculação com diferentes tratamentos de FMAs, nos solos da Amazônia e Lavras, na etapa-1 do experimento. Médias seguidas de letras iguais nas colunas pertencem a um mesmo grupo pelo teste Scott-Knott 5%

Tratamentos fúngicos	Colonização, %	Nº de esporos, 50 mL solo ⁻¹	Nº de vagens, vagens vaso ⁻¹
Solo Amazônia			
Ad-F	0 d	219 b	0,60 c
Ad-CV	5 d	709 a	2,20 a
Am-CV	2 d	511 a	2,80 a
Tg-CV	1 d	610 a	2,00 b
Tg-CN	47 b	30 c	1,60 b
Gy-CN	26 c	379 a	2,80 a
Ad-AF	16 c	2899 a	2,60 a
Tg-AF	5 d	40 c	1,80 b
Gy-AF	18 c	762 a	2,80 a
Am-R	4 d	171 b	2,80 a
Ad-R	7 d	524 a	2,00 b
Tg-P	39 b	109 b	2,60 a
Ad-P	61 a	257 b	1,60 b
Ge	11 c	200 b	3,00 a
Gc	74 a	160 b	2,60 a
Gm	7 d	138 b	2,60 a
MCN	44 b	174 b	3,80 a
MCV	60 a	409 a	3,20 a
MAF	49 b	162 b	2,40 a
MR	59 a	262 b	2,80 a
MP	65 a	253 b	3,20 a
MT	74 a	314 a	3,20 a
NI	-	-	0,00 c
Solo Lavras			
Ad-F	10 c	3170 b	3,00 b
Ad-CV	4 c	1538 c	3,20 a
Am-CV	4 c	703 d	2,40 b
Tg-CV	39 a	3018 b	3,40 a
Tg-CN	71 a	8510 a	2,20 b
Gy-CN	28 b	1580 c	2,80 b
Ad-AF	14 b	10645 a	2,60 b
Tg-AF	3 c	3376 b	3,40 a
Gy-AF	26 b	6290 a	3,80 a
Am-R	11 c	1480 c	3,80 a
Ad-R	10 c	982 d	2,00 b
Tg-P	58 a	2916 b	3,40 a
Ad-P	15 b	4479 b	2,60 b
Ge	17 b	2949 b	2,80 b
Gc	69 a	261 e	3,00 b
Gm	52 a	591 d	3,20 a
MCN	49 a	1800 b	3,60 a
MCV	66 a	3263 b	2,80 b
MAF	53 a	4465 b	3,80 a
MR	63 a	2798 b	2,80 b
MP	59 a	4780 b	3,80 a
MT	55 a	3211 b	3,40 a
NI	-	-	0,00 c

Acaulospora delicata que apresentou alta colonização no solo da Amazônia, atingindo colonização de 61%. Já no solo de Lavras este isolado atingiu índice de colonização de apenas 15%. O Tg-P, também originado de pastagem, apresentou colonização elevada nos dois solos (solo Amazônia - 39% e solo Lavras - 58%). Os tratamentos fúngicos Tg-CV, Tg-CN e Tg-AF, também inoculados com o *Glomus* “*thin green*”, registraram colonizações que variaram de muito baixa a alta, quando se consideram os dois solos. O Tg-CV, oriundo de capoeira velha, no solo da Amazônia, situou-se entre os sete tratamentos fúngicos que não diferiram do isolado Ad-F que não colonizou as raízes. No solo de Lavras, a colonização do caupi com este isolado (Tg-CV) ficou entre as maiores (39%). Os isolados Tg-CN e Tg-AF apresentaram altos (47 e 71%) e baixos (5 e 3%) níveis de colonização nos solos da Amazônia e Lavras, respectivamente. Estes resultados mostram que há evidência de comportamento diferencial intraespecífico entre os isolados de *Acaulospora delicata* e *Glomus* “*thin green*”.

Nos inóculos de culturas puras, provenientes da coleção de FMAs do DCS/UFLA, verifica-se que o Gc (*Glomus clarum*) obteve altos níveis de colonização, 74% e 69% nos solos da Amazônia e Lavras, respectivamente (Tabela 2). Enquanto isso, para a Gm (*Gigaspora margarita*), o tipo de solo influenciou nos níveis de colonização, o qual foi muito baixo no solo da Amazônia (7%) e muito alto no solo de Lavras (52%). Com relação ao Ge (*Glomus etunicatum*), foi observado pouco efeito deste sobre a colonização do caupi, independentemente do tipo de solo empregado. Os maiores níveis de colonização neste estudo foram, no geral, obtidos com os inóculos mistos, que apresentaram ampla capacidade de colonizar o caupi, com média de aproximadamente 60%, nos dois solos.

Os fungos inoculados apresentaram esporulação diferenciada nos dois solos (Tabela 2). No solo da Amazônia, a esporulação variou de 30 a 2.899

esporos em 50 mL de solo, com média geral de 422 esporos, enquanto no solo de Lavras, a variação foi de 261 a 10.645 esporos em 50 mL de solo, com média geral de 3.309 esporos. O número de esporos dos isolados foi bastante variável de acordo com a origem. Dos cinco isolados pertencentes a *Acaulospora delicata* (Ad-F, Ad-CV, Ad-AF, Ad-R e Ad-P), três esporularam muito bem no solo da Amazônia (Ad-CV, Ad-AF e Ad-R) e os outros dois (Ad-F e Ad-P) tiveram esporulação mais baixa neste solo, evidenciando a ampla variação destes isolados em esporular no caupi nessas condições de solo, sendo esta característica dependente da sua origem. O isolado Ad-AF, originado de agrofloresta, foi o que produziu maior número de esporos neste estudo, com esporulação de 2.899 e 10.645 esporos, em 50 mL de solo, nos solos da Amazônia e Lavras, respectivamente. Dos *Glomus "thin green"* (Tg-CV, Tg-CN, Tg-AF e Tg-P), apenas o isolado de capoeira velha (Tg-CV) obteve alta esporulação no solo da Amazônia (610 esporos em 50 mL de solo); já os isolados Tg-CN e Tg-AF, originados de capoeira nova e agrofloresta, apresentaram esporulação de 30 e 40 esporos em 50 mL de solo, respectivamente, sendo estas as menores produções de esporos neste solo. A *Acaulospora morrowiae* oriunda de capoeira velha (Am-CV) apresentou elevada esporulação no solo da Amazônia quando comparada a Am-R originada de roça. No solo de Lavras, todos os fungos tiveram esporulação maior quando comparado ao solo da Amazônia (Tabela 2) e essas diferenças devem-se, provavelmente, às características de cada solo. O isolado Tg-CN no solo de Lavras apresentou esporulação de 8.510 esporos em 50 mL de solo, cerca de 284 vezes maior que sua esporulação no solo da Amazônia. Resultado semelhante, porém, de menor magnitude, ocorreu para o Tg-AF originado de agrofloresta, com esporulação no solo de Lavras cerca de 85 vezes maior que no solo da Amazônia. O fungo que apresentou a menor esporulação no solo de Lavras foi o Gc, com 261 esporos em 50 mL de solo.

Os efeitos dos tratamentos sobre os parâmetros de produção do caupi são apresentados na Tabela 2 e na Figura 1. Verifica-se que os tratamentos fúngicos influenciaram a produção de grãos vaso^{-1} (Figura 1) e o número de vagens vaso^{-1} (Tabela 2), nos dois solos. Os números médios de vagens produzidas foram de 2,5 e 3,1 vagens vaso^{-1} , nos solos da Amazônia e Lavras, respectivamente. A produção de grãos foi favorecida pela inoculação, com exceção apenas da Ad-F que, de fato, não colonizou no solo da Amazônia.

Em uma análise geral da produção de grãos verifica-se que, de forma geral, as diferenças não foram muito marcantes entre os dois solos (Figura 1), com médias de 2,60 e 2,91 g vaso^{-1} , no da Amazônia e no de Lavras, respectivamente. Plantas não inoculadas não produziram grãos em nenhum dos dois solos. Plantas inoculadas com o isolado Ad-F não diferiram das NI no solo da Amazônia, mas este mesmo tratamento no solo de Lavras produziu cinco vezes mais que no solo da Amazônia e diferiu do NI.

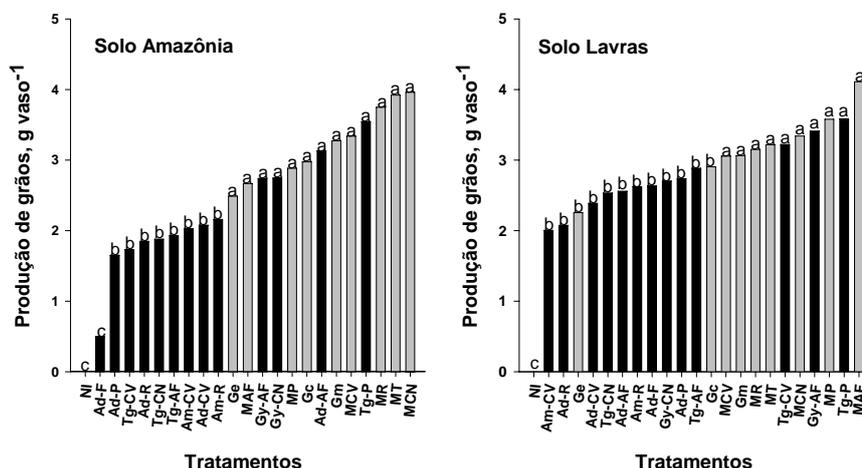


FIGURA 1 Produção de grãos do caupi aos 120 dias após a inoculação com diferentes tratamentos fúngicos, nos solos da Amazônia e Lavras, na etapa-1 do experimento. Médias seguidas de letras iguais pertencem a um mesmo grupo pelo teste Scott-Knott 5%

Analisando-se o comportamento das médias em resposta aos tratamentos, tem-se, na Figura 1, a formação de três grupos nos dois solos, porém, estes têm comportamento diferenciado. Pelo teste de média, pode-se assumir que os tratamentos que ficaram no agrupamento superior tiveram produção máxima, o que foi observado em 56% dos tratamentos no solo da Amazônia e 43% no solo de Lavras. Nos dois solos, destacam-se os inóculos mistos como os de maior efeito, mas há isolados com comportamento semelhantes a estes (Gy-AF, Ad-AF, Gy-CN e Tg-P) em solo da Amazônia. Destes, três são do gênero *Glomus* (Gy-AF, Gy-CN e Tg-P) e apenas um do gênero *Acaulospora* (Ad-AF). No solo de Lavras, três dos isolados (Tg-CV, Gy-AF e Tg-P) apresentaram efeito máximo na produção e todos eles são do gênero

Glomus, sendo duas espécies de *Glomus* “thin green” (Tg-CV e Tg-P) e uma de *Glomus* “yellow” (Gy-AF). Os isolados de cultura pura (Ge, Gc e Gm) situaram-se entre os que proporcionaram efeito máximo na produção de grãos no solo da Amazônia, mas, no solo de Lavras, apenas a Gm atingiu este efeito. Independentemente do solo empregado, as maiores produções foram obtidas com os isolados Gy-AF e Tg-P, juntamente com a Gm e todos os inóculos mistos.

Análise de correlação linear entre as variáveis estudadas na etapa-1 do experimento, nos dois solos (Tabela 5A) revelam que há relação positiva e significativa entre a colonização e a produção de grãos no caupi (Figura 2).

