

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA TROPICAL E RECURSOS
NATURAIS.

MICORRIZAS ARBUSCULARES E ASSIMILAÇÃO DE
NUTRIENTES EM UMA MESO-ESCALA NA REGIÃO
AMAZÔNICA

CAROL ANDREA LÓPEZ ROPERO

MANAUS, AMAZONAS.
JANEIRO, 2007

CAROL ANDREA LÓPEZ ROPERO

**MICORRIZAS ARBUSCULARES E ASSIMILAÇÃO DE
NUTRIENTES EM UMA MESO-ESCALA NA REGIÃO
AMAZÔNICA**

ORIENTADORA: REGINA C. C. LUIZÃO (INPA)

Pré-Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais, do convênio INPA/UFAM, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas, área de concentração em Ecologia.

**MANAUS, AMAZONAS.
JANEIRO, 2007**

L864 López Ropero, Carol Andrea
 Micorrizas arbusculares e assimilação de nutrientes em uma meso-escala na região
 Amazônica. / Carol Andrea López Ropero.--- Manaus : [s.n.], 2007.
 49 p.: il.

Dissertação (mestrado)-- INPA/UFAM, Manaus, 2007.
Orientador: Luizão, Regina Celi Costa.
Área de concentração: Ecologia

1. Micorrizas. 2. Absorção de nutrientes. 3. Floresta primária. I. Título.

CDD 589.2

Sinopse:

Foi avaliada, num transecto leste-oeste de 1500 km, a relação entre as micorrizas arbusculares e a absorção dos principais nutrientes do solo pelo sistema de raízes finas da vegetação arbórea, e como as características físicas e químicas do solo afetam o estabelecimento da simbiose entre o fungo micorrizico arbuscular e as árvores, na região central Amazônica.

Palavras-chave:

Vegetação arbórea, colonização micorrízica arbuscular, esporos, solo, raízes.

Dedico este trabalho a meu Pai Juan (in memoriam) à minha Mãe Graciela e aos meus irmãos Fredy, Juan e Paola, por sempre serem partícipes de minha alegria, minhas tristezas, meus sonhos, além de darem força e apoio em cada um dos momentos de minha vida. Dedico, também, a minha linda Colômbia.

“Morre lentamente quem não viaja, quem não lê, quem não ouve música, quem não encontra graça em si mesmo. Morre lentamente quem destrói seu amor próprio, quem não se deixa ajudar. Morre lentamente quem se transforma em escravo do hábito, repetindo todos os dias os mesmos trajetos, quem não muda de marca, não arrisca vestir uma nova cor e não fala a quem não conhece. More lentamente aquele que faz da televisão sue guru. Morre lentamente quem evita uma paixão, quem prefere o negro sobre o branco e os pontos sobre os “is” a um redemoinho de emoções, justamente as que resgatam o brilho dos olhos, sorrisos dos bocejos, corações aos tropeços e sentimentos. Morre lentamente quem não vira a mesa quando está infeliz no trabalho, quem não arrisca o certo pelo incerto para ir detrás de um sonho, quem não se permite pelo menos uma vez na vida, fugir dos conselhos sensatos. Morre lentamente, quem passa os dias reclamando de sua má sorte ou da chuva incessante. More lentamente, quem abandona um projeto antes de começar, não pergunta de um assunto que desconhece ou não respondendo quando a ele indagam sobre algo que conhece”.

Pablo Neruda.

AGRADECIMENTOS

- Quero expressar meus mais sinceros agradecimentos a todas as pessoas que colaborarem direta e indiretamente na realização deste estudo, além da ajuda na aprendizagem e conhecimento da cultura Brasileira.
- Ao projeto para desenvolvimento de uma Rede de Ciências na Amazônia (PARAMA), por brindar-me a oportunidade de fazer parte dele; além, por sempre me estarem guiando, por sua valiosa contribuição no financiamento do meu projeto e por conceder-me uma bolsa de estudo. Minha prezada orientadora Dra. Regina C. C. Luizão, ao Dr. Marteen Waterloo por confiar sempre em mim. Ao Dr. Bart Krujit pelos valiosos conselhos, e a todos os pesquisadores e colaboradores do projeto PARAMA.
- Ao Dr. Flávio Luizão e à sua equipe Romilda, Rubens, Jean, Carlos, Lucerina e Fabiane, pela acolhida e pelos conselhos ao longo da realização do meu projeto. Ao Alex, pela amizade e irmandade no trabalho, ao Veber, pela amizade e colaboração. À Dra. Sandra Tapia e ao Dr. Jorge Gallardo diretor do projeto TEAM, e à equipe de Botânica do projeto TEAM, pela disposição em colaborar e em aconselhar-me sempre. À Cilene Palheta, técnica do laboratório da bioquímica do solo, por estar à procura de resolver nossos inconvenientes durante o trabalho.
- Ao pessoal dos projetos BIONTE, PDBFF e LBA, pela colaboração na solução de problemas de logística.
- À Tânia Pimentel e à equipe do Laboratório Temático de Solos e Plantas do Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas - INPA, pela colaboração na seleção das metodologias nas análises de material vegetal.
- À Maria Cristina Peñuela Mora, Docente e Pesquisadora da Universidade Nacional de Colômbia, com sede em Letícia, pela valiosa colaboração e ajuda recebidas, ao pessoal pesquisador e técnica da estação Zafire: Eliana Jimenez, Diego Navarrete, Luisa Casas e ao “Mono” Gilberto, pela ajuda no campo.
- Ao Dr. Dennis del Castillo, Diretor do Programa de Recursos Físicos e Terrestres, do Instituto de Investigaciones Peruanas (IIAP), Iquitos-Peru, por estar sempre disposto a colaborar na realização do trabalho, na Estação Jenaro Herrera. Também à sua equipe de trabalho, ao

Engenheiro Florestal Federico Yepes e à aluna de PG, Connie Amélia Rubio Lozano, e aos Srs. Maguicho e Nixon, pela ajuda no campo.

- À Dra. Luz Marina Mantilla, Diretora e à Msc Clara Peña, pesquisadora do Instituto Amazônico de Investigações Científicas (SINCHI) sede Letícia Colômbia, pelas críticas e sugestões que ajudarem a aperfeiçoar e guiar meu trabalho.
- À Coordenação de Pesquisas em Ecologia, aos pesquisadores e docentes do Programa de Ecologia e demais docentes de outros cursos, pelos conhecimentos compartilhados.
- À Geize Pacheco, pela imensa ajuda antes e no início de meu mestrado, à Beverly, pela ajuda em todas as correrias burocráticas durante o curso.
- À minha mãe Graciela, pelo imenso amor e apoio, meus irmãos Fredy, Juan e Paola, por estarem sempre tão perto de mim, mesmo à distância. Também a Teito e Juanito, pelas orações e as preocupações por minha causa. A Manolo, o grande amigo incondicional da família nos momentos felizes e tristes. E Andréa, a menina da casa, pelo carinho oferecido.
- À minha família Colombiana no Brasil, Ângela, Salvador, Adriana, Lina, Carlos, Eduardo, pelo apoio tão importante recebido desde o início até o final.
- Os meus inesquecíveis amigos brasileiros, Helena, Camila, Robson, André, Cristina, Regiane, Clauider, Sinomar, Cristiam.
- Na Colômbia aos mestres que colaborarem em minha formação como pessoa e como Profissional; aos meus amigos, por brindarem com apoio mesmo à distância.

RESUMO

Diferentes processos ecológicos têm mostrado que o ecossistema Amazônico é heterogêneo, variando em função da fertilidade do solo, duração da estação seca e outros parâmetros. Assim, estudos em escalas mais amplas permitem uma visão global para a compreensão do funcionamento da Amazônia. A participação das micorrizas arbusculares nesses processos ainda não tem sido bem estudada, razão pelos quais os principais objetivos deste estudo foram: (i) avaliar a variação espacial, em meso-escala, da relação entre os conteúdos de carbono (C), Fósforo (P), Nitrogênio (N) e outros nutrientes nos solos, e a presença das fungos micorrizicos arbusculares (FMA) em florestas primárias de terra firme em três países da região Amazônica; (ii) determinar os conteúdos de Carbono (C), Fósforo (P), Nitrogênio (N) e outros nutrientes nas raízes dos indivíduos arbóreos de três famílias comuns a essas florestas; (iii) observar a influência da composição físico-química do solo sobre o grau de colonização micorrízica e a produção de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) nessas florestas da região amazônica. O estudo foi conduzido num transecto leste-oeste ao longo de 1500 km, atravessando três países, Brasil (Reserva Cuieiras), Colômbia (Estação Zafire), e Peru (Estação Jenaro Herrera). Foram coletadas 180 amostras de raízes e solo da rizosfera de 60 indivíduos arbóreos pertencentes a três famílias - Lecythidaceae, Sapotaceae e Burseraceae - presentes em cada um dos três locais. As amostras de raízes foram processadas e o conteúdo de nutrientes foi determinado. As propriedades físico-químicas do solo foram analisadas. Também foram determinadas as porcentagens de colonização micorrízica nas raízes e realizadas a extração e contagem dos esporos de FMA nas amostras de solo. Independentemente da variação geográfica que abrangeu 1500 km no sentido leste-oeste, os solos dos três locais foram classificados como sendo ácidos e de baixa fertilidade. O solo da Reserva Cueiras mostrou ser o mais argiloso e pobre em nutrientes e conteve o menor número de esporos de FMA. Em função do conteúdo de nutrientes nas raízes, os indivíduos de cada família arbórea (Lecythidaceae, Sapotaceae e Burseraceae) apresentaram diferenças na assimilação dos principais nutrientes (P, C e N), entre cada um dos três locais, e também apresentaram diferenças nos conteúdos de K, Ca e Mg. Entretanto, não foram detectadas diferenças nas taxas de colonização micorrízica tanto entre as famílias como entres os locais, com baixas taxas de colonização (média de 36%) nos três locais. Adicionalmente, as relações solo-planta dos principais nutrientes não foram influenciadas pela taxa de colonização micorrízica em nenhum dos locais estudados. As propriedades físico-químicas dos solos mostraram que a presença dos FMA no sistema radicular das árvores é uma estratégia amplamente utilizada pela vegetação arbórea na absorção do P. Os solos das Estações Zafire e Jenaro Herrera mostraram ter altos conteúdos de Al, que poderia ser um fator limitante da produção de plantas em solos ácidos. Entretanto, a associação micorrízica parece tamponar os efeitos danosos do excesso de alumínio no solo. Similarmente, a associação das plantas aos FMA pode estar contribuindo para aumentar a tolerância das plantas à acidez dos solos da região Amazônica, comum aos três locais estudados. Finalmente, os resultados acima permitem concluir que, embora a escala e a posição geográfica usadas neste estudo apresentem variações em algumas propriedades dos solos nos vários locais, elas não foram drásticas o suficiente para alterar a utilização pelos FMAs arbusculares como estratégia de captação de nutrientes pelas plantas.

ABSTRACT

Several ecological processes have been shown the heterogeneity of the Amazonian ecosystem, reflecting variation in soil fertility, length of the dry season among other parameters. Thus wide scale studies allow a global approach on the functioning of the Amazon. The contribution of the arbuscular mycorrhiza (AM) in these processes has not been well elucidated yet and became the reason for this study which main objectives were: (i) To evaluate the spatial variation, in a mesoscale, the relationship between the carbon (C), phosphorus (P), and nitrogen (N) contents and other minor nutrients with the colonization by arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) in terra firme forest in three Amazonian countries; (ii) To estimate the carbon (C), phosphorus (P), and nitrogen (N) contents and other minor nutrients in the roots of three individual belonging to three families common to all those forests; (iii) to observe the influence of the soil properties on the degree of mycorrhizal colonization and the production of mycorrhizal spores in those Amazonian forest. The study was carried out in an east-west transect with 1500 km in length, crossing three Amazonian countries, Brazil (Reserve Cueiras), Colombia (Station Zafire), and Peruvian (Station Jenaro Herrera). 180 samples of roots and rhizospheric soils were collected in 60 tree individuals belonging to three families- Lecythidaceae, Sapotaceae and Burseraceae- found in each of the three sites. Root samples were processed and chemically analyzed. Soil properties were also determined for nutrient and physical status. Rates of mycorrhizal colonization in the roots and extraction and counting of AMF spores in the soil samples were made. Despite de geographical variation encompass 1500 km in the east-west direction, the soils in the three sites were still classified as acidic and low in fertility. Soils at Reserve Cueiras were the most clayey, nutrient-poor and lowest in number of AMF spores. By the nutrient in the roots, individuals in each tree family (Lecythidaceae, Sapotaceae e Burseraceae) showed differences in the absorption of the main nutrients (P, C, N) between each site and also for other nutrients (K, Ca, Mg). However no differences were observed in the mycorrhizal colonization rates neither between families nor between sites, with lower rates (average 36%) in three sites. Moreover, the relationship between soil and plants for the main nutrients were not affected by the rate of mycorrhizal in any of the sites. Soil properties showed that mycorrhizal association with plant roots is a widespread strategies used by the arboreal vegetation in the P absorption. Soils at the Station Zafire and Jenaro Herrera showed high Al content, a limiting factor to plant productivity on acid soils. However, the mycorrhizal association seems to buffer the damage caused by the excesses of Al in the soils. Similarly, the tolerance of the plants to the acid soils of the region, common at the three sites studies. Finally, the results in this study allow the conclusion that though the scale and geographical positioning used vary in some soil properties at the various sites they were not enough drastic for plants to alter the use of the AM as a strategy for nutrient acquisition.