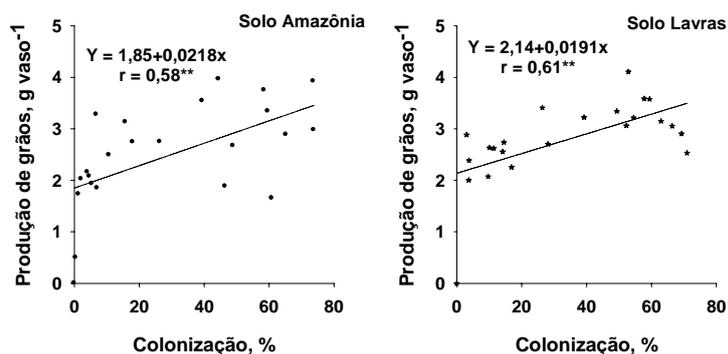


FIGURA 2 Correlação linear simples entre colonização micorrízica e produção de grãos do caupi na etapa-1 do experimento, nos solos da Amazônia e Lavras. *Significativo a 1% pelo teste t para correlação de Pearson

Os diferentes tratamentos de inoculação exerceram efeitos significativos e diferenciados em todas as variáveis analisadas nesta etapa-1 do experimento, nos dois solos. A colonização micorrízica variou amplamente entre

os tratamentos fúngicos, com a maioria apresentando colonização elevada (>20%). Vários trabalhos têm mostrado elevado grau de colonização micorrízica do feijão-caupi (Sieverding, 1991; Raposo, 1989; Muthukumar & Udaiyan, 2002; Rohyadi et al., 2004; Silva et al., 2009). No trabalho de Raposo (1989), com duas variedades de caupi, verificou-se colonização micorrízica acima de 60%, enquanto Rohyadi et al. (2004), mesmo em condições de elevada acidez do solo (pH 4,7), registraram colonização superior a 35%. Também Muthukumar & Udaiyan (2002) encontraram altos níveis de colonização no caupi, acima de 65% em solos corrigidos e não corrigidos com adubos orgânicos. Em estudo mais recente, Silva et al. (2009) observaram boa colonização do caupi quando inoculado com comunidades de FMAs de mesma origem dos isolados aqui estudados. Estes últimos autores observaram que 70% das comunidades fúngicas avaliadas apresentaram colonização superior a 20%.

No presente estudo, dos isolados de *Acaulospora delicata*, o único que obteve alta colonização no solo da Amazônia foi um isolado originado de pastagem (Ad-P), que apresentou colonização de 61%, podendo-se sugerir que esse efeito tenha alguma ligação com a sua origem de isolamento. Como, neste caso, o solo utilizado para o crescimento do caupi era proveniente de uma área de pastagem na Amazônia, este fungo, isolado desta área, pode estar mais adaptado a estas condições de solo e assim apresentou esta alta capacidade em colonizar o sistema radicular da planta; diferentemente ocorreu no solo de Lavras, onde este isolado registrou colonização de apenas 15%. Para o *Glomus* “*thin green*”, apesar da ampla variação entre os diferentes isolados (Tg-P, Tg-CV, Tg-CN e Tg-AF), observa-se que há efeito evidente da sua origem, ou seja, isolados de diferentes origens, após multiplicação em vasos, apresentaram capacidade diferenciada de colonizar o caupi. Além disso, os tipos de solo empregados também influenciaram esta capacidade, com dois isolados mostrando boa capacidade de colonizar o caupi sob as duas condições de solo

(Tg-CN e Tg-P), um sendo mais específico (Tg-CV) e outro com colonização muito baixa nos dois solos (Tg-AF).

Entre os isolados de culturas puras, verificou-se que, para Gm (*Gigaspora margarita*), o tipo de solo influenciou nos níveis de colonização, o qual foi muito baixo no solo da Amazônia (7%) e alto no solo de Lavras (52%). Esta alta colonização da Gm no solo de Lavras não é surpresa, uma vez que este isolado, há muitos anos, vem sendo cultivado em solo semelhante, podendo estar mais adaptado a essas condições. Por outro lado, o Gc (*Glomus clarum*) obteve altos níveis de colonização nos dois solos (Amazônia - 74% e Lavras - 69%), indicando a elevada compatibilidade deste fungo com o caupi e sua adaptabilidade aos tipos de solos empregados.

Outros estudos do Laboratório de Microbiologia e Bioquímica do Solo da UFLA com esse isolado têm demonstrado alta competitividade e agressividade ao colonizar diversos hospedeiros, dominando a comunidade ativa de FMAs em competição com espécies também competitivas como *G. margarita* e *S. heterogama* (Santos et al., 2008). Pouyu-Rojas et al. (2006) atribuíram a este isolado o caráter de generalista, já que, neste estudo, este fungo foi um dos que apresentaram maior amplitude de eficiência. Estes resultados podem contribuir para o entendimento da alta capacidade deste isolado em colonizar amplamente o feijão-caupi.

A ampla variação ocorrida na porcentagem de colonização dos diferentes tratamentos fúngicos avaliados parece resultar da interação desses fungos com as condições específicas de cada solo e com a sua origem de isolamento. Os resultados encontrados para os diferentes isolados de *Acaulospora delicata* e *Glomus "thin green"* demonstram que eles apresentam capacidade distinta de colonizar a planta hospedeira, evidenciado a existência de variação intraespecífica entre os diferentes isolados destas espécies. Estudos como os de Munkvold et al. (2004) e Koch et al. (2004) têm demonstrado que

isolados de uma mesma espécie são funcionalmente distintos. Munkvold et al. (2004) afirmam que esta variação dentro de uma mesma espécie tem grande potencial ecológico e isto se torna de grande importância, principalmente em ecossistemas que apresentam baixa diversidade de espécies.

A taxa de esporulação dos diferentes tratamentos fúngicos variou amplamente entre os dois solos. A maior esporulação dos fungos no solo de Lavras deve-se, provavelmente, ao tipo de solo empregado, uma mistura de solo e areia (proporção de 1:2 vol/vol), o que pode ter proporcionado características mais propícias para a esporulação dos FMAs. Por outro lado, o solo da Amazônia é muito argiloso, com baixa porosidade, o que dificulta a infiltração de água e diminui a aeração do solo. Quando seco, este solo fica extremamente coeso, o que pode ter contribuído para uma menor esporulação neste solo, em relação ao solo de Lavras.

A textura muito argilosa do solo pode ser um fator limitante para o desenvolvimento de FMAs. De acordo com Sierverding (1991), solos muito argilosos tendem a apresentar menor densidade de esporos de FMAs. Neste estudo, observou-se que o número de esporos dos isolados de uma mesma espécie foi bastante variável de acordo com a origem destes e também entre as condições de solo empregadas no experimento. O isolado de Tg-CN no solo de Lavras apresentou esporulação cerca de 284 vezes maior que sua esporulação no solo da Amazônia. Grande diferença na taxa de esporulação no solo da Amazônia foi verificada entre os dois isolados de *Acaulospora morrowiae* (Am-CV e Am-R), com a Am-CV de capoeira velha esporulando muito bem neste solo e a Am-R de roça com esporulação baixa.

Entre os isolados de *Glomus "thin green"* (Tg-CV, Tg-CN, Tg-AF e Tg-P) apenas o isolado de capoeira velha (Tg-CV) obteve alta esporulação neste solo da Amazônia, enquanto os isolados Tg-CN e Tg-AF, originados de capoeira nova e agrofloresta, apresentaram os menores números de esporos.

Estes resultados corroboram em parte os encontrados por Leal et al. (2009) que também observaram que a esporulação dentro de uma única espécie foi altamente variável com a sua origem. Estes autores verificaram alta esporulação de *Glomus "thin green"* em vasos de capoeira velha, quando comparados à capoeira nova. Para *Acaulospora morrowiae*, eles observaram maior número de esporos em vasos com solo de agrofloresta, quando comparado aos demais usos do solo. Os autores comentam que a detecção dessa variabilidade é importante para entender a biologia desses fungos em sistemas terrestres e compreender se mudanças nos componentes do ecossistema, representados pelos diferentes usos do solo, podem causar impactos sobre os FMAs indígenas (medidos pela esporulação). Além disso, eles comentam que a presença de isolados com diferentes taxas de esporulação, como foi observado no presente estudo, representa um primeiro passo para rastrear a diversidade genética exibida pelas espécies ou isolados de FMAs sobre diferentes localizações geográficas. Isto é de grande importância, uma vez que essa diversidade genética pode alterar significativamente os benefícios conferidos aos seus hospedeiros.

Nesta etapa-1 do experimento ficou evidente que a inoculação do caupi com FMAs promissores pode resultar em aumentos consideráveis na produção de grãos. O único isolado que não apresentou efeito significativo na produção foi a *Acaulospora delicata*, originada de floresta (Ad-F), o que é explicado pela ausência de colonização das plantas com este isolado, neste solo. Quando se observa este isolado em solo de Lavras, verifica-se uma produção cinco vezes maior (2,63 g vaso⁻¹) que a registrada no solo da Amazônia, ficando evidente a influência da micorriza e das condições de crescimento neste estudo.

Dos FMAs da Amazônia que foram inoculados individualmente, quatro tiveram as melhores respostas em produção no solo da Amazônia (Gy-AF, Ad-AF, Gy-CN e Tg-P) e dois também tiveram as melhores respostas em solo de

Lavras (Gy-AF e Tg-P), juntamente com o isolado Tg-CV. É interessante destacar que esses cinco isolados mais promissores na produção de grãos estão distribuídos entre os diferentes usos do solo, com exceção de floresta e roça, e destes, quatro são do gênero *Glomus* (Gy-CN, Gy-AF, Tg-CV e Tg-P) e apenas um do gênero *Acaulospora* (Ad-AF).

Diante desses resultados, pode-se afirmar que, entre os FMAs da Amazônia, as espécies do gênero *Glomus* mostraram-se mais competitivas do que as espécies do gênero *Acaulospora*, na capacidade de aumentar a produção de grãos desta cultura. Independentemente do solo empregado, as melhores respostas em produção foram obtidas com os isolados Gy-AF e Tg-P, juntamente com a Gm e os inóculos mistos. Estes resultados dão um indicativo de que, entre os fungos estudados, estes podem ser utilizados na inoculação do caupi quando se deseja aumentar a produção de grãos desta cultura em diferentes condições de crescimento.

Nesta etapa-1 do experimento, foi possível observar ampla variação na capacidade dos FMAs em esporular, colonizar e aumentar a produção de grãos do caupi e esta variação foi influenciada pela origem de isolamento desses fungos e pelas diferentes condições de crescimento. A grande diversidade funcional observada, até mesmo em âmbito intraespecífico, sugere que isolados de uma mesma espécie podem ser funcionalmente muito diferentes e, como comentado anteriormente, isto se torna de grande importância, principalmente em ecossistemas que apresentam baixa diversidade de espécies. Os resultados do presente trabalho se revestem de grande interesse quando se deseja selecionar fungos funcionalmente diversos para a aplicação em programas de inoculação das culturas locais na região Amazônica.

5.2 Etapa-2

A análise de variância mostrou que todas as variáveis avaliadas na etapa-2 foram influenciadas significativamente pelos diferentes tratamentos fúngicos, tanto no solo da Amazônia quanto no solo de Lavras (Tabelas 6A, 7A, 8A, 9A, 10A e 11A).

As médias de produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), nos dois solos, podem ser observadas na Tabela 3. Todos os tratamentos fúngicos apresentaram efeito significativo na produção de MSPA no solo da Amazônia, com incrementos relativos que variaram de 233% a 622% em relação ao controle não inoculado (NI). Observa-se que as variações no crescimento com a inoculação dos tratamentos fúngicos foram estatisticamente menores neste solo da Amazônia. Dos 22 tratamentos de inoculação, 18 promoveram os maiores efeitos na produção MSPA, não havendo diferenças significativas entre eles e com incremento médio relativo no crescimento de 511% em relação ao NI. Os menores efeitos na produção de MSPA foram obtidos com a inoculação de dois isolados de *Acaulospora delicata* (Ad-F e Ad-P), um de *Glomus "thin green"* (Tg-AF) e a Gm, que não diferiram entre si e apresentaram incremento médio relativo no crescimento de 244%. Todos os inóculos mistos, neste solo da Amazônia, estiveram entre os tratamentos fúngicos com maior capacidade de aumentar o crescimento do caupí, com média de 5,89 g vaso⁻¹.