ÍNDICE

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	5
2.1 OBJETIVO GERAL	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3 MATERIAIS E MÉTODOS	6
3.1 ÁREAS DE ESTUDO	6
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	7
3.3 DETERMINAÇÃO DE MICORRIZAS ARBUSCULARES	8
3.4 DETERMINAÇÃO DE FÓSFORO (P), NITROGÊNIO (N) E CARBONO (C) NAS RAÍZES.	10
3.5 ANÁLISES DE SOLOS	10
3.6 ANÁLISES DE RESULTADOS	10
4 RESULTADOS	12
4.1 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO NOS TRÊS LOCAIS.	12
4.2 CONTEÚDO DE NUTRIENTES NAS RAÍZES DOS INDIVÍDUOS DAS TRÊS FAMÍLIAS ARBÓREAS LECYTHIDACEAE, SAPOTACEAE E BURSERACEAE.	14

4.3 TAXA DE COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA NAS RAÍZES DAS ÁRVORES NAS TRÊS FAMÍLIAS EM CADA UM DOS TRÊS LOCAIS.	17
4.4 INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO SOLO SOBRE NÚMERO DE ESPOROS NOS TRÊS LOCAIS.	18
5 DISCUSSÃO	20
6 CONCLUSÕES	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
APÊNDICE A - Principais estruturas dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA) encontrados nas raízes e solos nos três locais.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição química dos solos dos três locais de estudo. Os valores são média e desvio-padrão de n=60 amostras.	12
Tabela 2. Composição granulométrica do solo dos três locais. Os valores são média e desvio-padrão de n=60 amostras.	14
Tabela 3. Conteúdos de nutrientes nas raízes das árvores das famílias arbóreas (Lecythidaceae, Sapotaceae e Burseraceae) amostradas em nas áreas de estudo (Reserva Cueiras, Estação Zafire e Estação Jenaro H.). Os valores são média e desvio-padrão de n=60 indivíduos.	15
Tabela 4. Taxa de colonização micorrízica nas raízes das árvores das três famílias arbóreas Lecythidaceae, Sapotaceae e Burseraceae nas três áreas de estudo (Reserva Cueiras, Estação Zafire e Estação Jenaro H.). Os valores são a media e desvio-padrão de n=60 indivíduos.	17
Tabela 5. Correlação parcial da taxa de colonização micorrízica sobre a relação entre os nutrientes dos solos e das raízes, nas áreas de estudo (Reserva Cueiras, Estação Zafire e Estação Jenaro H.). n=60 árvores.	18

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização das Áreas de estudo: (1) Reserva Cueiras, no Brasil (2) Reserva Zafire, na Colômbia (3) Reserva Jenaro Herrera no, Peru. 6
- Figura 2.** Delineamento experimental utilizado em cada um dos três locais. 8
- Figura 3.** Conteúdo dos principais nutrientes P (g.kg^{-1}), N (g.kg^{-1}), C (g.kg^{-1}), nas raízes dos indivíduos arbóreos (das famílias Lecythidaceae, Sapotaceae e Burseraceae) nas três áreas de estudo (Reserva Cueiras, Estação Zafire e Estação Jenaro H.). As linhas tracejadas indicam os valores médios. n=60 indivíduos. 16
- Figura 4.** Número de esporos de FMA extraídos (10gr^{-1} solo) nos três locais. n=60 amostras de solo. 19
- Figura 5.** Relação entre a porcentagem de areia fina e o número de esporos na Estação Zafire. n=60 amostras de solo. 19

1 INTRODUÇÃO

A floresta Amazônica ocupa aproximadamente 6.000.000 Km² de América do Sul, e é constituída por diferentes tipos vegetacionais. Cerca do 65% dessa região é coberta por floresta de terra firme constitui 45% das florestas tropicais do mundo (Malhi *et al.*, 2000; Malhi & Grace, 2000) e é caracterizada principalmente pela elevada riqueza e diversidade de espécies (Prance, 1976; Amaral, 1996; Oliveira & Mori, 1999; Lima Filho *et al.*, 2001; Laurance *et al.*, 2001; Oliveira *et al.*, 2003). A redução desta cobertura florestal e a perda dos recursos genéticos da biodiversidade associado ao mau uso da terra muda o funcionamento natural dos ecossistemas Amazônicos, bem como contribuindo para as mudanças climáticas globais (RAINFOR, 2005).

Padrões como a produtividade primária (Phillips *et al.*, 2004), densidade das árvores (Baker *et al.*, 2004), sazonalidade e fertilidade dos solos (Malhi *et al.*, 2002; Phillips *et al.*, 2004; Ter Steege *et al.*, 2006) mostra que a dinâmica do ecossistema Amazônico varia em escala regional. Por exemplo, os estudos do RAINFOR (2002) mostraram variações nas concentrações de nutrientes nos solos da Amazônia no sentido leste-oeste.

A variação na fertilidade do solo tem sido apontada como um dos principais fatores que determina a alta diversidade da região Amazônica, onde solos do leste são mais pobres do que os solos do oeste (Phillips *et al.*, 2004). Embora a Amazônia possua alta diversidade em vegetação arbórea, os solos são ácidos, com altas concentrações de Al (Ter Steege *et al.*, dados não publicados) e pobres em nutrientes, especialmente o Fósforo. Estas propriedades combinadas fazem com que as interações com microrganismos do solo sejam essenciais para a elevada diversidade arbórea (Malhi *et al.*, 2002; Ter Steege *et al.*, 2006).

Os microrganismos do solo são considerados componentes essenciais dos sistemas sustentáveis (Smith & Read, 1997; Van der Heidjen *et al.*, 1998; Schreineer *et al.*, 2003; Duponnois *et al.*, 2005). Não só os ciclos biogeoquímicos dos nutrientes são mediados por microrganismos, mas também os componentes da microbiota do solo protagonizam diversas

ações que produzem benefícios para as plantas com as quais se associam (Barea, 2001). Caso estes fatores sejam determinantes para o estabelecimento das simbioses, então seria esperado que, as comunidades de micorrizas arbusculares favorecessem o estabelecimento da vegetação arbórea na Amazônia em oposição à baixa fertilidade do solo.

A maioria das plantas vasculares possui interação mutualista com fungos do tipo micorriza arbuscular (MA), os quais são freqüentes nos trópicos (Janos, 1980; Zhi-Wei 2001; citado por Fuchs, 2004). As micorrizas arbusculares foram classificadas com base na similaridade de caracteres morfológicos, funções fisiológicas e critérios filogenéticos (Schenk & Pérez, 1990; Morton, 1988, 1990). Pertencem à phylum Glomeromycota, das ordens Glomales, Archaesporales, Paraglomerales e Diversisporales com cinco famílias Glomaceae, Acaulosporaceae, Gigasporaceae, Archaesporaceae e Paraglomaceae, cada uma com dois gêneros, *Glomus* e *Sclerocystis*, *Acaulospora* e *Entrophospora* e *Gigaspora* e *Scutellospora* e *Archaespora* e *Paraglomus* (Trufem, 1996; Silveira, 1998; Schuëbler *et al.*, 2001; Goto, 2005; INVAM, 2005). A associação mutualista fungo-planta é baseada no intercâmbio bidirecional de carbono e fósforo dos simbiontes (Bever, 1994; Johnson *et al.*, 1997; Van de Heidjen 1998a, 1998b; Kiers *et al.*, 2000; Lovelock & Miller, 2002), o que é influenciado pelo genótipo do fungo (Morton & Bentivenga 1994; citado por Lovelock, 2003), da planta e das condições ambientais. Essa relação simbiótica apresentam, ainda, múltiplos benefícios para as plantas: estimulam o crescimento (Tuomi *et al.*, 2001; Lovelock & Miller, 2002), o desenvolvimento e a nutrição das plantas, especialmente em solos de baixa e moderada fertilidade. As plantas que apresentam as raízes colonizadas por fungos micorrizicos são mais tolerantes à baixa disponibilidade de água do solo, ao dessecamento e fazem uso mais eficiente da água absorvida (Al-Karaki *et al.*, 2004), apresentam maior resistência ao ataque de patógenos, incrementam a dinâmica da sua rizosfera e modificam a presença dos hormônios nos tecidos (Moreira & Siqueira, 2002); as populações e a atividade dos microrganismos no solo são aumentadas, contribuindo para a recuperação dos solos e aumento da sua respiração (Clark and Clark, 2000; Moreira & Siqueira, 2002). Os benefícios da simbiose são maiores em solos com baixa fertilidade, ou com problemas de equilíbrio de nutrientes, bem como, quando a assimilação do fósforo é deficiente (Plenchette *et al.*, 1996; Silveira, 1992; Gianinazzi-Pearson & Azcón, 1991; Egerton-Wharton & Allen, 2000). Assim, os fungos micorrizicos arbusculares são considerados como espécies-chave que desempenham papel de mediação na estruturação e produtividade das comunidades vegetais (Lovelock *et al.*, 2003).

A variação espacial nas comunidades de micorrizas arbusculares pode ser importante fator que contribui na manutenção da diversidade das árvores na floresta, já que pode influenciar no recrutamento das plantas e competição (Ribbens *et al.*, 1994; Clark *et al.*, 1998; Wright 2002; Husband *et al.*, 2002), um processos essencial para manter a diversidade da mata.

Espécies vegetais de floresta tropical úmida têm sido relacionadas com micorrizas arbusculares por diversos autores, incluindo Jansen (1897), Johnston (1949), Redhead (1968), Edmisten (1970), Brundrett (1991), Oliveira (1998) e Kiers & Lovelock (2000). Estudos feitos em distintas florestas tropicais úmidas do mundo (Kiers *et al.*, 2000; Treseder & Vitousek, 2001; Lovelock, Andersen & Morton, 2003; Aristizábal, Rivera & Janos, 2004; Lovelock *et al.*, 2004; Shi *et al.*, 2005) apontam para o importante papel das micorrizas arbusculares em auxiliar as raízes das plantas para vasculhar e capturar nutrientes essenciais, como o fósforo e o nitrogênio do solo (Read & Perez, 2002), como também sua função na ciclagem do carbono (Fitter *et al.*, 1998; Cornelissen *et al.*, 2001; Treseder & Vitousek, 2001) e da importante função de mediadora nos processos de ciclagem de nutrientes dentro dos ecossistemas (Staddon, Heinemeyer & Fitter, 2002; Govindarajulu *et al.*, 2005).

Na floresta primária da Amazônia da Colômbia, do Peru e do Brasil, existem alguns estudos feitos sobre a composição da comunidade de fungos formadores de micorriza arbuscular e sua contribuição na absorção de nutrientes pela vegetação arbórea (Oliveira, Guitton & Moreira, 1998; Zangaro *et al.*, 2000; Alves da Silva *et al.*, 2001; Souza *et al.*, 2003, Oliveira, 2004, Peña-Venegas *et al.*, 2006). Não entanto, a maioria dos estudos refere-se à inoculação de fungos micorrizicos arbusculares em sistemas agroflorestais ou sobre a utilização delas na recuperação de solos degradados (Pouyú-Rojas & Siqueira, 2000; Zangaro *et al.*, 2000; Nóbrega, 2001; Rilling *et al.*, 2001). Dessa forma, o grande potencial que estaria representando a comunidade de fungos micorrizicos arbusculares em associação com às espécies arbóreas nestas florestas não está sendo considerado. A falta de estudos sobre a fisiologia da simbiose entre fungos MA e a vegetação arbórea em escala regional pode estar mascarando a contribuição destes simbiontes nos ecossistemas Amazônicos. Portanto, neste estudo, pretendeu-se avaliar, em meso-escala, ou seja, em escala regional, a relação entre os FMA nativos, e a absorção dos principais nutrientes carbono, fósforo, nitrogênio em raízes finas de indivíduos arbóreos da floresta primária de terra firme. Avaliar as características do solo e sua influência no estabelecimento da simbiose, integrando conhecimentos de estudos entre países como Brasil, Colômbia e Peru, para entender

os diferentes processos fisiológicos que ocorrem nestas florestas, em particular a simbiose entre fungos MA e a vegetação arbórea.

Este estudo faz parte do Projeto para Desenvolvimento de uma Rede de Ciências na Amazônia (PARAMA), que tem por objetivo fortalecer as redes transnacionais de integração científica, para fundir esforços de pesquisas em andamento com os países Amazônicos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Verificar a relação entre os conteúdos de carbono (C), Fósforo (P), Nitrogênio (N) e a presença das micorrizas arbusculares em floresta primária de terra firme em três diferentes locais da região Amazônica, num eixo de 1500 km de comprimento.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar os conteúdos de Carbono (C), Fósforo (P), Nitrogênio (N) e outros nutrientes, nas raízes de indivíduos arbóreos das famílias Lecythidaceae, Sapotaceae e Burseraceae, nos três locais de estudo, Reserva Cueiras, Estação Zafire e a Estação Jenaro Herrera.
- Quantificar a porcentagem de colonização e a relação entre as micorrizas arbusculares e a assimilação dos conteúdos de Carbono (C), Fósforo (P), Nitrogênio (N) pelas raízes dos indivíduos arbóreos das famílias Lecythidaceae, Sapotaceae e Burseraceae, nos três locais de estudo.
- Observar a influência da composição físico-química do solo sobre a produção de esporos de FMA em floresta primária de terra firme na região amazônica.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREAS DE ESTUDO



Figura 1. Localização das Áreas de estudo: (1) Reserva Cueiras, no Brasil (2) Reserva Zafire, na Colômbia (3) Reserva Jenaro Herrera, no, Peru.

O estudo foi conduzido num transecto leste-oeste de cerca de 1500 km (Figura 1), atravessando três países, Brasil, Colômbia e Peru.

Na Amazônia Brasileira, o estudo foi feito na Reserva de Cueiras, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA (Manaus-AM-Brasil), na estrada ZF-2 (2° 35'45"S e 60°12'40"W) a 120m de altitude. A Reserva está localizada na bacia do rio Cueiras com limites da Rodovia BR-174, localizada aproximadamente a 70 km ao norte de Manaus (Manaus - Boa Vista). Esta área possui vegetação tropical não perturbada, com árvores de aproximadamente de 35 m de altura e cujas espécies mais emergentes chegam a atingir 40m. A temperatura média anual é de 27 °C. A normal climatológica apresenta duas estações anuais, sendo um período seco (junho a novembro) com precipitação mínima de 93 mm (julho) e um período chuvoso (dezembro a maio). Sendo que o total mensal máximo é de 300 mm (fevereiro).

Na Amazônia Colombiana o estudo foi realizado na estação de pesquisa Zafire da Universidade Nacional de Colômbia, sede Leticia (3° 48' 65''S e 69° 52' 65''W) a 100 m de altitude. Localiza-se no Km 27 do município de Leticia. A estação reporta uma media anual de 25,8 °C de temperatura e 3225 mm/ano de precipitação, segundo IDEAM (Instituição de estudos ambientais). A altitude do lugar é de 100 m e corresponde á bosque úmido tropical.

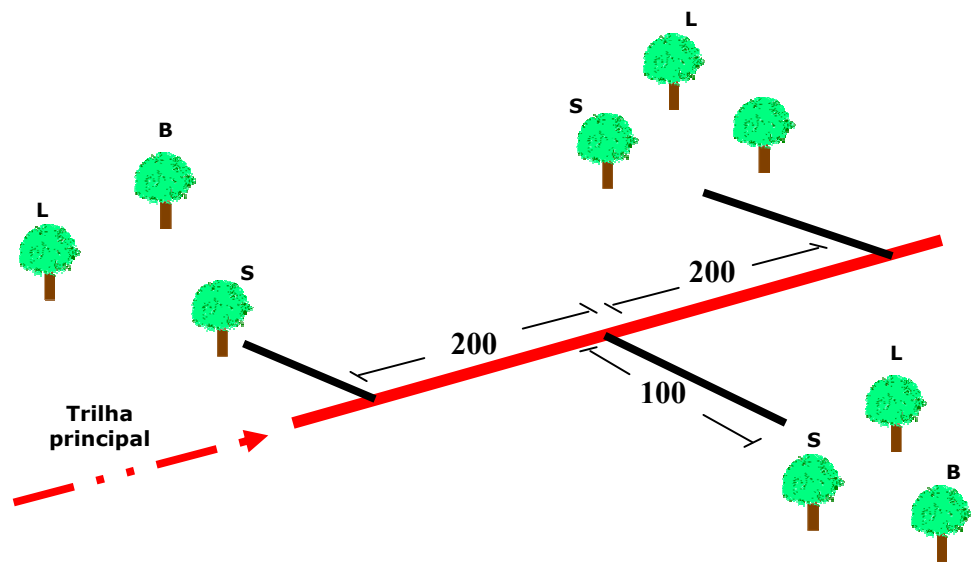
Na Amazônia Peruana o estudo foi realizado na estação científica Jenaro Herrera, localizada na cidade de Iquitos, (3° 34'47''S e 73° 14'18'W) a 106 m de altitude. Encontra-se localizada no km 2,5 do projeto Jenaro Herrera - Colônia Angamos, no distrito de Jenaro Herrera, Departamento de Loreto, Peru; na margem direita do rio Ucayali, a 200 km da cidade de Iquitos. A temperatura media anual é de 26,5 °C. A media anual de precipitação é 2521 mm com menos pluviosidade de junho a setembro (IIAP, 2006).

Os três locais apresentam florestas de terra firme com vegetação tropical não perturbada, caracterizadas por espécies arbóreas que atingem ate 35 m de altura, sobre solos ácidos, pobres em nutrientes, especialmente o fósforo (Tsai *et al.*, 1992; Ruiz, 2003; Peña-Venegas *et al.*, 2006).

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Neste estudo, dada a grande dificuldade de encontrar número representativo de árvores da mesma espécie para cada local, além da distribuição heterogênea das espécies arbóreas na

floresta Amazônica (Ter Steege *et al.*, 2006), a amostragem foi realizada por família. Assim, foram selecionados indivíduos das famílias arbóreas Lecythidaceae, Sapotaceae e Burseraceae, amplamente distribuídas na região abrangida pelos três países e que apresentam grande valor biológico e diversidade β (Lecythidaceae 20%, Sapotaceae 15,4% e Burseraceae 15,4%) importante para o ecossistema Amazônico (Ter Steege *et al.*, dados não publicados). As famílias contêm várias espécies de interesse econômico (madeireiras e medicinais), importantes para o desenvolvimento e conservação da Amazônia (Ter Steege *et al.*, dados não publicados). A amostragem foi realizada uma única coleta no final de Abril de 2006 no final da época chuvosa e começo da seca (numa época de transição), em 20 indivíduos arbóreos de cada família em cada local menor que 30 cm de diâmetro á altura do peito (árvores maiores teriam as raízes mais grossas e, por conseguinte, as raízes possuiriam maiores conteúdos de lignina o que dificultaria a determinação de fungos MA), a cada 200 m da trilha principal da floresta em cada local (Figura 2). Para eliminar o efeito de borda foram considerados apenas os indivíduos que estavam a uma distância mínima perpendicular, de 100 m da trilha principal na floresta em cada local e considerando que as árvores da floresta que se encontram naturalmente distribuídas de forma



aleatória.

(L)=Árvore da Família Lecythidaceae.

(S)= Árvore da Família Sapotaceae.

(B)=Árvore da Família Burseraceae.

Figura 2. Delineamento experimental utilizado em cada um dos três locais.

➤ **Coleta de Amostras.**

Foram coletadas amostras de raízes finas com até 2,0 mm de diâmetro para cada amostra (Quintero, 1998) dos 20 indivíduos das três famílias arbóreas selecionadas. Na zona de influência das raízes (rizosfera) das árvores, seguindo as raízes principais até chegar às raízes finas, tomando amostras compostas para cada árvore. Foram retiradas amostras de solo com volume conhecido (450 cm³), com a utilização de um trado retangular, a 20 cm de profundidade, para obter 180 amostras compostas (Quintero, 1998). As amostras das raízes do solo foram acondicionadas separadamente em sacos plásticos. Posteriormente levadas e acondicionadas para as análises no laboratório de Bioquímica de Solos no Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas (INPA).

3.3 DETERMINAÇÃO DE MICORRIZAS ARBUSCULARES.

A avaliação da colonização das raízes pelos fungos micorrizicos arbusculares foi determinada no Laboratório de Bioquímica de Solos do Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas (INPA).

- *Coloração de Raízes* (Philips e Hayman, 1970). As raízes coletadas foram lavadas em água c, mergulhadas em solução de KOH 10% e colocadas em banho-maria (90° C). Em seguida foi foram imersas em solução fresca de KOH 10% e H₂O₂ 10% 1:1 (V/V). As raízes foram acidificadas com uma solução de HCl 1N, durante 10 minutos e finalmente foram coradas com azul de tripano durante 10 minutos em banho-maria. Então as raízes foram cortadas em fragmentos de um centímetro de comprimento. Em cada lâmina foram montados 10 fragmentos com glicerina (Philips e Hayman 1970).

- *Avaliação da taxa de colonização micorrízica*. O cálculo da porcentagem de colonização micorrízica foi feito pelo método da intersecção (Mcgonigle *et al.* 1990), usando um microscópio com ocular milimétrica de 100µm e aumento de 16 vezes e uma lente objetiva com aumento de 10 vezes. Cada fragmento de raiz foi observado em todo seu comprimento de 100 em 100µm, e registrados o número de campos onde havia presença ou ausência de qualquer estrutura da micorriza arbuscular (hifas, arbúsculos, vesículas, esporos, células auxiliares, esporocarpos) nas interseções como positivo.

As porcentagens de colonização micorrízica foram calculadas pela equação:

$$\text{Porcentagem de colonização} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de campos positivos}^*}{\text{N}^\circ \text{ de campos totais}} \times 100$$

- *Extração e quantificação de esporos.* O método utilizado para a extração, contagem e montagem de esporos com Polivinil Lactoglicerol (PVLG) foi o proposto por Gerdemann & Nicolson (1963), modificado por Sieverding (1991). Foram suspensos 10g da amostra do solo num Beaker de 250 ml para cada um das 180 amostras compostas, adicionando aproximadamente 100 ml de água. Agitando constantemente com ajuda de um sheaker por 15 minutos. Logo o solo foi lavado com água corrente e passado por várias peneiras de diâmetro descendente, de 500, 250 e 38 μm , com a finalidade de separar os esporos mais limpos possíveis para logo fazer uma contagem. O material resultante na peneira de 38 μm foi vertido num tubo de centrífuga de 50 ml com 25 ml de água. Com uma seringa de 50 ml com mangueira rígida acoplada de 15 ml foi injetada a solução de sacarose 2M com Tween 2% ao tubo de centrífuga. Os tubos foram levados a uma centrífuga 2800 rpm durante 5 minutos. Cuidadosamente os tubos de centrífuga foram sacados para não romper a interfase água-sacarose. Toda a superfície da interfase foi recorrida com a ajuda de uma seringa. O conteúdo da seringa foi passado pela peneira menor e lavado no menor tempo possível para eliminar a sacarose. Numa placa de Petri foi colocado o conteúdo da peneira e observado no estéreo microscópico para realizar a contagem de esporos de fungos MA com ajuda de um contador de células. Finalmente, os esporos foram isolados e montados numa lamínula com PVLG.

3.4 DETERMINAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO (P), NITROGÊNIO (N) E CARBONO (C) NAS RAÍZES

* Número de campos onde aparecem as estruturas fúngicas (total da soma de colonização por hifas, arbusculos, vesículas, esporos, células auxiliares, esporocarpos).