No solo de Lavras, apenas a Am-CV não diferiu significativamente do NI, e os incrementos relativos no crescimento neste solo, variaram de 308 a 950% (Tabela 3). As variações no crescimento com a inoculação dos tratamentos fúngicos foram maiores que no solo da Amazônia, podendo-se observar a formação de quatro grupos estatisticamente diferentes. Nesse solo de Lavras, apenas oito dos 22 tratamentos de inoculação estão no grupo dos fungos que apresentaram os maiores efeitos na produção de MSPA, com incremento

TABELA 3 Matéria seca da parte aérea (MSPA), número e peso de nódulos e colonização micorrízica do caupi aos 85 dias após a condução seqüencial do experimento, nos solos da Amazônia e Lavras, na etapa-2 do experimento. Médias seguidas de letras iguais nas colunas pertencem a um mesmo grupo pelo teste Scott-Knott 5%

Tratamentos	MSPA g vaso ⁻¹	Número de nódulos nódulos vaso ⁻¹	Peso de nódulos mg vaso ⁻¹	Colonização %
Solo Amazônia				
Ad-F	3,01 b	0,0 b	0,0 b	0 d
Ad-CV	4,85 a	0,0 b	0,0 b	1 d
Am-CV	5,49 a	0,0 b	0,0 b	0 d
Tg-CV	4,70 a	0,0 b	0,0 b	0 d
Tg-CN	5,22 a	0,0 b	0,0 b	54 b
Gy-CN	4,48 a	11,20 a	50,00 a	60 b
Ad-AF	5,63 a	0,0 b	0,0 b	10 c
Tg-AF	2,96 b	0,0 b	0,0 b	8 c
Gy-AF	5,41 a	0,0 b	0,0 b	2 d
Am-R	5,69 a	0,0 b	0,0 b	4 d
Ad-R	4,76 a	0,0 b	0,0 b	6 d
Tg-P	6,04 a	12,40 a	30,00 a	13 c
Ad-P	2,96 b	0,0 b	0,0 b	16 c
Ge	4,56 a	0,0 b	0,0 b	7 c
Gc	5,84 a	0,0 b	0,0 b	76 a
Gm	3,33 b	0,0 b	0,0 b	6 c
MCN	5,41 a	1,60 b	0,00 b	76 a
MCV	5,83 a	19,40 a	40,00 a	77 a
MAF	5,52 a	0,0 b	0,0 b	82 a
MR	6,43 a	3,60 b	10,00 b	72 a
MP	5,77 a	3,00 b	0,00 b	69 a
MT	6,37 a	22,20 a	50,00 a	77 a
NI	0,89 c	0,0 b	0,0 b	-
Solo Lavras				
Ad-F	3,20 a	19,20 b	70,00 a	3 d
Ad-CV	1,99 c	9,20 c	30,00 b	6 d
Am-CV	0,85 d	2,20 d	0,00 c	4 d
Tg-CV	2,63 b	13,00 b	50,00 b	22 c
Tg-CN	3,56 a	26,20 a	90,00 a	42 b
Gy-CN	3,35 a	9,40 c	40,00 b	76 a
Ad-AF	2,72 b	15,20 b	50,00 b	25 c
Tg-AF	2,95 b	16,40 b	60,00 b	6 d
Gy-AF	2,53 b	18,00 b	20,00 c	20 c
Am-R	3,99 a	27,00 a	110,00 a	5 d
Ad-R	1,55 c	5,00 d	10,00 c	14 c
Tg-P	2,28 b	13,80 b	20,00 c	25 c
Ad-P	3,24 a	35,40 a	90,00 a	16 c
Ge	2,37 b	16,20 b	30,00 b	16 c
Gc	2,43 b	16,40 b	20,00 c	41 b
Gm	3,25 a	33,60 a	60,00 b	43 b
MCN	2,50 b	23,20 b	40,00 b	76 a
MCV	2,64 b	20,60 b	30,00 b	46 b
MAF	2,84 b	26,80 a	50,00 b	44 b
MR	3,34 a	45,60 a	130,00 a	32 b
MP	2,96 b	28,80 a	50,00 b	55 b
MT	3,16 a	35,40 a	90,00 a	60 a
NI	0,38 d	0,0 d	0,0 c	-

médio relativo no crescimento de 792% em relação ao NI. Dentre estes oito tratamentos, destacam-se os isolados Ad-F e Ad-P e a Gm, que no solo da Amazônia não estão entre os fungos que proporcionaram maior crescimento da planta. Nesse solo de Lavras, os menores efeitos significativos na produção de MSPA foram obtidos com a inoculação de dois isolados de *Acaulospora delicata* (Ad-CV e Ad-R), que apresentaram incremento médio relativo no crescimento de 366%, em relação ao NI. O efeito dos inóculos mistos no solo de Lavras foi bem menor que o observado no solo da Amazônia. Nesse solo de Lavras, apenas o MR e o MT estão entre os tratamentos com maior capacidade em aumentar o crescimento, diferentemente do que ocorreu no solo da Amazônia, onde todos os inóculos mistos estão entre os tratamentos fúngicos com maior efeito significativo na produção de MSPA. Os fungos que tiveram os maiores efeitos no crescimento, independentemente do solo, foram dois isolados de capoeira nova do gênero *Glomus* (Tg-CN e o Gy-CN), um isolado de roça do gênero *Acaulospora* (Am-R) e os inóculos mistos MR e MT.

Observa-se, pelos dados da Tabela 3, que a nodulação das plantas de caupi foi muito diferente nos dois solos, com ampla redução da nodulação em solo da Amazônia, quando comparado ao solo de Lavras. No solo da Amazônia, dos 23 tratamentos inoculados, apenas 4 tiveram produção significativa de nódulos (Gy-CN, Tg-P, MCV e MT). Embora os inóculos mistos MCN, MR e MP tenham apresentado alguma nodulação, ela foi tão reduzida que estes tratamentos não diferiram dos que não nodularam. No solo de Lavras, houve, no geral, boa nodulação. Neste solo, os isolados Am-CV e Ad-R tiveram nodulação muito baixa, não se diferenciando do tratamento NI, que não nodulou. Estes resultados no solo de Lavras indicam que os FMAs podem ter contribuído para a nodulação das plantas neste solo, uma vez que o tratamento NI com FMAs foi o único que não apresentou nenhum sinal de nodulação.

Na etapa-2 do experimento, as plantas do tratamento testemunha não

apresentaram sinais de colonização, em nenhum dos dois solos (Tabela 3). Nas inoculadas, a colonização variou marcadamente entre os tratamentos fúngicos, de 1% a 82%. No solo da Amazônia, as plantas inoculadas com os isolados Ad-F, Am-CV e Tg-CV não colonizaram as raízes e não se diferenciaram significativamente dos isolados Ad-CV, Gy-AF, Am-R e Ad-R, que apresentaram 1%, 2%, 4% e 6% de colonização, respectivamente. Dos FMAs da Amazônia inoculados isoladamente, apenas os fungos Tg-CN e Gy-CN, ambos originados de capoeira nova, apresentaram alta colonização (Tg-CN - 54% e Gy-CN - 60%) no solo da Amazônia, mas não estão entre os de maior colonização neste solo. Dos FMAs de culturas puras, também no solo da Amazônia, o Gc obteve uma das maiores colonizações (76%), resultado semelhante ao encontrado na etapa-1 do experimento, no mesmo solo. Ainda neste solo, todos os inóculos mistos situaram-se entre os tratamentos que obtiveram as maiores taxas de colonização, com média geral de 76% e, em todos eles, os níveis de colonização foram superiores aos encontrados na etapa-1 do experimento (Tabelas 2 e 3).

Os diferentes tratamentos de inoculação influenciaram os teores de nutrientes na planta, mas são apresentados aqui apenas aqueles com os efeitos mais acentuados e consistentes, que ocorreram para o N e P na MSPA (Tabela 4 e Figura 3). A matéria seca produzida pelo tratamento não inoculado não foi suficiente para a realização da análise de N em nenhum dos solos estudados. No solo da Amazônia houve maior variação no teor de N na MSPA, de 21,84 a 58,52 g kg⁻¹, sendo o maior valor encontrado nas plantas inoculadas com o inóculo misto MCN, o qual diferiu significativamente de todos os outros tratamentos inoculados (Tabela 4). No solo de Lavras, o teor de N na MSPA foi menor em todos os tratamentos, quando comparado ao solo da Amazônia, com variação de 17,92 a 33,88 g kg⁻¹. Nesse solo, o maior teor de N na MSPA foi obtido quando o caupi foi inoculado com o isolado Tg-CV (33,88 g kg⁻¹).

TABELA 4 Teor de nitrogênio e acúmulo de nitrogênio e fósforo na MSPA das plantas de caupi aos 85 dias após a condução sequencial do experimento, nos solos da Amazônia e Lavras, na etapa-2 do experimento. Médias seguidas de letras iguais nas colunas pertencem a um mesmo grupo pelo teste Scott-Knott 5%

Tratamentos	Nitrogênio g kg ⁻¹	Nitrogênio mg vaso ⁻¹	Fósforo
Solo Amazônia			
Ad-F	49,84 b	140,27 c	2,85 d
Ad-CV	39,20 c	187,06 b	4,43 c
Am-CV	36,12 d	197,48 b	4,99 c
Tg-CV	40,88 c	184,58 b	5,08 c
Tg-CN	39,76 c	204,35 b	5,77 b
Gy-CN	33,32 d	144,43 c	5,32 c
Ad-AF	33,88 d	184,58 b	6,18 b
Tg-AF	45,36 b	131,83 c	3,56 b
Gy-AF	36,96 d	198,62 b	7,33 b
Am-R	35,00 d	198,27 b	5,73 b
Ad-R	39,48 c	184,04 b	5,27 c
Tg-P	32,20 d	188,53 b	6,65 b
Ad-P	47,60 b	127,45 c	3,20 b
Ge	36,96 d	163,13 c	4,44 c
Gc	28,56 e	161,76 c	8,09 a
Gm	46,76 b	153,09 c	4,22 c
MCN	58,52 a	314,05 a	6,41 b
MCV	26,04 e	153,32 c	8,79 a
MAF	21,84 e	120,59 c	6,36 b
MR	34,72 d	220,09 b	9,25 a
MP	24,08 e	137,22 c	7,97 a
MT	26,32 e	168,35 c	5,18 c
NI	- *	- *	0,40 e
Solo Lavras			
Ad-F	25,76 b	83,38 a	2,89 a
Ad-CV	23,52 c	48,84 c	2,11 b
Am-CV	23,80 c	19,90 d	0,78 c
Tg-CV	33,88 a	88,83 a	2,65 a
Tg-CN	18,48 c	65,21 b	3,23 a
Gy-CN	21,00 c	69,51 b	2,73 a
Ad-AF	21,84 c	59,32 b	2,85 a
Tg-AF	22,96 c	67,23 b	2,90 a
Gy-AF	23,24 c	58,66 b	2,64 a
Am-R	21,84 c	87,09 a	3,77 a
Ad-R	18,76 c	29,72 d	1,46 c
Tg-P	27,44 b	63,93 b	1,90 b
Ad-P	19,04 c	61,72 b	2,50 a
Ge	20,16 c	46,57 c	1,97 b
Gc	24,08 c	58,08 b	2,10 b
Gm	20,16 c	66,77 b	2,54 a
MCN	20,44 c	49,36 c	1,99 b
MCV	19,60 c	51,76 c	2,43 a
MAF	20,72 c	58,95 b	2,53 a
MR	17,92 c	59,33 b	3,04 a
MP	17,92 c	53,51 c	2,51 a
MT	21,00 c	65,83 b	2,83 a
NI	- *	- *	- **

* e ** Não teve material suficiente para determinação de nitrogênio e fósforo, respectivamente.