Para as análises químicas, as raízes foram lavadas com água corrente, colocadas em sacos de papel identificados, secas na estufa a 60 °C e moídas. A determinação dos nutrientes nas raízes foi feita no Laboratório de Análises de Solos e Plantas da EMBRAPA - Amazônia Oriental. Foram determinados a percentagem de C orgânico os conteúdos dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg), pelo o método da digestão nitroperclórica para K e Ca. O conteúdo de Nitrogênio foi estimado pelo método semi-micro-Kjeldahl que têm como principio a transformação do nitrogênio amoniacal $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ em amônia (NH_3), a qual e fixada pelo acido bórico e posteriormente titulada com H_2SO_4 , ate nova formação de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ na presença de indicador de acido/base. O P foi estimado por espectrofotometria com azul de molibdênio e o C orgânico pelo método de Walkley-Black que têm como principio oxidar o carbono da matéria orgânica da amostra, é oxidada a CO_2 e o cromo (Cr) da solução extratora é reduzido da valência +3 (Cr^{+3}). Faz-se a titulação do excesso de bicromato de potássio pelo sulfato ferroso (EMBRAPA 1999).

3.5 ANÁLISES DAS CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DOS SOLOS

As amostras de solo foram secadas na estufa a 40 °C por tamisação. Além destorroadas. Foram determinadas as concentrações de P, Na, K, Fe, Zn, Mn, Cu foram determinadas mediante extração de Mehlich, o C (Carbono Orgânico) pelo método Oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico, empregando-se como fonte de energia o calor desprendido do ácido sulfúrico e/ou aquecimento. O excesso de dicromato após a oxidação é titulado com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal (sal de Morh). O Ca e Mg pelo extrator $\text{KCl } 1\text{ml.l}^{-1}$, H+Al com o extrator de acetato de cálcio $0,5\text{mol.L}^{-1}$ – pH 7,0. Outras características importantes do solo determinadas, foram a soma de bases trocáveis (SB), índice de saturação por bases (V), índice de saturação por alumínio (m), capacidade de troca catiônica efetiva (CTC- t), capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (CTC-T) e pH em água em uma relação 1:2,5. Também foram feitas análises físicas no solo mediante análises granulométrica das amostras (EMBRAPA, 1999).

3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para tabular os dados, foram calculadas as médias da porcentagem de colonização e das características físicas e químicas do solo e dos principais conteúdos de nutrientes nas raízes das árvores (SYSTAT 10.2). A normalidade dos dados das amostras de solo e raízes foi testada mediante o teste de Kolmogorov-Smirnov (SYSTAT 10.2), dando como resultado dados anormais os dados brutos de nutrientes nas raízes a exceção do Carbono (C) os quais foram normais, além disso, também o número de esporos e a porcentagem de colonização foram transformados com logaritmo natural, para serem normais. Os dados de solo não precisaram transformação. Análises de covariância (ANCOVA) foram aplicadas para observar as diferenças na porcentagem de colonização entre as famílias em cada local, e as diferenças da porcentagem nos indivíduos arbóreos entre os três locais, usando nível de significância 5% pelo teste de Tukey. Este tipo de análise foi usado já que as variáveis locais e famílias encontram-se variando juntas.

Também foram feitas Análises de Covariância (ANCOVA), para observar as diferenças no conteúdo de Fósforo (P), Carbono (C), Nitrogênio (N), nas raízes das árvores das três famílias para cada um dos três locais, e as diferenças dos conteúdos desses nutrientes nas raízes dos indivíduos arbóreos para cada local. Para observar a diferença do número de esporos encontrados em cada local foi feita Análise de Variância (ANOVA). Para observar a influência da porcentagem de colonização sobre a relação dos conteúdos dos nutrientes nas raízes e o conteúdo dos nutrientes do solo, foram feitas correlações parciais. As correlações de Spearman foram utilizadas para observar a influência dos nutrientes do solo sobre a colonização das raízes das plantas arbóreas. Foram feitas regressões simples para observar a influência da composição físico-química do solo sobre o número de esporos dos FMA.

4 RESULTADOS

4.1 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO NOS LOCAIS DE ESTUDO

Em geral, as propriedades físico-químicas dos solos nos três locais mostraram que todos podem ser classificados como de baixa fertilidade, muito pobres em nutrientes essenciais. Em relação à composição química do solo (Tabela 1), o conteúdo de C do solo foi significativamente diferente ($p < 0,002$) nos três locais. O solo da Reserva Cueiras apresentou a maior média no teor de C do solo (28 g. kg^{-1}), enquanto os solos da Estação Zafire menor conteúdo de C (22 g. kg^{-1}). O conteúdo de N no solo da Estação Zafire foi menor (1,6 %), significativamente diferente ($p < 0,001$) dos solos da Reserva Cueiras e da Estação Jenaro H., que apresentaram médias similares (2 %). Nos três locais os conteúdos de P no solo foram significativamente diferentes ($p < 0,023$), com o solo da Reserva Cueiras tendo a média mais baixa (2 mg. dm^{-3}), e a Estação Jenaro H., a mais alta (6 mg. dm^{-3}). Outras características químicas dos solos nos três locais também foram analisadas (Tabela 1). O pH dos solos é igualmente ácidos nos três locais. Os conteúdos de K no solo dos três locais foram significativamente diferentes ($p < 0,001$) entre si, a média mais alta ocorreu na Estação Jenaro H. (30 mg. dm^{-3}), e a mais baixa na Reserva Cueiras (19 mg. dm^{-3}). Os conteúdos de Al no solo foram significativamente diferente nos três locais ($p < 0,001$), com menores valores na Reserva Cueiras ($1,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e maiores na Estação Jenaro H. ($3,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Os conteúdos de Zn e Cu nos solos foram significativamente diferentes nos três locais ($p < 0,001$). Também, o índice de saturação por alumínio – m (%), H+AL, a capacidade de troca catiônica efetiva – CTC (t) e a capacidade de troca catiônica a pH 7,0 – CTC (T) foram significativamente diferente ($p < 0,001$) (Tabela 1).

Na composição granulométrica do solo (Tabela 2), os três locais apresentaram diferença significativa ($p < 0,001$) entre si. O solo da Reserva Cueiras mostrou uma média de 18,6 % de areia total, com o menor teor de areia entre os três locais. Os teores de Argila foram significativamente diferentes ($p < 0,001$) entre os três locais (Tabela 2), com solos menos argilosos na Estação Zafire (14%), e mais argilosos na Reserva Cueiras (52 %).

Tabela 1. Composição química dos solos dos três locais de estudo. Os valores são média e desvio-padrão de n=60 amostras.

Local	gl	pH	C	N	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	m	V	Fe	Zn	Mn	Cu
	H ₂ O		g. kg ⁻¹	%	%	-----	mg. dm ⁻³	-----	-----	-----	-----	cmol _c .dm ⁻³	-----	-----	%	-----	-----	-----	-----	mg. dm ⁻³

R. Cueiras	2	4 ^d ±0,3	28 ^b ±6	2 ^b ±0,3	2 ^c ±6	19 ^a ±4	8 ^b ±3	0,1 ^d ±0,04	0,1 ^d ±0,03	2 ^a ±0,3	9 ^a ±2	0,2 ^d ±0,07	2 ^a ±0,4	10 ^a ±2	3 ^b ±1	87 ^d ±3	326 ^a ±112	0,6 ^a ±0,2	1 ^d ±0,3	0,2 ^a ±0,04
E. Zafire	2	4 ^d ±0,2	22 ^b ±9	1,6 ^a ±1	5 ^c ±8	26 ^a ±9	3 ^b ±1	0,1 ^d ±0,02	0,1 ^d ±0,02	3 ^a ±1,0	12 ^b ±3	0,2 ^d ±0,06	3 ^b ±1,0	12 ^b ±4	4 ^a ±12	93 ^d ±3	356 ^a ±247	1 ^b ±0,4	1 ^d ±0,7	0,5 ^b ±0,3
E. Jenaro H.	2	4 ^d ±0,2	26 ^b ±11	2 ^b ±0,4	6 ^c ±2	30 ^a ±9	2 ^a ±1	0,1 ^d ±0,07	0,1 ^d ±0,06	4 ^a ±0,5	14 ^b ±3	0,3 ^d ±0,11	4 ^b ±0,5	14 ^b ±3	2 ^a ±1	93 ^d ±3	396 ^a ±193	1 ^b ±0,3	1 ^d ±0,3	0,4 ^b ±0,1
Erro			177																	

SB=Soma de bases trocáveis, V= Índice de saturação por bases (100. SB/T), m=Índice de saturação por alumínio (Al³⁺/SB+H⁺), CTC (t - cmol_c.dm⁻³) = Capacidade de troca catiônica efetiva, CTC (T- cmol_c.dm⁻³) = Capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (SB+H⁺+Al³⁺). *= nível de significância (p<0,05). a = (p<0,001), b=(p<0,002), c=(p<0,023), d= sem diferença significativa.

Tabela 2. Composição granulométrica do solo dos três locais. Os valores são média e desvio-padrão de n=60 amostras.

Local	gl	Areia %			Silte %	Argila Total%
		Grossa	Fina	Total		
R. Cueiras	2	13,8±4,8	4,7±2,1	18,5±6,8 ^a	29,5±9,2 ^b	51,6±8,9 ^a
E. Zafire	2	23,3±13,9	35,7±5,7	59,0±14,7 ^b	27,5±10,3 ^b	13,9±5,4 ^a
E. Jenaro H.	2	15,1±5,1	37,1±8,0	58,5±50,6 ^b	27,9±7,9 ^b	20,4±6,6 ^a
Erro	177					

*= nível de significância ($p < 0,05$), a = com diferença significativa ($p < 0,001$), b= sem diferença significativa.

4.2 CONTEÚDO DE NUTRIENTES NAS RAÍZES DOS INDIVÍDUOS DAS FAMÍLIAS ARBÓREAS: LECYTHIDACEAE, SAPOTACEAE E BURSERACEAE

O conteúdo dos principais nutrientes P, C, N nas raízes das árvores das três famílias apresentam variações tanto entre os locais como entre as famílias em cada area (Figura 3).

Os conteúdos de C nas raízes das árvores apresentaram diferença significativa ($p < 0,001$) entre os locais para as famílias Lecythidaceae com um valor médio na E. Zafire (43,13 g kg⁻¹), menor que nos outros dos locais onde a média foi de 47 g kg⁻¹. Na família Sapotaceae, os conteúdos de C nas raízes foram maiores na Reserva Cueiras (média de 48 g kg⁻¹) que nos outros dois locais (Tabela 3). Os conteúdos de C nas raízes das árvores da família Burseraceae foram os menores (44,25 g kg⁻¹) apresentando diferença significativa ($p < 0,001$) nos indivíduos da Estação Jenaro H. com os outros dois locais, (Tabela 3). Os conteúdos de N na família Lecythidaceae foram significativamente diferentes ($p < 0,001$), apresentando os menores valores baixos na Reserva Cueiras (6,6 g kg⁻¹). Nos outros dos locais os valores médios foram similares (8 g kg⁻¹) (Tabela 3). Na família Sapotaceae os conteúdos de N foram significativamente diferentes ($p < 0,001$) entre os três locais tendo o menor valor na Reserva Cueiras (6 g kg⁻¹) e os maiores na Estação Jenaro H. (10,6 g kg⁻¹). Os conteúdos de N nos indivíduos da família Burseraceae foram significativamente diferentes entre os locais ($p < 0,001$), a Reserva Cueiras apresentou a menor média (3,6 g kg⁻¹), a Estação Jenaro H. a maior (6,5 g kg⁻¹) (Tabela 3). Os conteúdos de P nos indivíduos das famílias Lecythidaceae, Sapotaceae e Burseraceae foram diferentes ($p < 0,001$) entre os três locais (Tabela 3). Entretanto, também houve diferença significativa entre as famílias ($p < 0,037$) entre os indivíduos arbóreos (Tabela 3). Por exemplo, na Reserva Cueiras ocorreram os menores valores médios em raízes de Lecythidaceae (0,1g kg⁻¹), Sapotaceae (0,08g kg⁻¹),

Burseraceae (0,09 g kg⁻¹) e na Estação Jenaro H., os maiores (Lecythidaceae (0,30g kg⁻¹), Sapotaceae (2,24 g kg⁻¹), Burseraceae (0,24g kg⁻¹). Na Estação Zafire a média do conteúdo de P nas três famílias foram similares (0,16 g kg⁻¹) (Tabela 3).

Os conteúdos de Ca nas raízes dos indivíduos arbóreos das três famílias arbóreas, apresentaram diferenças significativas ($p < 0,012$) entre os três locais (Tabela 3). Também os conteúdos de Ca nas raízes dos indivíduos arbóreos apresentaram diferenças significativas ($p < 0,001$) entre as três famílias. Os conteúdos de Mg nas raízes dos indivíduos arbóreos apresentaram diferenças significativas ($p < 0,001$) entre os locais e entre as três famílias amostradas (Tabela 3). A Reserva Cueiras apresentou os menores valores médios de Mg (Lecythidaceae e Sapotaceae (0,4 g kg⁻¹), Burseraceae (0,61 g kg⁻¹). Entretanto na Estação Zafire as médias variaram para cada família (Tabela 3), (0,64 g kg⁻¹ para Lecythidaceae, 0,81 g kg⁻¹ Sapotaceae e 1,44 g kg⁻¹ Burseraceae); na Estação Jenaro Herrera as médias para Lecythidaceae e Burseraceae foram similares (0,73 g kg⁻¹) porém maiores do que para Sapotaceae (0,40 g kg⁻¹) (Tabela 3).

Tabela 3. Conteúdos de nutrientes nas raízes das árvores das famílias arbóreas (Lecythidaceae, Sapotaceae e Burseraceae) amostradas em nas áreas de estudo (Reserva Cueiras, Estação Zafire e Estação Jenaro H.). Os valores são média e desvio-padrão de n=60 indivíduos.

Local	gl	C	N	P	K	Ca	Mg	
		g. kg ⁻¹			g. kg ⁻¹			%
Lecythidaceae								
R. Cueiras	2	47,21±1,75 ^d	6,6±2,4 ^a	0,1±0,05 ^a	0,98±0,95 ^a	1,4±0,78 ^b	0,4±1,7 ^a	
E. Zafire	2	43,13±2,11 ^a	7,61±2,61 ^d	0,16±0,04 ^c	2,3±7,5 ^d	0,63±0,30 ^a	0,64±0,40 ^a	
E. Jenaro H.	2	47,84±2,21 ^d	7,86±1,30 ^a	0,30±0,11 ^a	2,39±0,82 ^d	1,10±0,40 ^b	0,73±0,15 ^a	
Sapotaceae								
R. Cueiras	2	48,09±1,85 ^a	5,68±1,25 ^a	0,08±0,02 ^a	0,74±0,22 ^a	0,98±0,86 ^a	0,4±0,2 ^a	
E. Zafire	2	46,54±3,13 ^d	9,66±2,25 ^a	0,16±0,05 ^c	2,75±1,14 ^d	1,42±0,96 ^b	0,81±0,46 ^a	
E. Jenaro H.	2	45,04±2,23 ^d	10,61±2,80 ^a	2,24±0,10	1,99±0,57 ^d	0,64±0,43 ^b	0,40±0,27 ^a	
Burseraceae								
R. Cueiras	2	46,17±2,31 ^d	3,59±1,34 ^a	0,09±0,01 ^a	0,93±0,28 ^a	2,11±0,88 ^d	0,61±0,27 ^a	
E. Zafire	2	47,41±3,67 ^d	5,33±1,26 ^d	0,18±0,06 ^c	3,65±1,29 ^d	2,58±1,71 ^d	1,44±0,92 ^a	
E. Jenaro H.	2	44,25±2,43 ^a	6,53±1,61 ^a	0,24±1,61 ^a	1,90±0,68 ^d	1,59±0,71 ^b	0,73±0,24 ^a	
Erro	177							

*= nível de significância ($p < 0,05$). a = ($p < 0,001$), b = ($p < 0,012$), c = ($p < 0,037$), d=sem diferença significativa ($p > 0,05$).

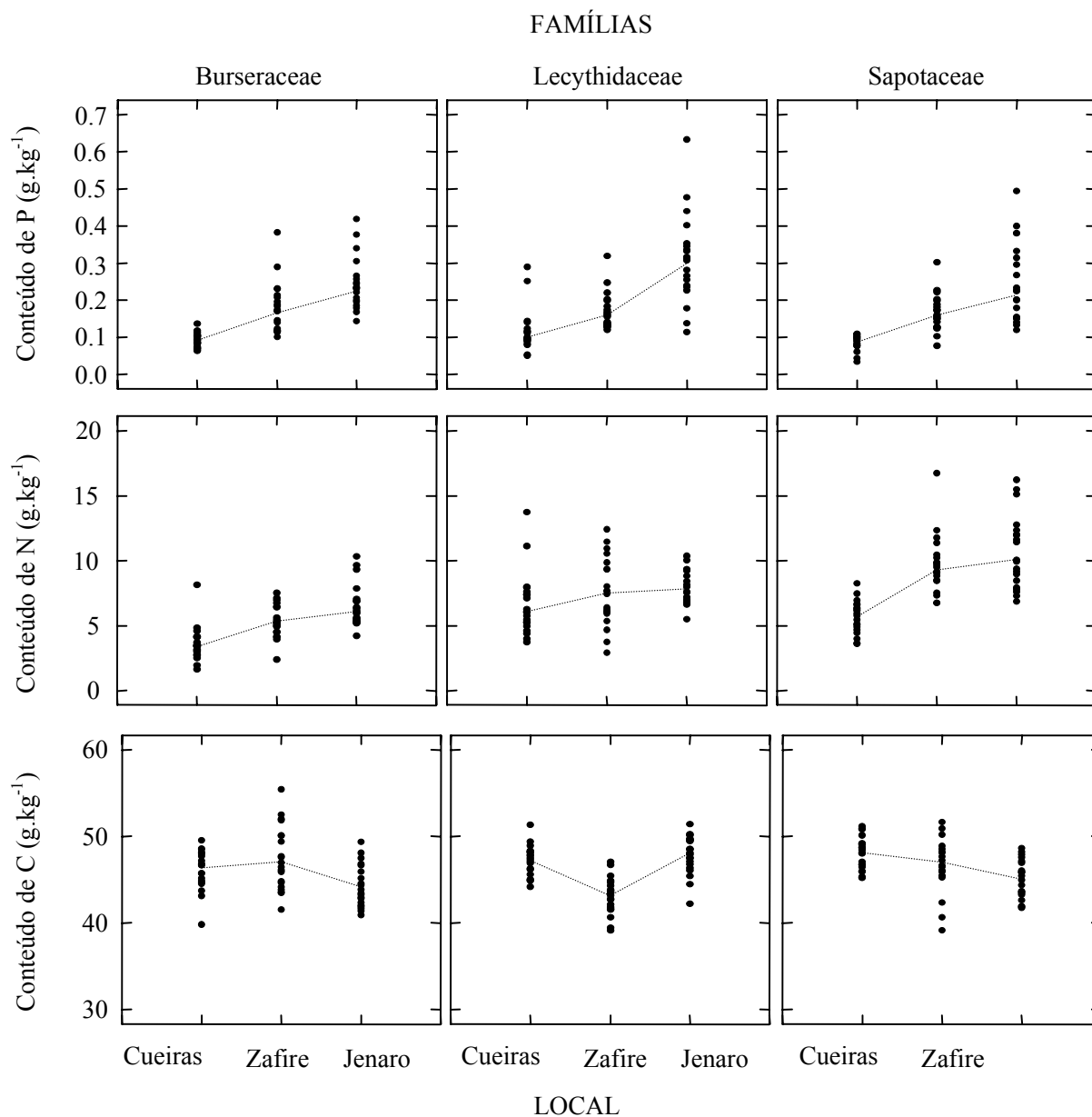


Figura 3. Conteúdo dos principais nutrientes P (g.kg⁻¹), N (g.kg⁻¹), C (g.kg⁻¹), nas raízes dos indivíduos arbóreos (das famílias Lecythidaceae, Sapotaceae e Burseraceae) nas três áreas de estudo (Reserva Cueiras, Estação Zafire e Estação Jenaro H.). As linhas tracejadas indicam os valores médios. n=60 indivíduos.

4.3 TAXA DE COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA NAS RAÍZES DAS ÁRVORES DAS TRÊS FAMÍLIAS EM CADA AREA

Não houve diferença nas taxas de colonização micorrízica nem entre famílias nem entre locais, apresentando similares valores médios (36%) nos três locais (Tabela 4).

Tabela 4. Taxa de colonização micorrízica nas raízes das árvores das três famílias arbóreas Lecythidaceae, Sapotaceae e Burseraceae nas três áreas de estudo (Reserva Cueiras, Estação Zafire e Estação Jenaro H.). Os valores são a media e desvio-padrão de n=60 indivíduos.

Locais	gl	Famílias		
		Lecythidaceae	Sapotaceae	Burseraceae
R. Cueiras	2	35±9,1 ^d	37±9,2 ^d	38±9,8 ^d
E. Zafire	2	36±8,2 ^d	35±8,0 ^d	35±6,8 ^d
E. Jenaro H.	2	35±9,8 ^d	36±11,4 ^d	36±13,9 ^d
Erro	177			

*= nível de significância ($p<0,05$). a = ($p<0,001$), d=sem diferença significativa ($p>0,05$).

Para observar se as micorrizas arbusculares nativas das florestas dos três locais estariam influenciando as relações solo-planta dos principais nutrientes, entre outros, foram realizadas correlações parciais entre os conteúdos dos nutrientes do solo e os das raízes. A essa relação foi incluída a taxa de colonização efetuando uma nova correlação para observar a influência desta terceira variável sobre as duas primeiras (o conteúdo de nutrientes do solo e o das raízes).

Assim, apenas na Estação Zafire os conteúdos de C do solo e das raízes dos indivíduos arbóreos foram correlacionados ($p<0,002$). A taxa de colonização micorrízica não apresentou influência sobre a correlação, já que o nível de significância não mudou depois da primeira relação (Tabela 5). Os conteúdos de N e P nos solos e nas raízes não apresentaram correlação e também não foram influenciados pela taxa de colonização. Outros nutrientes como os conteúdos de K e de Ca dos solos e das raízes apresentaram correlações ($p<0,001$), mas a taxa de colonização micorrízica não influenciou as correlações (Tabela 5).

Por outro lado, na Reserva Cueiras e na Estação Jenaro H. os conteúdos de C, N, P, K, Ca, e Mg do solo e das raízes dos indivíduos arbóreos não foram correlacionadas e também não houve influência da taxa colonização micorrízica sobre a absorção desses nutrientes (Tabela 5).

Tabela 5. Correlação parcial da taxa de colonização micorrízica sobre a relação entre os nutrientes dos solos e das raízes, nas áreas de estudo (Reserva Cueiras, Estação Zafire e Estação Jenaro H.). n=60 árvores.

	C	N	P	K	Ca	Mg
	----- g kg-1 -----	----- g kg-1 -----	----- g kg-1 -----	----- g kg-1 -----	----- g kg-1 -----	%
Reserva Cueiras						
rXY	0,021	0,159	-0,092	0,051	0,012	0,012
p<0,05 (rXY)	0,872	0,225	0,484	0,696	0,928	0,928
rXY.Z	0,026	0,180	-0,094	0,051	0,015	0,015
p<0,05 (rXY.Z)	0,841	0,171	0,475	0,700	0,911	0,911
Estação Zafire						
rXY	0,391	-0,238	0,109	0,399	0,412	-0,008
p<0,05 (rXY)	0,002 ^b	0,066	0,405	0,001 ^a	0,001 ^a	0,948
rXY.Z	0,394	-0,243	0,108	0,405	0,421	-0,000
p<0,05 (rXY.Z)	0,002 ^b	0,064	0,415	0,001 ^a	0,001 ^a	0,997
Estação Jenaro Herrera						
rXY	-0,166	0,229	0,176	0,216	0,151	-0,058
p<0,05 (rXY)	0,204	0,077	0,178	0,097	0,250	0,659
rXY.Z	-0,167	0,236	0,174	0,213	0,153	-0,054
p<0,05 (rXY.Z)	0,205	0,071	0,187	0,105	0,245	0,680

X=Conteúdo do nutriente nos solos, Y= Conteúdo do nutriente nas raízes das árvores, Z= % de Colonização micorrízica na planta. *= nível de significância ($p<0,05$), a= ($p<0,001$), b=($p<0,002$).

4.4 Influência da composição física e química do solo sobre número de esporos nos três locais

O número esporos foi diferente ($p<0,001$) entre os três locais (Figura 4). Os solos da Reserva Cueiras apresentaram os menores valores médios do número de esporos (26 esporos 10gr^{-1} solo), enquanto os solos da Estação Zafire e da Estação Jenaro Herrera apresentaram valores médios maiores e similares do número de esporos (42 esporos 10gr^{-1} solo).