Os benefícios da inoculação com FMAs para os teores de P foram generalizados no solo da Amazônia (Figura 3), ocorrendo em todos os tratamentos fúngicos, com incrementos que variaram de 33% a 149% sobre as plantas não inoculadas e média de 1,15 g kg⁻¹. Os teores mais elevados deste nutriente na MSPA do caupi, no solo da Amazônia, foram encontrados nas plantas dos tratamentos MCV, MR, Gc, MP e Gy-AF (Figura 3), atingindo valores de 1,52 g kg⁻¹, duas vezes maior que as plantas sem inoculação. No solo de Lavras, devido à baixa produção de MSPA no tratamento NI, não foi possível realizar a análise de P nas plantas deste tratamento. Nos inoculados, houve tendência de diminuição nos teores de P na MSPA, quando comparados aos das plantas dos mesmos tratamentos no solo da Amazônia. O teor médio deste nutriente nas plantas inoculadas foi de 0,90 g kg⁻¹, em solo de Lavras. Neste solo, apenas os tratamentos fúngicos Ad-CV e MT registraram maiores teores de P na MSPA, em relação aos mesmos tratamentos no solo da Amazônia. Ao contrário do que ocorreu no solo da Amazônia, no solo de Lavras, os maiores teores de P não estiveram relacionados com elevadas produções de MSPA (Tabela 3 e Figura 3).

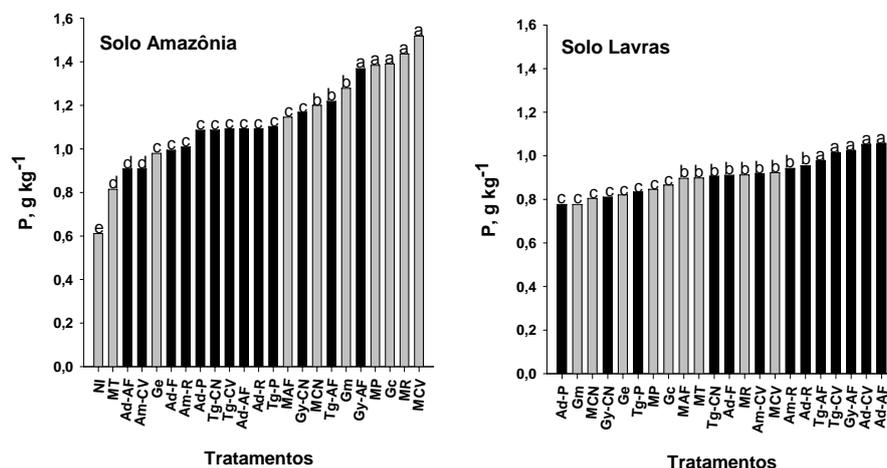


FIGURA 3 Teor de fósforo na MSPA das plantas de caupi aos 85 dias após a inoculação com diferentes tratamentos fúngicos, nos solos da Amazônia e Lavras, na etapa-2 do experimento. Médias seguidas de letras iguais pertencem a um mesmo grupo pelo teste Scott-Knott 5%

Os acúmulos de N e P nas plantas foram calculados com base na MSPA e nos teores de N e P, respectivamente (Tabela 4). O acúmulo de N foi influenciado pelos tratamentos de inoculação nos dois solos estudados. Verificase que no solo da Amazônia os acúmulos deste nutriente foram superiores em todos os tratamentos inoculados, quando comparados ao solo de Lavras. A variação no solo da Amazônia foi de 120,59 a 314,05 mg de N vaso⁻¹, bem menor que a encontrada no solo de Lavras, que foi de 19,90 a 88,83 mg de N vaso⁻¹.

O acúmulo de P nas plantas também foi favorecido pela inoculação nos dois solos (Tabela 4). Todos os tratamentos inoculados aumentaram o acúmulo de P na MSPA em relação ao NI, no solo da Amazônia. Neste solo, os maiores

acúmulos de P foram observados nas plantas inoculadas com os tratamentos Gc, MCV, MR e MP, com incrementos que variaram de 1892 a 2212 mg de N vaso⁻¹, em relação ao NI. No solo de Lavras, os maiores acúmulos deste nutriente na MSPA foram obtidos por 68% dos tratamentos, os quais não diferiram significativamente. Os acúmulos de P neste solo foram, no geral, menores do que os apresentados no solo da Amazônia, com acúmulo médio de 2,47 mg de P vaso⁻¹, duas vezes menor que o registrado no solo da Amazônia (5,78 mg de P vaso⁻¹).

Com o intuito de verificar os motivos que levaram à baixa nodulação no solo da Amazônia, foi conduzido um ensaio complementar com este solo sem esterilização, para constatar se essa baixa nodulação estava associada ao brometo de metila utilizado na esterilização do solo, uma vez que a textura muito argilosa desse solo pode ter contribuído para maior permanência residual do produto e, considerando a alta sensibilidade das bactérias diazotróficas ao resíduo do brometo de metila (Kishinevsky et al., 1992), esta baixa nodulação poderia ter ocorrido devido a esterilização deste solo com este produto. No entanto, a produção de nódulos neste solo da Amazônia não esterilizado seguiu o mesmo padrão do solo esterilizado: poucos nódulos e tamanho reduzido, e com a maioria dos tratamentos não apresentando nenhuma nodulação (Tabela 12A). Dessa forma, ficou constatado que o brometo de metila não influenciou a produção de nódulos neste estudo. Pode-se sugerir, portanto, que essa menor nodulação no solo da Amazônia em relação ao solo de Lavras seja devido às características desse solo: muito argiloso, baixa porosidade, baixa infiltração de água, ocasionando redução da aeração e, assim, dificultando a fixação biológica de nitrogênio.

Na tabela 13A encontram-se os resultados de correlação linear simples entre as variáveis estudadas na etapa-2 do experimento, nos dois solos. No solo da Amazônia, houve correlação linear positiva entre a MSPA e colonização ($r =$

0,51 e $p \leq 0,01$), já no solo de Lavras, não foi observada nenhuma correlação entre estas duas variáveis (Tabela 13A). Também no solo da Amazônia houve correlação linear positiva e significativa entre o teor de P e as variáveis MSPA ($r = 0,43$ e $p \leq 0,05$) e colonização ($r = 0,47$ e $p \leq 0,05$), fato não verificado no solo de Lavras.

Análises de correlação entre MSPA (etapa-2), produção de grãos (etapa-1) e número de esporos nos solos da Amazônia e Lavras (etapa-1), mostram que não houve nenhuma correlação linear significativa entre estas variáveis no solo de Lavras (Tabela 14A). No solo da Amazônia, a produção de grãos correlacionou-se positivamente com a MSPA. Observa-se na Figura 4 que no geral, as maiores produções de MSPA proporcionaram maior produção de grãos no caupi.

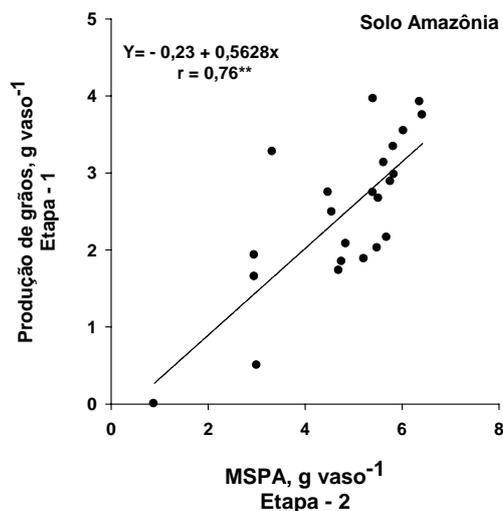


FIGURA 4 Correlação linear simples entre produção de grãos e MSPA no solo da Amazônia. *Significativo a 1% pelo teste t para correlação de Pearson

Ampla variação entre os tratamentos fúngicos ocorreu para todas as variáveis avaliadas nesta etapa-2 do experimento. Os efeitos positivos da colonização micorrízica sobre a produção de MSPA foram generalizados nos dois solos, com exceção apenas do isolado Am-CV, no solo de Lavras. Esses efeitos variaram com a combinação fungo-solo, indicando que a eficiência desses fungos em beneficiar o crescimento do caupi pode variar com o isolado que o coloniza e com as diferentes condições de solo. Os efeitos positivos da colonização micorrízica sobre a produção de MSPA em plantas de caupi obtidos neste trabalho confirmam outros estudos. Almeida et al. (1985) encontraram elevada resposta em caupi devido à inoculação, com aumentos significativos na produção de MSPA, que variaram de 331% a 400%, em relação ao controle não inoculado. Rohyadi et al. (2004), mesmo em condições de elevada acidez do solo (pH 4,7), observaram que a inoculação proporcionou aumentos consideráveis na produção de MSPA. Neste trabalho o crescimento relativo do caupi promovido pelas micorrizas foi maior até pH 4,7, sendo este diminuído com o aumento do pH.

Esses efeitos benéficos das micorrizas para o crescimento das plantas são bem documentados e são atribuídos, diretamente ou indiretamente, à melhoria na nutrição, devido a uma maior absorção de nutrientes, principalmente fósforo (Koide, 1991; Smith et al., 1992; Smith & Read, 1997). É interessante destacar que, no presente trabalho, os inóculos mistos em solo da Amazônia situaram-se entre os tratamentos fúngicos com maior capacidade em aumentar o crescimento do caupi, com média de 5,89 g vaso⁻¹. No solo de Lavras, embora a maioria dos inóculos mistos não esteja entre os tratamentos com maior eficiência em aumentar o crescimento do caupi, este grupo de tratamentos foi, em média, o que obteve o maior efeito (2,91 g vaso⁻¹).

Estes resultados dos inóculos mistos no solo da Amazônia corroboram os encontrados por Santos et al. (2008) com isolados de FMAs de solos de

mineração de bauxita no crescimento inicial de espécies nativas. Estes autores observaram que as misturas de isolados estavam sempre entre os tratamentos com maior eficiência em aumentar o crescimento da planta em relação ao controle não inoculado. No entanto, no presente estudo, os isolados Tg-CN, Gy-CN e Am-R também estão entre os fungos com maior efeito no crescimento, independentemente das condições de crescimento. Estes resultados corroboram os encontrados por Daft & Hogarth (1983) e Edathil et al. (1996), que indicam que os benefícios máximos no crescimento podem ser obtidos com uma única e eficiente espécie de FMA e que o aumento da diversidade micorrízica não traz maiores benefícios para as plantas.

Em estudo realizado por Santos (2008) verificou-se que o benefício do aumento da riqueza de espécies de FMAs é maior para plantas crescendo em comunidades complexas e onde há mais competição, indicando, dessa forma, que uma comunidade diversa de FMAs é mais importante para o crescimento de uma população de plantas e comunidade de espécies que para a planta individualmente.

Nesta etapa-2, a variação ocorrida nos níveis de colonização foi ampla (de 1% a 82%) e maior que a encontrada na etapa-1. Em solo da Amazônia, as plantas inoculadas com o isolado Ad-P apresentaram taxa de colonização cerca de quatro vezes menor (16%) que a registrada na etapa-1 (61%). No solo de Lavras, a taxa de colonização das raízes com este isolado foi semelhante nas duas etapas, cerca de 16%, o que pode sugerir que essa diferença na colonização deste isolado, nas duas etapas, em solo da Amazônia, esteja relacionada ao tempo de condução do experimento (menor na etapa-2).