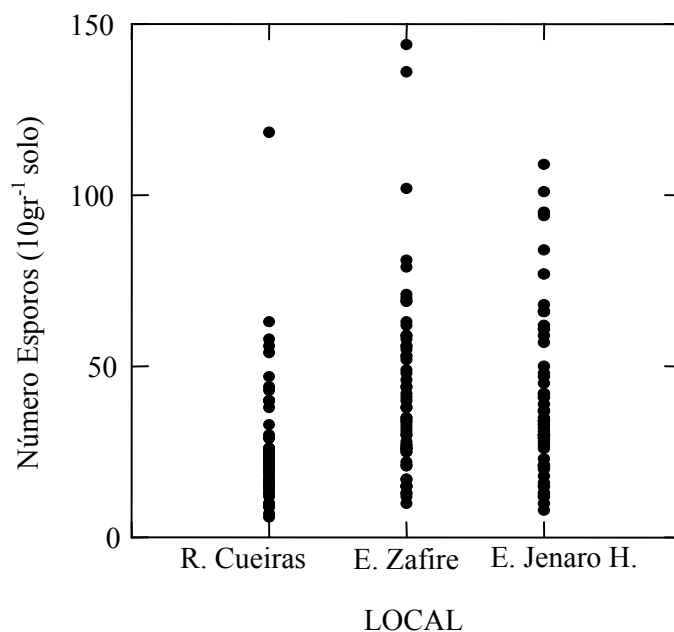


Figura 4. Número de esporos de FMA extraídos (10gr⁻¹ solo) nos três locais. n=60 amostras de solo.

O teor de areia fina na Estação Zafire foi à única variável que influenciou o número de esporos (Figura 5). As demais características físicas do solo não influenciaram a esporulação em nenhum dos locais estudados (Figura 5).

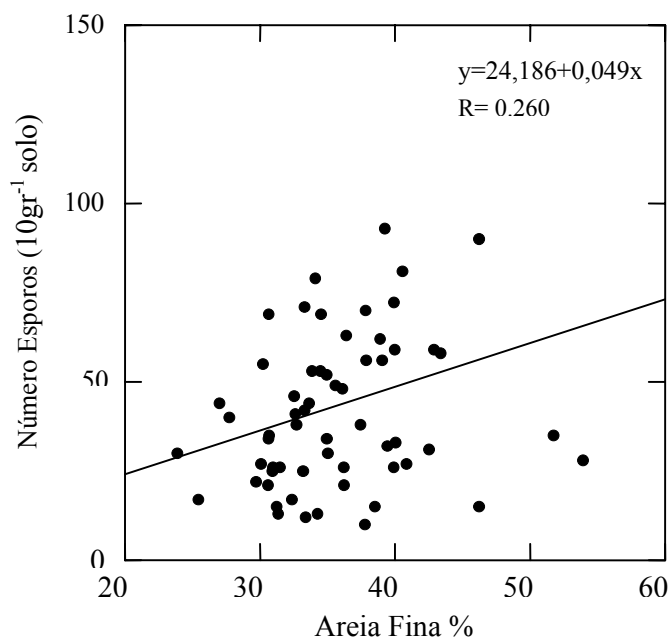


Figura 5. Relação entre a porcentagem de areia fina e o número de esporos na Estação Zafire. n=60 amostras de solo.

5 DISCUSSÃO

Em geral as propriedades físico-químicas dos solos nos três locais mostraram que todos podem ser classificados como de baixa fertilidade (Tabela 1). Os conteúdos de macro- e micro-nutrientes são baixos e os solos são argilosos e ácidos (Tabelas 1, 2). Ainda assim, algumas diferenças foram observadas entre os três locais. Por exemplo, os solos da Reserva Cueiras contêm mais C do às Estações Zafire e Jenaro Herrera. Embora os menores teores de N no solo estejam na Estação Zafire, nos outros dois locais o conteúdo de N esse teor foi muito próximo. Da mesma forma, os teores de P variaram nos três locais e aumentou no sentido leste-oeste do transecto. Igualmente, os conteúdos de K foram menores nos solos da Reserva Cueiras, aumentando no sentido leste-oeste nos outros dois locais. Portanto, os solos da Reserva Cueiras são os que têm menor fertilidade entre os três locais estudados, o que caracteriza maior limitação para a vegetação arbórea.

Estes resultados corroboram em parte os estudos em maior escala como o do RAINFOR (2002) e seus outros autores (Malhi *et al.*, 2002; Baker *et al.*, 2004; Phillips *et al.*, 2004; Ter Steege *et al.*, 2006), que mostraram as variações nas características dos solos no ecossistema Amazônico. Solos mais próximos aos Andes, a oeste, são mais férteis que os solos mais distantes, a leste da Amazônia (Van der Hammen & Hooghiemstra, 2000; Colinvaux *et al.*, 2000).

A variação na fertilidade do solo repercute na variação na absorção de nutrientes pela vegetação arbórea na escala leste-oeste. As diferenças entre as propriedades dos solos nos três locais induziram variações na assimilação dos principais nutrientes (P, C e N), entre os locais como entre as famílias em cada local. Na Reserva Cueiras, indivíduos arbóreos das três famílias (Lecythidaceae, Sapotaceae e Burseraceae) apresentaram os menores conteúdos nos principais nutrientes (C, N e P). Houve diferenças para a assimilação de outros nutrientes tais como o K, Ca e o Mg refletindo o uso de estratégias diversas pela vegetação arbórea para a assimilação de nutrientes. Os solos das Estações Zafire e Jenaro Herrera apresentaram maiores conteúdos de areia total com valores médios similares, enquanto que o solo da Reserva Cueiras teve maiores teores de argila com menores valores médios de areia (Tabela 2). É provável que os menores números de esporos de FMA nos solos da Reserva Cueiras estejam relacionados ao maior teor de

argila desse local, em contraste com os solos das outras Estações, mais arenosos. A argila pode afetar a permanência dos esporos dos fungos MA no solo, uma vez que tendem a conter poros muito finos, mais sujeitos à compactação (Arcos 2003, Peña-Venegas *et al.*, 2006). Adicionalmente, os solos da Estação Zafire e da Estação Jenaro Herrera apresentaram ter altos conteúdos de Al (Tabela 2), e este pode ser um fator limitante, é importante, para a produtividade das plantas em solos ácidos (Kochian, 1995), afetando cerca de 40% das terras cultiváveis (Siqueira *et al.*, 1986; Lambais & Cardoso, 1989; Bartolome-Esteban & Schenck, 1994; Siqueira, 1999). Portanto, apesar da alta acidez, não favorável às plantas (Tsai *et al.*, 2002), a presença dos fungos MA nos solos Amazônicos podem estar contribuindo para o desenvolvimento da vegetação arbórea (Siqueira, 1982). Neste estudo também se esperava evidenciar uma variação no grau de colonização micorrízica ao longo do sentido leste-oeste ao longo dos 1500 km, apresentando maior colonização onde os solos fossem menos férteis, pela sua estratégia em melhorar a absorção de nutrientes. Entretanto, isso não ocorreu. Todos os indivíduos foram similarmente colonizados pelos FMAs, e não houve diferenças significativas tanto entre os locais como entre as famílias arbóreas. É sabido que os FMA não têm especificidade com hospedeiros ao estabelecer a simbiose com uma planta (Schroeder & Janos, 2004; Bücking & Shachar-Hill, 2005; Kernaghan, 2005). Entretanto, possivelmente a principal razão para a ausência de significância na colonização micorrízica entre os locais esteja relacionada à escala abrangida no estudo, além disso não foi verificado as espécies de fungos que ocorrem nos três locais. A eficiência dos diferentes fungos pode ter contribuído para o estabelecimento das árvores. Deve-se considerar também que a contagem dos esporos, ou mesmo avaliação da porcentagem de raízes colonizadas pode não refletir a eficiência desses fungos.

Embora as propriedades do solo tenham variado entre os locais, os 1500 km do transecto ainda não alteraram significativamente a fertilidade solo, todos muito pobres em nutrientes, para mudar drasticamente a estratégia de captação de nutrientes pela vegetação arbórea, através das micorrizas. O transecto neste estudo, por razões de logística nos locais de estudo, ainda estavam em sua maior parte situado na Amazônia central/ocidental, não abrangendo as principais diferenças de fertilidade evidenciadas nos estudo do RAINFOR, cuja escala em distância é, no mínimo cinco vezes maior do que a deste estudo, incluindo ambos os extremos leste e oeste da região.

Ainda assim, a colonização das raízes dos indivíduos arbóreos das três famílias evidenciou que a associação micorrízica é uma estratégia amplamente utilizada na captação de nutrientes pela vegetação arbórea no ecossistema Amazônico, independentemente de algumas variações menores no conteúdo nutricional do solo (Sieviriding, 1999; St John, 1980; Powers, 2005).

Embora as relações solo-planta não tenham sido influenciadas pela colonização micorrízica apresentada, as características dos solos mostram que a presença das micorrizas arbusculares nas raízes das árvores são estratégias utilizadas pela vegetação arbórea na absorção do P. A correlação apresentada do conteúdo de K do solo e da planta pode estar contribuindo na absorção de P pelas árvores e na maioria das plantas da floresta também. Estudos mostraram que altas concentrações K estimulam o influxo do P no micélio da ectomicorriza *Pisolithus tinctorius* (Smith *et al.*, 1994).

Também os conteúdos de C do solo e das raízes das plantas mostraram correlações positivas na Reserva Zafire apenas (Tabela 5), indicando que pelos altos conteúdos de C apresentados nos solos a presença de micorrizas arbusculares nas raízes das árvores, esteja aproveitando o alto conteúdo para obter parte desse Carbono. Cerri *et al.* (1992) descreveu que as plantas são compostas com teores de até 60% de C e Jakobsen (2005) mostrou que o C é o principal nutriente limitante para o crescimento biotrófico de FMA. Desta forma, conteúdo abundante de C orgânico nas raízes das árvores nos três locais estaria beneficiando o estabelecimento da associação micorrízica, provável razão pela ausência da variação da taxa de colonização micorrízica entre os locais e entre as famílias em cada um dos três locais (Smith & Gianinazzi-Pearson, 1988; Schwab *et al.*, 1991; Godbold *et al.*, 2006). Adicionalmente, as diferenças apresentadas no conteúdo de C nas raízes das árvores entre os três locais, poderiam ser atribuídas ao acúmulo de C na planta ao estar influenciadas pelas mudanças ambientais globais (Norby, 2000; Lewis *et al.*, 2004). As excessivas emissões de CO₂ na atmosfera incrementam a taxa fotossintética, estimulam o crescimento das árvores (Baker, 2004) e apresentam impactos significativos nos estoques de C nas florestas Amazônicas (Phillips *et al.*, 2004).

6 CONCLUSÕES

- As diferenças apresentadas nos indivíduos de cada família arbórea (Lecythidaceae, Sapotaceae e Burseraceae) na assimilação dos principais nutrientes (P, C e N) e também nos conteúdos de K, Ca e Mg., entre cada um dos três locais (Reserva Cueiras, Estação Zafire e Estação Jenaro Herrera), reflete a variação dos solos ao longo de 1500 km no sentido leste-oeste.
- Não houve diferença nas taxas de colonização micorrízica entre as famílias (Lecythidaceae, Sapotaceae e Burseraceae) e entres os locais de estudo (Reserva Cueiras, Estação Zafire e Estação Jenaro Herrera), com uma taxa de colonização moderada (média de 36%) nos três locais diferente ao que se esperava ter pela baixa fertilidade do solo ao longo de todo o transecto.
- Não teve diferença na relação entre os principais nutrientes do solo e das raízes e a taxa de colonização dos FMAs não apresentou influência sobre essas relações, porém os FMA estariam contribuindo na absorção do P da vegetação arbórea do ecossistema Amazônico.
- A baixa disponibilidade de nutrientes dos solos pode explicar a presença das micorrizas arbusculares nas raízes das árvores, sendo a simbiose uma estratégia utilizada pela vegetação arbórea para obter P.
- Os solos das Estações Zafire e Jenaro Herrera apresentaram altos conteúdos de Al, que poderia ser um fator limitante da produção de plantas em solos ácidos. Entretanto, a associação micorrízica contribuiria a tamponar os efeitos danosos do excesso de alumínio no solo.
- Similarmente, a associação das plantas com os FMAs contribuem para aumentar sua tolerância à acidez dos solos da região Amazônica, comum aos três locais estudados.
- A escala e posição geográfica usadas neste estudo apresentam variações em algumas propriedades dos solos nos locais, e elas não foram suficientes para alterar a utilização dos FMA pela vegetação arbórea como estratégia de captação de nutrientes na floresta Amazônica.

- Os resultados acima permitem concluir que embora a escala e posição geográfica usadas neste estudo apresentem variações em algumas propriedades dos solos nos vários locais, elas não foram suficientes para alterar a utilização das micorrizas arbusculares como estratégia de captação de nutrientes pelas plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves da Silva, G.; Barbosa da Silva, S.; Fernandes, P. 2001. Potencial de infetividade de fungos micorrizicos arbusculares oriundos de área de caatinga nativa e degradada por mineração, no estado de Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**. 24 (2): 135-143.
- Anderson, J. M.; Ingram, J. I. 1993. **Tropical Soil Biology and Fertility**. A Hanbook of Methods. 2ª. Ed. C. A. B. International, Oxford, UK, 221.
- Amaral, I.I. 1996. **Diversidade florística em floresta de terra firme, na região de rio Urucu – Amazonas, Brasil**. 1996. 121f. Dissertação, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas, Manaus.
- Arcos, A. L. 2003. Distribuição da associação micorrízica arbuscular em ecossistemas naturais e intervindos. Aspectos ambientais para o ordenamento territorial do Trapézio Amazônico. **Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC-**.
- Arines, J. 1991. Aspectos físico-químicos de la fijación y movilización biológica en nutrientes en el suelo y su incidencia en la formación y efectos de las micorrizas VA. En: Olivares, J. And Barea, J. M. (Cordinadores): Fijación y movilización biológica de nutrientes. Vo. II. (Fijación de N y Micorrizas). **Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid**. 203-220.
- Aristizabal, C.; Rivera, E.; Janos, D. 2004. Arbuscular mycorrhizal fungi Colonize decomposing leaves of *Myrica parrifolia*, *M. pubescens* and *paellanthus sp*. **Mycorrhiza**. 14: 221-228.
- Barea, J. M. 2001. **Departamento de Microbiologia do Solo e Sistemas Simbióticos**. Estação experimental do Zaidín, CSIC, Profesor Albareda 1, 18008 Granada, Espana.
- Bever, J. D. 1994. Feedback between plants and their soil communities in an old field community. **Ecology**. 75: 1965-1977.
- Baker, T. R., Phillips, O. L., Malhi, Y., Almeidas, S., Arroyo, L., Di fiore, A., Erwin, T., Killen, T. J., Laurence, S. G., Laurance, W. F., Lewis, S. L., Lloyd, J., Monteagudos, A., Neill, D. A., Patiño, S., Pitman, N. C. A, Silva, J. M. A., Vázquez M., R. 2004. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. **Global Change Biology**. 10: 545-562.

- Brundrett, M. C. 1991. Mycorrhizas in natural ecosystems. In: MacFayden, A.; Begon, M.; Fitter, A. H.; (eds) **Advances in ecological research. Academic Press, London**, 21171-313.
- Bücking, H.; Shachar-hill, Y. 2005. Phosphate uptake, transport and transfer by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* is stimulated by increased carbohydrate availability. **New Phytologist**. 165: 899-912.
- Caproni, A. L., Franco, A. A., Berbara, R. L., Dantas de Oliveira, J. R., Marinho, N. F. 2005. Fungos micorrízicos arbusculares em estéril revegetado com *Acacia mangium*, após mineração de bauxita. **Revista Árvore**. 29: 373-381.
- Cerri, C. C., Andreux, F., Eduardo, P. B. 1992. O Ciclo do Carbono no Solo. **Microbiologia do Solo**. 74-90.
- Clark, D. B.; Clark, D. A. 2000. Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest. **Forest Ecology Manage**. 137: 185-198.
- Clark, J. S.; Macklin, E.; Wood, L. 1998. Stages and spatial scales of recruitment limitation in southern Appalachian forests. **Ecology Monografia**. 68: 213-235.
- Colinvaux, P.A., De Oliveira, P.E., Bush, M.B. 2000. Amazonian and neotropical plant communities on glacial time-scales: The failure of the aridity and refuge hypotheses. **Quaternary Science Reviews**. (19) 141:169.
- Cornelissen, J.; Aerts, R.; Cerabolini, B.; Werger, M.; Van der Heijden, M. 2001. Carbon cycling traits of plant species are linked with mycorrhizal strategy. **Oecologia**. 129:611-619.
- Dias-Júnior, H. E., Moreira, F. M. S. Siqueira, J. O., Silva, R. 1998. Metais pesados, densidade e atividade microbiana em solo contaminado por rejeitos de indústria de zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa (22): 63-640.
- Edmisten, J. 1970. Survey of micorrhiza and nodules in the El Verde Forest, Chapter f-2: f15-f20. In: Odum, H. T. ed **A Tropical Rain Forest**. USAFC.
- Egerton-Warburton, L. M.; Allen, E. B. 2000. Shifts in arbuscular mycorrhizal communities along an anthropogenic nitrogen deposition gradient. **Ecology Application**. 10: 484-496.
- Embrapa. 1997. **Centro Nacional de Pesquisa de solos**. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2ª ed. Rio de Janeiro, RJ. (EMBRAPA – CNPS). 212.

- Embrapa. 1999. **Centro Nacional de Pesquisa de solos**. Manual de Métodos de Análise de Solos, Plantas e Fertilizantes. Brasília, DF. (EMBRAPA – CNPS). 212.
- Fuchs, B.; Haselwandter, K. 2004. Red list plants: Colonization by arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes. **Mycorrhiza**. 14: 277-281.
- Gai, J. P., Christie, P., Feng, G., LI, X. L. 2005. Twenty years of research on biodiversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in China: a review. **Mycorrhiza**.
- Gehring, C. A. 2003. Growth responses to arbuscular mycorrhizae by rain forest seedlings vary with light intensity and tree species. **Plant Ecology**. 167: 127 - 139.
- Gehring, C. A., Connell, J. H. 2005. Arbuscular mycorrhizal fungi in the tree seedlings of two Australian rain forests: occurrence, colonization, and relationships with plant performance. **Mycorrhiza**. 16: 89-98.
- Gerdemann, J. & T. Nicolson. 1963. Spores of Micorrhizal Engonone Species Extracted from soil by wet Sieving and Decanting. **Transaction of the British Mycological Society**. 1963. 46 (2): 235-244.
- Gianinazzi-Pearson, V. & C. Azcón-Aguilar. 1991. Fisiología das Micorizas Vesículo-Arbusculares. Fixação e Mobilização Biológica de nutrientes. **Conselho Superior de Investigações Científicas**. Madrid. (2) 175-192.
- Godbold, D., Hoosbeek, M., Lukac, M., Cotrufo, M. F., Janssens, I. A., Ceulemans, R., Polle, A., Velthorst, E. J., Scaracia-Mugnozza, G., DE Angelis, P., Miglietta, F., Peressotti, A. 2006. Mycorrhizal hyphal turnover as a dominant process for carbon input into soil organic matter. **Plant and Soil**. 281: 15-24.
- Godoi, S. and Takaki, M. 2004. Effects of light and temperature on seed germination in *Cecropia hololeuca* Miq. (Cecropiaceae). **Brazilian Archives of Biology and Technology**. (47) 185-191.
- Govindarajulu, M.; Pfeffer, P. E.; Jin, H; Abubaker, J.; Douds, D.; Allen, J. W.; Bücking, H.; Lammers, P.; Shachar-Hill, Y. 2005. Nitrogen transfer in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Nature**. (435) 819-824.
- Goto, B. T., Costa M., L. 2005. Sporocarpic species of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota), whit a new report from Brazil. **Acta Botanica Brasilica**. 19(3): 633-637.

Hart, M., Klironomos, JN. 2002. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and ecosystem functioning. In: van der Heijden MGA, Sanders IR, eds. **Mycorrhizal ecology**. Heidelberg, Germany: Springer Verlag. 225–242.

Houghton, R.A.; Skole, D.L.; Nobre, C.A.; Hackler, J.I.; Lawrence, K.T.; Chomentowski, W.H. 2000. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. **Nature**. 403-301-304.

Husband, R.; Herre, E. A.; Turner, S. L.; Gallery, R.; Young, J. P. M. 2002. Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and patterns of host association over time and space in a tropical forest. **Molecular Ecology**. 11: 2669-2678.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONÍA PERUANA-IIAP. Disponível em: <http://www.iiap.org.pe/ci_jenaro.htm> Acesso em: 10 fev. 2006.

INTERNATIONAL CULTURE COLLECTION OF (VESICULAR) ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI. Disponível em: <<http://invam.caf.wvu.edu/index.html>>. Acesso em: 5 fev. 2006/13 Febrero 2007.

Janos, D. P. 1980. Mycorrhizae influence tropical succession. **Biotropica**. 12: 56-64.

Janos, D. P. 1980b. Vesicular –arbuscular mycorrhizae affect lowland tropical rain Forest plant growth. **Ecology**. 61: 151-162.

Jansen, J.M.; 1897. Les endophytes radicaux de quelques plantes javanaiese. **Jardin Botanical Buitenzorg**. 14: 53-201.

John, ST. 1980. Uma lista de especies de plantas tropicais brasileiras naturalmente infectadas com micorriza vesicular-arbuscular. **Acta Amazônica**. 229-234.

Johnson, N. C. ;Graham, J. H. ; Smith, F. A. 1997. Functioning of mycorrhizal along the mutualism-parasitism continuum. **New Phytologist**. 135: 1-2.

Kelly, C. N., Morton J. B., Cumming. J. R. 2005. Variation in aluminum resistance among arbuscular mycorrhizal fungi. **Mycorrhiza**. 15: 193-201.

Kernaghan, G. 2005. Mycorrhizal diversity: Cause and effect? **Pedobiologia**. (49): 511-520.

- Kiers, E. T.; Lovelock, C. E.; Krueger, E. L.; Herre, E. A. 2000. Differential effects of tropical arbuscular mycorrhizal fungal inocula on root colonization and tree seedling growth: **Implications for Tropical Forest Diversity Ecology Lett.** (3): 106-113.
- Jakobsen, I. 2005. Hyphal fusion to plant species connections-giant mycelia and community nutrient flow. Em: *Commentary*. **New Phytologist**. 4-6.
- Kochian, L.V. 1995. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. **Annear Rev Plant Physiology Plant Molecular Biology**. (46): 237–260.
- Lambais M. R. & Cardoso E. J. B. N. 1989. Germinação de esporos e crescimento do tubo germinativo de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em diferentes concentrações de alumínio (Effects of aluminum on germination of spores and germ tube growth of VAM fungi). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. (13): 151–154.
- Laurance, W. F., M. A.; Cochrane, S.; Bergen. P. M.; Fearnside, P.; Delamônica, C.: Barber, S. d'Angelo, Fernandes, T. 2001. The future of the Brazilian Amazon: development trends and deforestation. **Science**. (291): 438-439.
- Lewis, L. S., Malhi, Y. AND Phillips, O. L. 2004. Fingerprinting the impacts of global change on tropical forests. **The Royal Society**.(359): 437-462.
- Lima Filho, D.A; Matos, F.D.A; Amaral, I.I; Revilla, J.: Coêlho, L.S.; Ramos, J. F.; Santos, J.L. 2001. Inventário florístico de floresta ombrófila densa de terra firme, na região do Rio Urucu-Amazonas, Brasil. **Acta Amazônica**. (31): 564-579.
- Lovelock, C. and Ewel, J. J. 2005. Link between tree species, symbiotic fungal diversity and ecosystem functioning in simplified tropical ecosystems. **New Phytologist**. (167): 219-228.
- Lovelock, C.; Wright, S.; Clark, D.; Ruess, R. 2004. Soils stocks of *glomalin* produced by arbuscular mycorrhizal fungi across tropical rain forest landscape. **Journal of Ecology** (92): 278-287.
- Lovelock, C.; Andersen, K.; Morton, J. 2003. Arbuscular mycorrhizal communities in tropical forests are affected by host tree species and environment. **Ecosystems Ecology**. 268-279.