Devido às características desse solo, o tempo de condução do experimento, nesta etapa-2, pode ter sido pouco para o estabelecimento da simbiose com este isolado, especificamente. Já no solo de Lavras, a baixa colonização com a Ad-P, nas duas etapas do experimento, deve-se,

provavelmente, à baixa adaptabilidade deste isolado ao tipo de solo utilizado. A Gm manteve o mesmo comportamento observado na etapa-1, com baixos níveis de colonização no solo da Amazônia (7% na etapa-1 e 6% na etapa-2) e altos no solo de Lavras (52% na etapa-1 e 43% na Lavras-2).

Como comentado anteriormente, esta alta colonização da Gm no solo de Lavras não representa nenhuma surpresa, uma vez que este isolado vem sendo, há muitos anos, cultivado em um solo semelhante a este, estando, provavelmente, mais adaptado a estas condições. Esses resultados sugerem que a eficiência na capacidade de colonizar o caupi pode variar com o isolado que a coloniza, as condições de crescimento e também com tempo de condução do experimento. Além disso, cada isolado apresenta características de desenvolvimento peculiares em condições específicas de hospedeiro e ambiente (Koide, 1991).

Os teores e acúmulos de N e P na MSPA diferiram marcadamente entre os FMAs. No solo da Amazônia, com exceção apenas do MCN, todos os tratamentos fúngicos que apresentaram os maiores teores de N tiveram os menores incrementos em MSPA em relação ao NI, indicando um efeito de concentração nesses tratamentos. O Gc, juntamente com os inóculos mistos MCV, MAF, MP e MT, foram os tratamentos fúngicos que, no solo da Amazônia, tiveram os menores teores de N na MSPA das plantas. Isto, provavelmente, resultou do efeito de diluição, uma vez que todos estes tratamentos fúngicos estão entre os apresentaram os maiores efeitos significativos na produção de MSPA.

Esse efeito de diluição em plantas micorrizadas foi observado em soja (Paula et al., 1988), em várias espécies arbóreas (Flores-Aylas et al., 2003) e também em caupi (Silva et al., 2009). Os efeitos das micorrizas arbusculares na nutrição nitrogenada é mais frequente quando ocorre sinergia entre a micorrização e a nodulação. Como, no presente trabalho, as plantas de caupi

produziram poucos nódulos e de tamanho reduzido, no solo da Amazônia, provavelmente não houve contribuição efetiva da fixação biológica de nitrogênio quando as plantas foram inoculadas nestas condições de solo e, assim, é perfeitamente aceitável que tenham ocorrido os efeitos de diluição observados.

Os tratamentos de FMAs variaram bastante em relação aos efeitos na absorção de P, como demonstrado anteriormente, e foram maiores no solo da Amazônia (Figura 3). Estes resultados corroboram os estudos já realizados com o caupi (Sanni, 1976; Islan et al., 1980; Almeida et al., 1984; Almeida et al., 1985; Howeler et al., 1987; Wu et al., 2002; Rohyadi et al., 2004; Silva et al., 2009) e com outras espécies (Sieverding, 1991; Bressan et al., 2001; Stürmer, 2004), em diferentes condições experimentais e fungos inoculados. Os resultados revelam que os benefícios nutricionais para o caupi nesse solo da Amazônia associaram-se aos efeitos no crescimento das plantas. Em todos os tratamentos em que a inoculação aumentou a MSPA, houve aumento nos teores de P na planta.

A ampla variação ocorrida na absorção deste nutriente sugere que, dentre os fungos avaliados, alguns foram mais eficientes em aumentar os teores de P no caupi do que outros. Estes tratamentos fúngicos, no solo da Amazônia, foram: Gy-AF, Gc, MCV, MR e MP. As plantas destes tratamentos também apresentaram os maiores efeitos significativos nas variáveis relacionadas à produção de grãos na etapa-1 (Tabela 2 e Figura 1) e na produção de MSPA na etapa-2, neste solo da Amazônia (Tabela 3) e isso ocorreu, possivelmente, por terem proporcionado maior absorção deste nutriente pelas plantas. Isso confirma uma tendência geral das respostas das plantas aos FMAs (Smith et al., 1992), na qual o estabelecimento de uma associação micorrízica eficiente reduz o déficit de P por meio da maior absorção e pelo aumento do uso do nutriente pela planta (Koide, 1991).

No isolado Am-CV no solo de Lavras, que não aumentou a MSPA das

plantas de caupi, o teor de P foi igual ou superior ao de muitos tratamentos que aumentaram a MSPA em relação ao NI. Isso pode ser um indicativo de que, nesse solo, nem sempre o aumento no teor de P nas plantas esteve associado ao aumento na MSPA, evidenciando a influência de outros fatores além do déficit de P no crescimento das plantas nas condições estudadas, fato observado por Silva et al. (2009), trabalhando com caupi e por Stürmer (2004), com soja.

No entanto, devido à insuficiente produção de MSPA no tratamento NI neste solo de Lavras, não foi possível estabelecer comparações quanto ao teor de P entre tratamento inoculado e não inoculado. Neste solo, os tratamentos fúngicos mais eficientes em aumentar os teores de P na MSPA do caupi foram todos originados de capoeira velha e agrofloresta (Ad-CV, Tg-CV, Ad-AF, Tg-AF, Gy-AF).

Estes resultados indicam que os efeitos na absorção de P foram variáveis entre os diferentes tratamentos fúngicos e estes são influenciados pelo solo e origem de isolamento dos FMAs. Demonstra também que, embora três (MP, MR e MCV) das seis comunidades de FMAs compostas de isolados originados dos solos sob diferentes usos aqui estudados tenham obtido maiores efeitos na absorção de P no solo da Amazônia, esses resultados foram significativamente iguais aos de alguns isolados inoculados individualmente. Assim, estes inóculos mistos não foram capazes de promover maiores benefícios na absorção desse nutriente do que quando as plantas foram inoculadas com um único isolado de FMA, como é o caso do Gc no solo da Amazônia, do Gy-AF nos dois solos e dos isolados *Glomus "thin Green"* (Tg-CV e Tg-AF) e *Acaulospora delicata* (Ad-CV e Ad-AF) em solo de Lavras.

Diante desses resultados, ficou clara a ampla capacidade que esses fungos apresentam em aumentar a absorção de P no caupi e esta é variável com os diferentes tratamentos fúngicos inoculados. Outros estudos com esses fungos de solos sob diferentes usos na Amazônia podem ser realizados, no intuito de

verificar se essas diferenças na capacidade de aumentar a absorção de P estão relacionadas a alguma variabilidade genética existente entre espécies e isolados de FMAs de diferentes origens e se essas possíveis diferenças genéticas entre isolados da mesma espécie podem realmente alterar significativamente a absorção de P em diferentes condições de crescimento. Ainda nesse sentido, é importante verificar se os FMAs que foram mais eficientes na absorção de P quando inoculados individualmente seriam mais competitivos e dominariam o sistema radicular quando inoculados em misturas. Este tipo de estudo para verificar a competição entre espécies representa um importante desafio na interpretação de experimentos com mistura de inóculos, mas isso tem sido grandemente facilitado pelo uso de técnicas moleculares como aquelas baseadas em PCR (Jansa et al., 2008).

5.3 Considerações gerais dos resultados

O sistema micorrízico arbuscular e suas respostas para a planta hospedeira são muito complexos. Dessa forma, avaliar a performance funcional dos fungos com base em uma única variável é difícil ou, mesmo, impossível. Assim, para melhor entendimento das respostas dos diferentes fungos, calculou-se o índice médio de performance funcional (IMPF) a partir do conjunto de variáveis avaliadas, em cada solo. Foram construídos também dendrogramas de similaridade para ajudar no entendimento dos resultados encontrados. Os dendrogramas foram construídos de acordo com as variáveis: colonização micorrízica nas etapas 1 e 2, número de esporos, teor de P na MSPA das plantas e produção de grãos. Para o cálculo do IMPF, foram utilizadas as mesmas variáveis usadas na construção dos dendrogramas, com exceção do número de esporos e inclusão da variável crescimento. Dessa forma, os resultados do IMPF (Figura 5), juntamente com os dendrogramas (Figuras 6 e 7), abrangem todas as variáveis avaliadas neste estudo e dão uma visão melhor da diversidade

funcional apresentada pelos diferentes fungos estudados.

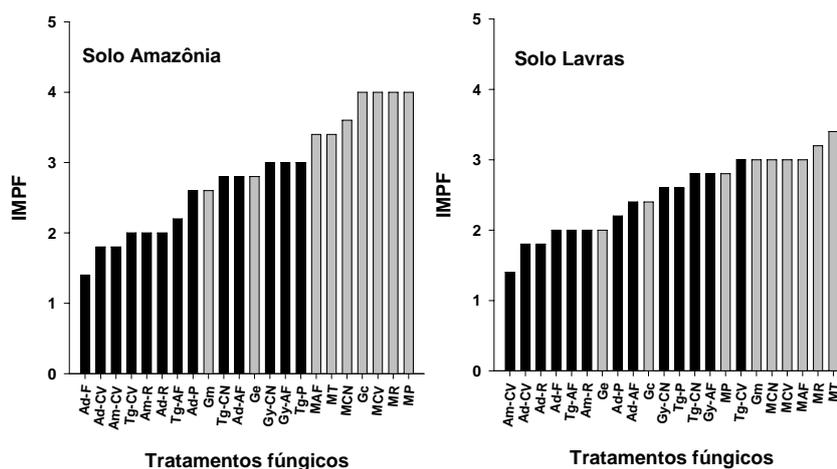


FIGURA 5 Índice médio de performance funcional (IMPF) dos tratamentos fúngicos nos solos da Amazônia e Lavras

Na Figura 5 encontra-se o IMPF dos diferentes tratamentos fúngicos, nos dois solos. No solo da Amazônia, observa-se que os inóculos mistos MCV, MR e MP tiveram IMPF igual ao do Gc (IMPF = 4) e o maior encontrado neste estudo. Esses quatro tratamentos fúngicos mais o MT agruparam-se entre si, a 55% de similaridade (Figura 6). Dentro deste grupo, verifica-se que Gc, MR e MP foram 100% similares.

Estes resultados podem ser um indicativo da dominância do Gc no sistema radicular das raízes quando inoculadas com as misturas MR e MP. Neste solo da Amazônia, seis dos isolados que apresentaram os menores IMPF (Ad-F, Ad-CV, Am-CV, Tg-CV e Am-R) tiveram, aproximadamente, 45% de

similaridade entre si (Figura 6). Dentro desse grupo, dois isolados do gênero *Acaulospora* (Ad-CV e Am-CV), ambos oriundos de capoeira velha, foram 100% similares. Este comportamento é interessante, uma vez que estes isolados pertencem ao mesmo gênero e origem. Por outro lado, os isolados Tg-CV e Ad-R, que são de diferentes origens e pertencem a grupos taxonômicos diferentes, também obtiveram 100% de similaridade.

Entre os fungos originados da Amazônia e inoculados individualmente, os isolados Gy-CN, Gy-AF e Tg-P foram os que apresentaram as melhores respostas para o caupi, em solo da Amazônia (Figura 5). Observa-se que esses isolados são originados de solos sob diferentes usos e todos pertencentes ao gênero *Glomus*, sendo dois isolados da espécie *Glomus* “yellow” (Gy-CN e Gy-AF) e um *Glomus* “thin green” (Tg-P). Por estes resultados, foi possível observar isolado de *Glomus* “thin green” com ótima resposta para o caupi (IMPF = 3) e isolado desta mesma espécie com pouco efeito sobre o conjunto de características avaliadas. Comportamento semelhante também foi verificado entre os isolados Ad-F e Ad-AF, ambos da espécie *Acaulospora delicata*, sendo o isolado Ad-F o menos promissor para o caupi, em solo da Amazônia e o Ad-AF com boas respostas para esta cultura.

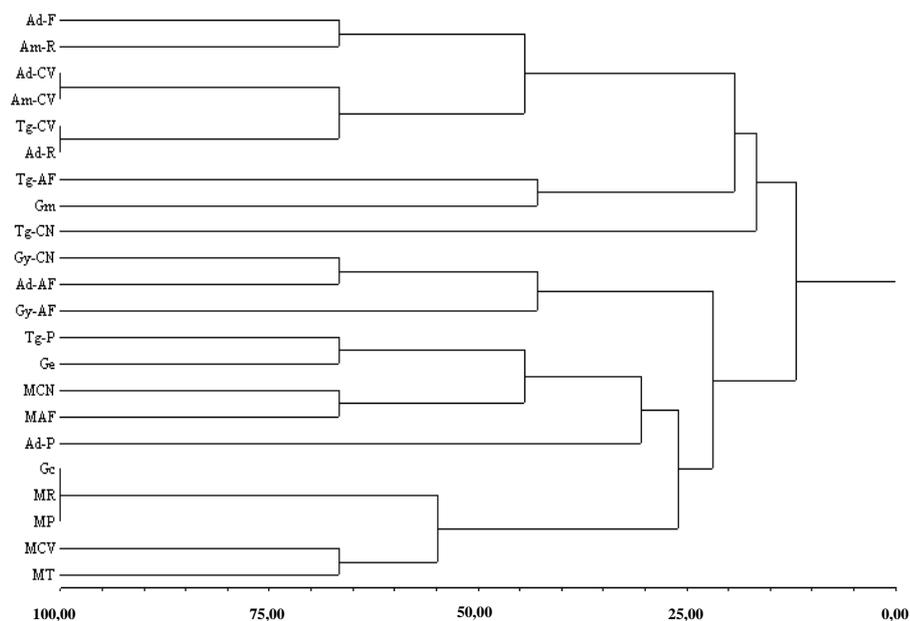


FIGURA 6 Dendrograma de similaridade, construído de acordo com as características microbiológicas (colonização micorrízica e número de esporos), química (teor de P na MSPA das plantas) e da planta (produção de grãos), através dos dados referentes à colonização micorrízica, número de esporos, teor de P na MSPA das plantas e produção de grãos do caupi nos diferentes tratamentos fúngicos, no solo da Amazônia

No solo de Lavras, observa-se que o Gc não situou-se entre os tratamentos fúngicos com as melhores respostas nas plantas (Figura 5), diferentemente do que ocorreu no solo da Amazônia. Neste solo, o isolado Tg-CV está entre os fungos que apresentaram os maiores IMPF, mostrando que o efeito deste isolado para o conjunto de características avaliadas foi mais expressivo no solo de Lavras, evidenciado a influência das condições de crescimento neste trabalho. Os inóculos mistos, juntamente com o Tg-CV e a Gm, os quais se agruparam à aproximadamente 45% de similaridade (Figura 7), foram os tratamentos fúngicos que promoveram os maiores IMPF

(Figura 5). O Ge e seis isolados (Am-CV, Ad-CV, Ad-R, Ad-F, Tg-AF e Am-R) apresentaram os menores IMPF em solo de Lavras ($IMPF \leq 2$) e se agruparam a 40% de similaridade (Figura 7). Neste solo, também foi verificado comportamento diferencial intraespecífico entre isolados de *Glomus* “*thin green*” (Tg-CV, Tg-CN, Tg-P e Tg-AF). Por exemplo, o Tg-CV está entre os fungos que apresentaram os maiores IMPF e o Tg-AF, entre os que apresentaram as menores respostas para as plantas ($IMPF = 2$).

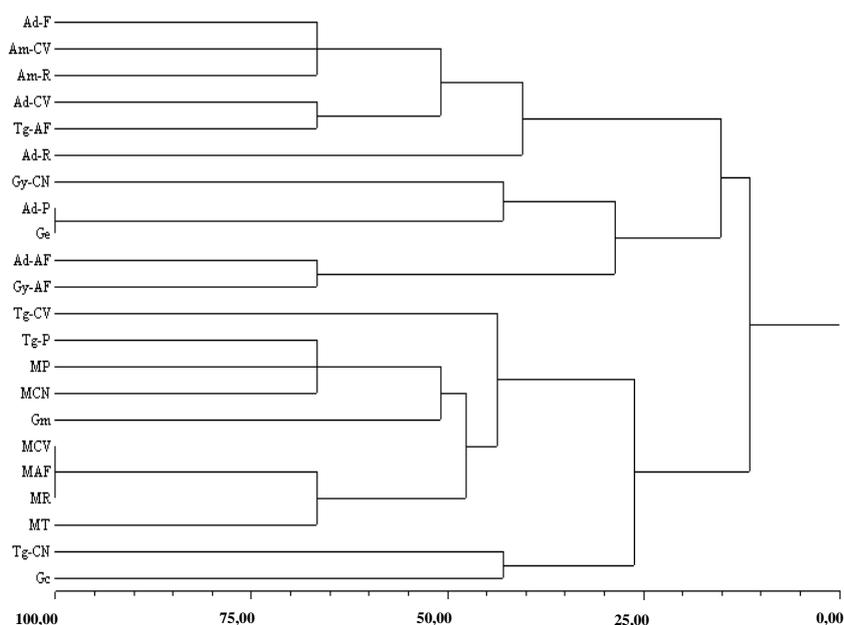


FIGURA 7 Dendrograma de similaridade, construído de acordo com as características microbiológicas (colonização micorrízica e número de esporos), química (teor de P na MSPA das plantas) e da planta (produção de grãos), através dos dados referentes à colonização micorrízica, número de esporos, teor de P na MSPA das plantas e produção de grãos do caupi nos diferentes tratamentos fúngicos, no solo de Lavras

Os resultados deste estudo demonstram que os FMAs do Alto Solimões apresentam ampla diversidade funcional e isso pode ser confirmado pela baixa similaridade (10%) encontrada entre eles, nos dois solos (Figuras 6 e 7). Esta ampla diversidade funcional observada, até mesmo no nível intraespecífico, como verificado entre isolados de *Glomus "thin green"* e *Acaulospora delicata*, sugere que FMAs de uma mesma espécie e oriundos de solos sob diferentes usos podem ser funcionalmente muito diferentes. Munkvold et al. (2004), estudando a diversidade funcional dentro de espécies de FMAs, observaram grande diversidade intraespecífica para promover a absorção de P e o crescimento do micélio fúngico. Para estes autores, isso significa que comunidades de FMAs de baixa diversidade de espécies podem ainda conter considerável heterogeneidade funcional.

No presente estudo, foi possível verificar ampla variação em todas as características funcionais avaliadas e esta variação foi influenciada pela origem de isolamento desses fungos e pelas diferentes condições de solo. Tomando-se como referência de eficiência o Gc, por ser um fungo que tem apresentado alta competitividade e agressividade ao colonizar diversos hospedeiros, além de apresentar grande amplitude de eficiência (Santos et al., 2008; Pouyu-Rojas et al., 2006), verifica-se que, no solo da Amazônia, este fungo apresentou ótimo desempenho funcional e nenhum dos tratamentos estudados foi superior a ele. No entanto, os inóculos mistos MCV, MR e MP apresentaram comportamento funcional semelhante ao do Gc. Os dez tratamentos fúngicos que apresentaram as melhores respostas neste solo da Amazônia, no conjunto de características avaliadas, foram todos os inóculos mistos, juntamente com a Gc e os isolados Gy-CN, Gy-AF e Tg-P. No solo de Lavras, o Gc não se incluiu entre os tratamentos que apresentaram as melhores respostas para o caupi. Neste solo, as melhores respostas foram obtidas com todos os inóculos mistos, juntamente com a Gm e os isolados Tg-CN, Gy-AF e Tg-CV, indicando a influência das

condições de crescimento neste estudo.

É interessante destacar que, entre os isolados oriundos da Amazônia, os mais promissores para o caupi, independentemente das condições de crescimento, são todos do gênero *Glomus*. Isso pode ser um indicativo de que as espécies/isolados deste gênero podem ser potencialmente utilizadas sob diferentes condições de solo e manter o seu caráter de eficiência no caupi. Este conhecimento se torna de grande interesse quando se deseja selecionar isolados altamente eficientes no aumento da produção de culturas de interesse na região amazônica.

Outro aspecto que merece destaque neste trabalho é o efeito expressivo da colonização das plantas de caupi quando inoculadas por várias espécies de FMAs, nas duas condições de crescimento. Este amplo benefício dos inóculos mistos pode estar relacionado ao fato de que: os FMAs podem atuar de maneira diferenciada em relação às alterações das condições do solo e da planta ao longo do tempo, atuando como um “tampão” contra mudanças destas condições. Podem também, como sugerido por vários pesquisadores (Abbott & Gazey, 1994; Pringle & Bever, 2002; Sanders, 2003), atuar como meio de minimizar as depressões do crescimento que podem surgir se um único fungo ineficiente for inoculado individualmente. No entanto, a seleção de FMAs eficientes, como é o caso dos isolados Gy-CN, Gy-AF, Tg-CN, Tg-CV e Tg-P, nos dois solos, pode proporcionar ótimos benefícios às plantas e, em alguns casos, semelhante aos benefícios encontrados com a inoculação dos inóculos mistos.

Portanto, estudos dessa natureza, que visam estabelecer se há relação entre a diversidade funcional e benefícios às plantas, têm sido particularmente relevantes para a explicação dos efeitos da biodiversidade sobre o funcionamento do ecossistema. Estes estudos fornecem informações importantes para o entendimento da ocorrência, da ecologia e da diversidade funcional dos FMAs da região do Alto Solimões no estado do Amazonas e são de fundamental

importância quando se deseja conhecer e selecionar fungos eficientes, que possam ser utilizados em programas de inoculação de espécies de interesse prático para a produção nesta região.

6 CONCLUSÕES

Os fungos isolados de solos sob diferentes usos na Amazônia apresentaram ampla diversidade funcional em relação à colonização, efeitos na absorção de P, crescimento e produção do feijão caupi, em condições controladas.

Diferenças intraespecíficas foram encontradas entre alguns isolados para colonização, absorção de fósforo, crescimento do caupi e produção de grãos.

As espécies/isolados do gênero *Glomus* são as mais promissoras para programas de inoculação do caupi em diferentes condições de crescimento.

No solo da Amazônia, o efeito dos isolados é generalizado na capacidade de absorver P e promover o crescimento do feijão caupi.

Os isolados *Gomus* “yellow”, de capoeira nova; *Gomus* “yellow”, de agrofloresta e *Glomus* “thin green”, de pastagem são os mais promissores para programas de inoculação na Amazônia.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOTT, L. K.; GAZEY, C. An ecological view of the formation of VA mycorrhizas. **Plant and Soil**, The Hague, v.159, n.1, p.69-78, Feb. 1994.
- ABBOTT, L. K.; ROBSON, A. D.; GAZEY, C. Selection inoculant vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Methods in Microbiology**, London, v.24, n. 1, p.1-21, 1992.
- ALMEIDA, R. T.; OLLIVER, B.; DIEM, H. G. Effect of *Glomus mosseae* and *Pratylenchus sefaensis* on growth of *Vigna unguiculata*. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.15, n.1-2, p.19-23, Dec. 1984.
- ALMEIDA, R. T.; VASCONCELOS, I.; SABADIA, F. R. B. Efeito da infecção de fungos micorrízicos VA em feijão-de-corda, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.16, n.1, p.23-26, jun. 1985.
- BONETTI, R. Efeito de micorrizas vesiculares arbusculares na nodulação, crescimento e absorção de fósforo e nitrogênio em siratro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.8, n.2, p.189-192, jun. 1984.
- BRESSAN, W.; SIQUEIRA, J. O.; VASCONCELLOS, C. A.; PURCINO, A. A. C. Fungos micorrízicos e fósforo, no crescimento, nos teores de nutrientes e na produção do sorgo e soja consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.2, p.315-323, fev. 2001.
- DAFT, M. J.; HOGARTH, B. G. Competitive interactions amongst four species of glomus on maize and onion. **Transactions/British Mycological Society**, Cambridge, v.80, n.2, p.339-345, Apr. 1983.
- EDATHIL, T. T.; MANIAN, S.; UDAIYAN, K. Interaction of multiple VAM fungal species on root colonization, plant growth and nutrient status of tomato seedlings (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.59, n.1-2, p.63-68, Aug. 1996.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos, 1999. 370p.

FERREIRA, D. F. Análise estatísticas por meio do SISVAR – Sistema Análise de Variância para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p.255-258.

FLORES-AYLAS, W. W.; SAGGIN-JÚNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O.; DAVID, A. C. Efeito de *Glomus etunicatum* e fósforo no crescimento inicial de espécies arbóreas em semeadura direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.2, p.257-266, fev. 2003.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil wet sieving and decanting. **Transactions/British Mycological Society**, Cambridge, v.46, n.2, p.235-244, June 1963.

GIOVANNETTI, M.; AVIO, L. "Biotechnology of arbuscular mycorrhizas". In: KHACHATOURIANS, G. G.; ARORA, D. K. (Ed.). **Applied mycology and biotechnology**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002. v.2, p.275-310.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular mycorrhizal infection on roots. **New Phytologist**, Cambridge, v.84, n.3, p.489-500, Mar. 1980.

HEIJDEN, M. G. A. van der; KLIRONOMOS, J. N.; URSIC, M.; MOUTOGLIS, P.; STREITWOLF-ENGEL, R.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A.; SANDERS, I. R. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. **Nature**, London, v.396, p.69-72, Nov. 1998.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water culture method of growing plants without soil**. Berkeley: University of California, 1950. 32p.

HOWELER, R. H.; SIEVERDING, E.; SAIF, S. Practical aspects of mycorrhizal technology in some tropical crops and pastures. **Plant and Soil**, The Hague, v.100, n.1-3, p.249-283, Feb. 1987.

ISLAN, R.; AYANABA, A.; SANDERS, F. E. Response of cowpea (*Vigna unguiculata*) to inoculation with VA: mycorrhizal fungi and to rock phosphate fertilization in some unsterilized Nigerian soils. **Plant and Soil**, The Hague, v.54, n.1, p.107-117, Feb. 1980.

JACCARD, P. Nouvelles recherches sur la distribution florale. **Bulletin de la Societe Vaudoise des Sciences Naturelles**, Lausanne, v.44, p.223-270, 1908.

JAKOBSEN, I.; SMITH, S. E.; SMITH, F. A. Function and diversity of arbuscular mycorrhizae in carbon and mineral nutrition. In: HEIJDEN, M. G. A. van der; SANDERS, I. R. (Ed). **Mycorrhizal ecology**. Berlin: Springer, 2002. p.75-92.

JANSA, J.; SMITH, F. A.; SMITH, S. E. Are there benefits of simultaneous root colonization by different arbuscular mycorrhizal fungi? **New Phytologist**, Cambridge, v.177, n.3, p.779-789, Feb. 2008.

JOHNSON, D.; VANDENKOORNHUYSE, P. J.; LEAKE, J. R.; GILBERT, L.; BOOTH, R. E.; GRIME, J. P.; YOUNG, J. P. W.; READ, D. J. Plant communities affect arbuscular mycorrhizal fungal diversity and community composition in grassland microcosms. **New Phytologist**, Cambridge, v.161, n.2, p.503-515, Feb. 2004.

KISHNEVSKY, J. M.; LOBEL, R.; GURFEL, D.; NEMAS, C. Soil fumigation with methyl-bromide as a means of increasing the occurrence of the inoculum strain in peanut nodules. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.24, n.9, p.845-848, Sept. 1992.

KLIRONOMOS, J. N. Variation in plant response to native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi. **Ecology**, Tempe, v.84, n.9, p.2292-2301, Sept. 2003.

KOCH, A. M.; KUHN, G.; FONTANILLAS, P.; FUMAGALLI, L.; GOUDET, J.; SANDERS, I. R. High genetic variability and low local diversity in an arbuscular mycorrhizal fungal population. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v.101, n.8, p.2369-2371, Feb. 2004.

KOIDE, R. T. Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. **New Phytologist**, Cambridge, v.117, n.3, p.365-386, Mar. 1991.

LEAL, P. L. **Fungos micorrízicos arbusculares isolados em culturas armadilhas de solos sob diferentes sistemas de uso na Amazônia**. 2005. 67p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

LEAL, P. L.; STÜRMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O. Occurrence and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in trap cultures from soils under different land use systems in the Amazon, Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v.40, n.1, p.111-121, jan./mar. 2009.

LEKBERG, Y.; KOIDE, R. T. Is plant performance limited by abundance of arbuscular mycorrhizal fungi? A meta-analysis of studies published between 1988 and 2003. **New Phytologist**, Cambridge, v.168, n.1, p.189-204, Oct. 2005.

LIAIO, C. F. H. Devarda's alloy method for total nitrogen determination. **Journal Soil Science Society of America**, Madison, v.45, n.5, p.852-855, Sept./Oct. 1981.

MUNKVOLD, L.; KJOLLER, R.; VESTBERG, M.; ROSENDAHL, S.; JAKOBSEN, I. High functional diversity within species of arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, Cambridge, v.164, n.2, p.357-364, Nov. 2004.

MUTHUKUMAR, T.; UDAIYAN, K. Growth and yield of cowpea as influenced by changes in arbuscular mycorrhiza in response to organic manuring. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Hoboken, v.188, n.2, p.123-132, Apr. 2002.

O'CONNOR, P. J.; SMITH, S. E.; SMITH, E. A. Arbuscular mycorrhizas influence plant diversity and community structure in a semiarid herbland. **New Phytologist**, Cambridge, v.154, n.1, p.209-218, Apr. 2002.

OLIVEIRA, A. N.; OLIVEIRA, L. A. Associação micorrízica e teores de nutrientes nas folhas de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) e guaranazeiro (*Paullinia cupana*) de um sistema agroflorestal em Manaus, Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.28, n.6, p.1063-1068, nov./dez. 2004.

OLIVEIRA, L. A.; GUITTON, T. L.; MOREIRA, F. W. Relações entre as colonizações por fungos micorrízicos arbusculares e teores de nutrientes foliares em oito espécies florestais da Amazônia. **Acta Amazonica**, Manaus, v.29, n.2, p.183-193, abr. 1999.

OLIVEIRA, L. A.; MOREIRA, F. M. S.; MOREIRA, F. W. Ocorrências de microrganismos benéficos em ecossistemas amazônicos. In: NODA, H.; SOUZA, L. A. G.; FONSECA, O. J. M. (Ed.). **Dois décadas de contribuições do INPA à pesquisa agrônoma do Trópico Úmido**. Manaus: INPA. 1997. p.221-240.

PAULA, M. A.; SIQUEIRA, J. O.; OLIVEIRA, L. H.; OLIVEIRA, E. Efetividade simbiótica relativa em soja de população de fungos endomicorrízicos nativos e de isolados de *Glomus macrocarpum* e *Gigaspora margarita*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.12, n.1, p.25-31, fev. 1988.

PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesiculararbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transactions/British Mycological Society**, Cambridge, v.55, n.1, p.158-161, Aug. 1970.

POUYU-ROJAS, E.; SIQUEIRA, J. O.; SANTOS, J. G. D. Compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com mudas de espécies arbóreas tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.30, n.3, p.413-424, maio/jun. 2006.

PRINGLE A.; BEVER, J. D. Divergent phenologies may facilitate the coexistence of arbuscular mycorrhizal fungi in a North Carolina grassland. **American Journal of Botany**, Columbus, v.89, n.9, p.1439-1446, Sept. 2002.

RAPOSO, R. W. C. **Inoculação de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares e *Bradyrhizobium* spp. em caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]**. 1989. 84 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

ROHYADI, A.; SMITH, F. A.; MURRAY, R. S.; SMITH, S. E. Effects pH on mycorrhizal colonisation and nutrient uptake in cowpea under conditions that minimise confounding effects of elevated available aluminium. **Plant and Soil**, The Hague, v.260, n.1-2, p.283-290, Mar. 2004.

SANDERS, I. R. Preference, specificity and cheating in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Trends in Plant Science**, Oxford, v.8, n.4, p.143-145, Apr. 2003.

SANNI, S. O. Vesicular-arbusular mycorrhiza in some nigerian soils and their affect on the growth of cowpea (*Vigna unguiculata*), tomato (*Lycopersicon esculentum*) and maize (*Zea mays*). **New Phytologist**, Cambridge, v.77, n.3, p.7-671, Nov. 1976.

SANTOS, J. G. D. **Riqueza de fungos micorrízicos arbusculares no solo e o crescimento inicial de espécies arbóreas nativas**. 2008. 80 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SANTOS, J. G. D.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Eficiência de fungos micorrízicos arbusculares isolados de solos de áreas de mineração de bauxita no crescimento inicial de espécies nativas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.32, n.1, p.141-150, jan./fev. 2008.

SIEVERDING, E. **Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems**. Eschborn: Friedland Bremer, 1991. 371p.

SILVA, G. A.; SIQUEIRA, J. O.; STÜRMER, S. L. Eficiência de fungos micorrízicos arbusculares isolados de solos sob diferentes sistemas de uso na região do Alto Solimões na Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, 2009. No prelo.

SMITH, F. A.; JAKOBSEN, I.; SMITH, S. E. Spatial differences in acquisition of soil phosphate between two arbuscular mycorrhiza fungi in symbiosis with *Medicago truncatula*. **New Phytologist**, Cambridge, v.147, n.2, p.357-366, Aug. 2000.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. 2. ed. San Diego: Academic, 1997. 605p.

SMITH, S. E.; ROBSON, A. D.; ABBOTT, L. K. The involviment of mycorrhizas in assessment of genetically dependent efficiency of nutrient uptake and use. **Plant and Soil**, The Hague, v.146, n.1-2, p.169-179, Oct. 1992.

SMITH, S. E.; SMITH, F. A.; JAKOBSEN, I. Functional diversity in arbuscular mycorrhizal (AM) symbioses: the contribution of the mycorrhizal P uptake pathway is not correlated with mycorrhizal responses in growth or total P uptake. **New Phytologist**, Cambridge, v.162, n.2, p.511-524, May 2004.

SMITH, S. E.; SMITH, F. A.; JAKOBSEN, I. Mycorrhizal fungi can dominate phosphate supply to plants irrespective of growth resposes. **Plant Physiology**, Cambridge, v.133, n.1, p.16-20, Sept. 2003.

STÜRMER, S. L. Efeito de diferentes isolados fúngicos da mesma comunidade micorrízica no crescimento e absorção de fósforo em soja e trevo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.28, n.4, p.611-622, jul./ago. 2004.

WU, T.; HAO, W.; LIN, X.; SHI, Y. Screening of arbuscular mycorrhizal fungi for the revegetation of eroded red soils in subtropical China. **Plant and Soil**, The Hague, v.239, n.2, p.225-235, Feb. 2002.

ZAROSKY, R. J.; BURAU, R. G. A rapid nitric perchloric acid digestion method for multi element tissue analysis. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.8, n.5, p.425-436, 1977.

ANEXOS

TABELA 1A Características químicas do solo da Amazônia (antes da correção) utilizado no experimento

pH H ₂ O	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T
	---- mg dm ⁻³ ----		----- cmol _c dm ⁻³ -----						
4,8	5,2	70	1,6	0,9	4,5	17,1	2,7	7,2	19,8
V	M	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	----%-----		dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹	-----mg dm ⁻³ -----				
13,5	63	3,1	14,3	6,2	610,6	76,0	2,7	0,3	13,8

H + Al: acidez potencial; SB: soma de bases trocáveis; t: CTC efetiva; T: CTC a pH 7,0; V: saturação por bases; m: saturação por Al da CTC efetiva; H + Al: acidez potencial.

TABELA 2A Características químicas do solo de Lavras (antes da correção) utilizado no experimento

pH H ₂ O	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	T	T
	---- mg dm ⁻³ ----		----- cmol _c dm ⁻³ -----						
5,1	1,0	14	0,2	0,0	0,9	7,0	0,24	1,14	7,24
V	M	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	----%-----		dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹	-----mg dm ⁻³ -----				
3,32	12,4	3,1	5,95	1,5	95,4	31,0	1,2	0,3	15,4

H + Al: acidez potencial; SB: soma de bases trocáveis; t: CTC efetiva; T: CTC a pH 7,0; V: saturação por bases; m: saturação por Al da CTC efetiva; H + Al: acidez potencial.

TABELA 3A Quadrados médios da análise de variância, relacionados à colonização micorrízica, número de esporos, número de vagens e produção de grãos, obtidos na etapa-1 do experimento no solo da Amazônia

Fontes de Variação	Quadrados médios				
	G.L	Colonização	Nº de esporos	Nº de vagens	Produção de grãos
Tratamentos fúngicos	22	0,60**	1,89**	3,68**	5,03**
Erro	88	0,02	0,15	1,17	1,14
CV (%)		28,33	18,16	45,40	43,10

** significativo, a 1% pelo teste de F.

TABELA 4A Quadrados médios da análise de variância, relacionados à colonização micorrízica, número de esporos, número de vagens e produção de grãos, obtidos na etapa-1 do experimento no solo de Lavras

Fontes de Variação	Quadrados médios				
	G.L	Colonização	Nº de esporos	Nº de vagens	Produção de grãos
Tratamentos fúngicos	22	0,49**	3,21**	3,42**	3,15**
Erro	88	0,02	0,03	0,88	0,35
CV (%)		28,46	5,75	31,98	21,52

** significativo, a 1% pelo teste de F.

TABELA 5A Coeficientes de correlação linear simples entre número de vagens, produção de grãos, número de esporos e colonização na etapa-1 do experimento, nos solos da Amazônia e Lavras

	Nº de vagens	Produção de grãos	Colonização
Solo Amazônia			
Nº de esporos	0,13ns	0,15ns	-0,18ns
Nº de vagens	-	0,89**	0,42*
Produção de grãos	-	-	0,58**
Solo Lavras			
Nº de esporos	0,16ns	0,29ns	0,15ns
Nº de vagens	-	0,89**	0,32ns
Produção de grãos	-	-	0,61**

** , * e ns: significativo, a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

TABELA 6A Quadrados médios da análise de variância, relacionados à matéria seca da parte aérea (MSPA), número e peso de nódulos e colonização micorrízica, obtidos na etapa-2 do experimento no solo da Amazônia

Fontes de Variação	Quadrados médios				
	G.L	MSPA	Nº de nódulos	Peso de nódulos	Colonização
Tratamentos fúngicos	22	9,24**	4,67**	0,00**	1,01**
Erro	88	1,86	1,32	0,00	0,02
CV (%)		28,26	76,40	1,02	29,29

** significativo, a 1% pelo teste de F.

TABELA 7A Quadrados médios da análise de variância, relacionados ao teor e acúmulo de nitrogênio na MSPA, obtidos na etapa-2 do experimento no solo da Amazônia

Fontes de Variação	Quadrados médios		
	G.L	Teor de nitrogênio	Acúmulo de nitrogênio
Tratamentos fúngicos	21	404,18**	8766,48**
Erro	84	50,31	2700,79
CV (%)		19,19	29,49

** significativo, a 1% pelo teste de F.

TABELA 8A Quadrados médios da análise de variância, relacionados ao teor e acúmulo de fósforo na MSPA, obtidos na etapa-2 do experimento no solo da Amazônia

Fontes de Variação	Quadrados médios		
	G.L	Teor de fósforo	Acúmulo de fósforo
Tratamentos fúngicos	22	0,22**	20,71**
Erro	88	0,02	249,46
CV (%)		13,91	30,37

** significativo, a 1% pelo teste de F.

TABELA 9A Quadrados médios da análise de variância, relacionados à matéria seca da parte aérea (MSPA), número e peso de nódulos e colonização micorrízica, obtidos na etapa-2 do experimento no solo de Lavras

Fontes de Variação	Quadrados médios				
	G.L	MSPA	Nº de nódulos	Peso de nódulos	Colonização
Tratamentos fúngicos	22	3,50**	10,36**	0,00**	0,46**
Erro	88	0,45	0,88	0,00	0,03
CV (%)		25,60	22,06	1,45	35,12

** significativo, a 1% pelo teste de F.

TABELA 10A Quadrados médios da análise de variância, relacionados ao teor e acúmulo de nitrogênio na MSPA, obtidos na etapa-2 do experimento no solo de Lavras

Fontes de Variação	Quadrados médios		
	G.L	Teor de nitrogênio	Acúmulo de nitrogênio
Tratamentos fúngicos	21	66,85**	1294,79**
Erro	84	13,59	341,67
CV (%)		16,77	30,96

** significativo, a 1% pelo teste de F.

TABELA 11A Quadrados médios da análise de variância, relacionados ao teor e acúmulo de fósforo na MSPA, obtidos na etapa-2 do experimento no solo de Lavras

Fontes de Variação	Quadrados médios		
	G.L	Teor de fósforo	Acúmulo de fósforo
Tratamentos fúngicos	21	0,03**	1,97**
Erro	84	0,01	0,44
CV (%)		7,95	26,89

** significativo, a 1% pelo teste de F.

TABELA 12A Nodulação das plantas de caupi (número e peso de nódulos) aos 85 dias após a condução do ensaio complementar com solo da Amazônia não estéril. Médias seguidas de letras iguais nas colunas pertencem a um mesmo grupo pelo teste Scott-Knott 5%

Tratamentos	Número de nódulos	Peso de nódulos
	nódulos vaso ⁻¹	g vaso ⁻¹
Ad-F	6,25 a	30,00 a
Ad-CV	0,0 b	0,0 a
Am-CV	0,0 b	0,0 a
Tg-CV	0,0 b	0,0 a
Gy-CN	2,75 b	10,00 a
Ad-AF	5,25 a	20,00 a
Tg-AF	12,25 a	70,00 a
Gy-AF	0,0 b	0,0 a
Am-R	10,75 a	20,00 a
Ad-R	0,0 b	0,0 a
Tg-P	0,0 b	0,0 a
Ad-P	0,0 b	0,0 a
MCV	0,0 b	0,0 a
MAF	0,0 b	0,0 a
MR	2,50 b	10,00 a
MP	0,0 b	0,0 a
MT	0,0 b	0,0 a
NI	0,0 b	0,0 a

TABELA 13A Coeficientes de correlação linear simples entre produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), colonização micorrízica, número de nódulos, peso seco de nódulos, teor de N, teor de P, acúmulo de N e acúmulo de P na etapa-2 do experimento, nos solos da Amazônia e Lavras

	Colonização	Nº de Nódulos	Peso de Nódulos	Teor de N	Teor de P	Acúmulo de N	Acúmulo de P
Solo Amazônia							
MSPA	0,51**	0,38 ns	0,32 ns	-0,65**	0,43*	0,42*	0,87**
Colonização	-	0,48*	0,44*	-0,44*	0,47*	0,08ns	0,62**
Nº de Nódulos	-	-	0,96**	-0,45 ns	0,09ns	-0,08ns	0,30ns
Peso de Nódulos	-	-	-	-0,43*	0,04ns	-0,12ns	0,23ns
Teor de N	-	-	-	-	-0,17ns	0,40ns	-0,57ns
Teor de P	-	-	-	-	-	-0,02ns	0,79**
Acúmulo de N	-	-	-	-	-	-	0,29ns
Solo Lavras							
MSPA	0,36ns	0,75**	0,81**	-0,23ns	-0,22ns	0,79**	0,93**
Colonização	-	0,37ns	0,10ns	-0,33ns	-0,49ns	0,01ns	0,08ns
Nº de Nódulos	-	-	0,83**	-0,46 ns	-0,36ns	0,36ns	0,58**
Peso de Nódulos	-	-	-	-0,29ns	-0,08ns	0,56**	0,79**
Teor de N	-	-	-	-	0,36ns	0,40ns	-0,09ns
Teor de P	-	-	-	-	-	-0,02ns	0,14ns
Acúmulo de N	-	-	-	-	-	0,04ns	0,82**

** , * e ns: significativo, a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

TABELA 14A Coeficientes de correlação linear simples entre produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), produção de grãos e número de esporos nas duas etapas do experimento

	Produção de grãos (etapa-1)	Nº de esporos (etapa-1)	Teor de P (etapa-2)
Solo Amazônia			
MSPA (etapa-2)	0,76**	0,16 ns	0,43*
Produção de grãos	-	0,08 ns	0,55**
Nº de esporos	-	-	-0,09ns
Solo Lavras			
MSPA (etapa-2)	0,38 ns	0,27 ns	-0,22 ns
Produção de grãos	-	0,14 ns	-0,18 ns
Nº de esporos	-	-	0,34 ns

** , * e ns: significativo, a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

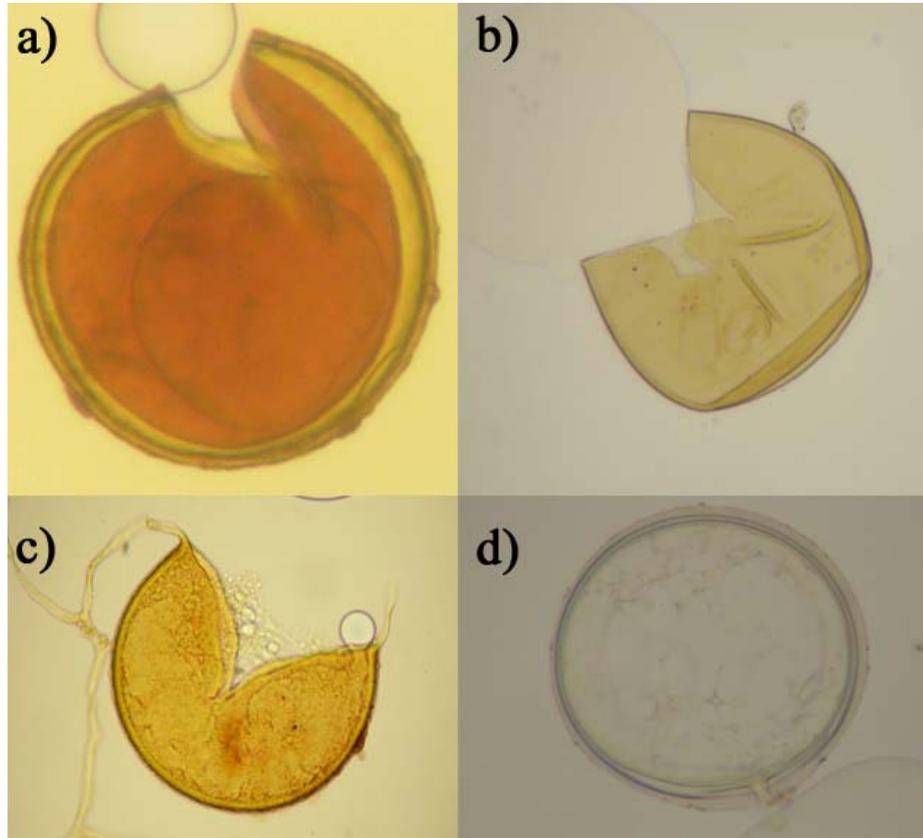


FIGURA 1A Esporos das espécies de FMAs oriundas de solos sob diferentes usos na Amazônia. **a)** *Acaulospora delicata*; **b)** *Acaulospora morrowiae*; **c)** *Glomus* “yellow”; **d)** *Glomus* “thin green”