- Nobre, C. A.; Sellers, P.; Shukla, J. 1991. Amazonian deforestation and regional climate change. **Journal of Climate**. (4): 957-988.
- Nogueira V., A. 1996. As Micorrizas e o excesso de metais. Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas. **Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência do Solo**. 290.
- Norby, R. & Jackson, R. B. 2000. Root dynamics and global change: seeking an ecosystem perspective. **New Phytologist**. (147): 3-12.
- Malhi, Y.; Phillips, O.L.; Lloyd, J.; Baker, T.; Wright, J.; Almeida, S.; Arroyo, L. Frederiksen, T.; Grace, J.; Higuchi, N.; Killeen, T.; Laurance, W.F.; Leão, C.; Lewis, S.; Meir, P.; Monteagudo, A.; Neill, D.; Núñez-Vargas, P.; Panfil, S.N.; Patiño, S.; Pitman, N.; Quesada, C.A.; Ruelas-LI.; A.; Salomão, R.; Saleska, S.; Silva, N.; Silveira, M.; Sombroek, W.G.; Valencia, R.; Vasquez, R.; Vieira I.C.G. & Vinceti, B. 2002. An international network to monitor the structure, composition and dynamics of Amazonian forests (RAINFOR). **Journal of Vegetation Science**. (13): 439-450.
- Mcgonigle, T.P., Miller, M. H. 1999. Winter survival of extraradical hyphae and spores of arbuscular mycorrhizal fungi in the field. **Applied Soil Ecology**. (12): 41 -50.
- Nóbrega, J. C., Lima, J.M., Curi, N., Siqueira, J.O., Ferreira Da Motta, P.E. 2001. Fosfato e micorriza na estabilidade de agregados em amostras de latossolos cultivados e não-cultivados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. (36): 1425-1435.
- Moreira, F. M. & Siqueira, J. 2002. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Lavras: Editora UFLA. 473-539.
- Oliveira, A. N., Amaral, I.L., Nobre, A.D., Couto, L.B., Sado, R.M. 2004. Composition and floristic diversity in one hectare of a upland forest dense in Central Amazonia, Amazonas, Brazil. Biodiversity and Conservation. **Acta Amazônica**. (34): 21-34.
- Onguene, N. A., Kuyper, T.W. 2001. Mycorrhizal associations in the rain forest of South Cameroon. **Forest Ecology and Management**. 277-287.
- Morton J. B. 1988. Taxonomy of VA mycorrhizal fungi: Classification, nomenclature and Identification. **Micotaxon**. 32: 267-324.
- _____. 1990a. Species and clones of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomales, Zygomycetes): their role in macro and microevolutionary processes. **Micotaxon**, 37: 493-515.

- _____. 1990b. Evolutionary relationships among arbuscular mycorrhizal fungi in the endogonaceae. **Mycologia**. 82: 192-207.
- Oliveira, A. N.; Amaral, I.L.; Nobre, A.D.; Couto, L.B.; Sado, R.M. 2003. Composition and floristic diversity in one hectare of a upland forest dense in Central Amazônia, Amazonas, Brazil. **Acta Amazônica**. (34): 21-34.
- Oliveira, A.A.; Mori, S. A. 1999. A central Amazonian terra firme forest. I. High tree species richness on poor soils. **Biodiversity and Conservation**. (8): 1219 – 1244.
- Oliveira, L. A.; Guitton, T. L.; Moreira, F. W. 1998. Correlationship Between Mycorrhizae infection and plant and soil nutrient contents in an Amazonian Ultisol. **Symposium No 33:2486**.
- Patreze, C. M., Cordeiro, L. 2004. Nitrogen-fixing and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbioses in some tropical legume trees of tribe Mimoseae. **Forest Ecology and Management**. 275-285.
- Peña-Venegas, C. P. 2001. Dinâmica da comunidade micorriza arbuscular em bosques da Amazonia Sur da Colômbia. **Revista Solos Equatoriais**. (31): 103-107.
- Peña-Venegas, C. P., Cardona, G., Mazorra, V. 2006. Micorrizas arbusculares da Amazônia Colombiana. Catalogo Ilustrado. **Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas-SINCHI**. 90.
- Philips, O. L. Baker, T. R., Arroyo, L., Higuchi, N., Killen, T. J., Laurance, W. F., Lewis, S. L., Lloyd, J., Malhi, Y., Monteagudo, A., Neill, A., Núñez Vargas, P., Silva, J. N. M., Terborgh, J., Vásquez Martínez, R., Alexiades, M., Almeida, S., Brown, S., Chave, J., Comiskey, J. A., Czimczik, C. I., Fiore, A. D., Erwin, T., Kuebler, C., Laurance, S. G., Nascimento, H. E. M., Olivier, J., Palacios, W., Patiño, S., Pitman, N., C., A., Quesada, C. A., Saldias, M., Torres Lezama, A. AND Vicenti, B. 2004. Pattern and process in Amazon tree turnover. **The Royal Society**. (359): 381-407.
- Philips, J.m. and Hayman, D.S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transaction of British Mycological Society**. (55): 158-161.
- Plenchette, C. & C. Morel. 1996. External phosphorus requirement of mycorrhizal and non-mycorrhizal barley and soybean plants. **Biology Fertility Soils**. (21): 303-308.

- Pouyú-Rojas, E.; Siqueira, J. O. 2000. Micorriza arbuscular e fertilização do solo no desenvolvimento pós-transplante de mudas de sete espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. (35): 103-114.
- Powers, J. S., Treseder, K. K., Lerdau, M. T. 2005. Fine roots, arbuscular mycorrhizal hyphae and soil nutrients in four neotropical rain forests: patterns across large geographic distances. **New Phytologist**. (165): 913-921.
- Prance, G. T.; Rodrigues, W. A.; Silva, M. F. 1976. Inventário florestal de um hectare de mata de terra firme, km 30 da estrada Manaus – Itacoatiara. **Acta Amazônica**. (6): 9-35.
- Quintero G. Y.; 1998. Curso básico para manejo de micorrizas arbusculares (MA) a nível e laboratorio e invernadero. Guia de Laboratório. **Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT**. Palmira – Valle (Colômbia).
- RAINFOR, 2005. Large lianas as hyperdynamic elements of the tropical forest canopy. **Ecology** 86: 1250-1258.
- RAINFOR, 2002. An International network to monitor the structure, composition and dynamics of Amazonian forests. **Journal of Vegetation Science**. (13): 439-450.
- Read, D. J. & Perez-Moreno, J. 2003 Mycorrhizas and nutrient cycling in ecosystems a journey towards relevance? **New Phytologist**. (157): 475-492.
- Redhead, J. F. 1968. Mycorrhizal associations in some Nigerian forest trees. **Transaction of British Mycological Society**. 51 (3): 377-387.
- Ribbens, E.; Silander, J., Pacala, S. W. 1994. Seedling recruitment in forests: Calibrating models to predict patterns of tree seedling dispersion. **Ecology**. 75: 1794-1806.
- Ricalde C., S. 2001. Some biological aspects of the arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). Universidad Autónoma Metropolitana-Iztalapa. **Agricultural University of Norway (NLIT)**. México. 67: 15-32.
- Ricalde C., S.; Dhillon, Shivcharn S.; Jiménez-Gonzalez, C. 2002. En: **Mycorrhizal perennials of the “matorral xerófilo” and the “selva baja caducifolia” communities in the semiarid Tehucán-Cuicatlán Valley, México**. 77-83.
- Rilling, M.; Wright, S.; Nichols, K.; Schmidt, W.; Torn, M. 2001. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. **Plant and soil**. 233: 167-177.

- Rilling, M. Steinberg, P. D. (2002). Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: a mechanism of habitat modification. **Soil Biology and Biochemistry**. (34): 1371-1374.
- Ruiz, P. O., Davey, C. B. Efectos del manejo de suelos de laderas em hongos formadores de micorrizas Arbusculares y em bacterias fijadoras de Nitrogenio en ultisoles sujetos a erosion pluvial en la Amazonia Peruana. **Ecología Aplicada**. (2): 87-92.
- Sánchez De Prager, M. 1995. Endomicorrizas en Agroecosistemas Colombianos. Generalidades de la Micorriza. Primera parte. **Universidad Nacional de Colombia**. Sede Palmira. 33-92.
- Shenck N. C. And Pérez Yvonne. 1990. **Manual for the Identification of VA Mycorrhizal Fungi**. Gainesville USA.
- Shi, Z. Y.; Chen, Y. L.; Feng, G.; Liu, R. J.; Christie, P. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with the Meliaceae on Hainan island, China. **Mycorrhiza**. (16): 81-87.
- Simon L., Bousquet J., Lévesque R. C. 1993. And Lalonde M. Origin in the diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. En: **Nature**. 363: 67-69.
- Schroeder, M. S., Janos, D. P. 2004. Phosphorus and intraspecific density alter plant responses to arbuscular mycorrhizas. **Plant and Soil**. (264): 335 – 348.
- Schwab, S. M., Menge, J. A., Tinker, P. B. 1991. Regulation of nutrient transfer between host and fungus in vesicular-arbuscular mycorrhizas. **New Phytologist**. (117): 387-398.
- Smith, S. E., Gianinazzi-Pearson, V., Koide, R., AND Cairney, J. W. G. 1994 Nutrient transport in mycorrhizas: structure, physiology and consequences for efficiency of the symbiosis. **Plant and Soil**. (159): 103-113.
- Siqueira, J. O., Saggin J., O. J., 2001. Dependency on arbuscular mycorrhizal fungi and responsiveness of some Brazilian native wood species. **Mycorrhiza**. (11): 245-255.
- Siqueira, J. O., Pouyú, E., Moreira, F. M. S. 1999. Micorrizas arbusculares no crescimento pós-plantio de mudas de árvores em solo com excesso de metais pesados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. (23): 569-580.
- Siqueira, J. O., Mahmud, A. W., Hubell, D. H. 1986. Comportamento diferenciado de fungos formadores de micorrizas vesiculo-arbusculares em relação à acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. (10): 1-16.

- Siqueira, J. O., Castro, H. A. 1982. Bio-extraction of metallic elements from alumínio-silicate by *Aspergillus*. **Revista Latinoamericana de Microbiologia**. (24): 265-269.
- Souza, R. G., Maia, L. C., Sales, M., Trufem, S. 2003. Diversidade e potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares em área de caatinga, na Região de Xingó, Estado de Alagoas, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**. (26): 49-60.
- Smith, S. E., Gianinazzi-Pearson, V. 1988. Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto. (39): 221-244.
- Smith, S.; Read, D. 1997. Mycorrhizal symbiosis, 2nd edn. Academic, London.
- Staddon, P.; Heinemeyer, A.; Fitter, A. 2002. Mycorrhizas and global environmental change: research at different scales. **Plant and Soil**. 244: 253-261.
- Stallard, R. F., Edmond, J.M. Geochemistry of the Amazon. 1981. 1. Precipitation chemistry and the marine contribution to the dissolved-load at the time of peak discharge. **Journal of Geophysical Research-Oceans and Atmospheres**. (86): 9844-9858.
- ST Clair., S., Lynch, J. P. 2004. Base cation stimulation of mycorrhization and photosynthesis of sugar maple on acid soils are coupled by foliar nutrient dynamics. **New Phytologist**. (165): 581-590.
- ST. John, T.V. 1980. Uma lista de espécies de plantas tropicais brasileiras naturalmente infectadas com micorriza vesicular-arbuscular. **Acta Amazônica**. (10): 229-234.
- Tsai, S. M., Baraibar, A. V. L., Romani, V. L. M. 1992. Efeito de fatores físicos e químicos sobre os microorganismos do solo umidade e aeração. **Microbiologia do Solo**. 60-71.
- Ter steege, H., Pitman, N. C. A., Phillips, O., Chave, J., Sabatier, D., Duque, A., Molino, J., Prévost, M., Spichiger, R., Castellanos, H. Von hildebrand, P., Vasquez, R. 2006. Continental-scale patterns of canopy tree composition and function across Amazonia. **Nature**. (443): 444-447.
- Treseder, K. & Vitousek, P. 2001. Effects of soil nutrient availability on investment in acquisition of N and P in Hawaiian Rain Forests. **Ecology**. 82 (4): 946-954.
- Tuomi, J.; Kytöviita, M.; Härdling, R. 2001. Cost efficiency of nutrient acquisition and the advantage of mycorrhizal symbiosis for the host plant. Copenhagen. **Oikos**. (92): 62-70.

- Van der Heijden, M.; Boller, T.; Wiemken, A.; Sanders, I. 1998^a. Different arbuscular mycorrhizal fungi species are potential determinants of plant community structure. **Ecology**. (79):2082-2091.
- Van der Heijden, M., Engel-Streitwolf, R., Riedl, R., Siegrist, S., Neudecker, A., Ineichen, K., Boller, T., Wiemken, A. And Sanders, I. R. 2006. The mycorrhizal contribution to plant productivity, plant nutrition and soil structure in experimental grassland. **New Phytologist**. (172): 739-752.
- Van der Heijden, M. 2002. Arbuscular mycorrhizal fungi as a determinant of plant diversity: in search for underlying mechanisms and general principals. In: van der Heijden, M., Sanders, I. (Eds.). **Mycorrhizal Ecology**. (157): 243-261.
- Van der Hammen, T & Hooghiemstra, H. 2000. Neogene and Quaternary history of vegetation, climate, and plant diversity in Amazonia. **Quaternary Science Reviews**. (19): 725-742.
- Veber, J. D. 2003. Soil community feedback and the coexistence of competitors: conceptual frameworks and empirical tests. **New Phytologist**. (157): 465-473.
- Van der Heijden, M.; Klironomos J.; Ursic, M.; Moutoglis, P.; Streitwolf-Engel, R.; Boller, T.; Weimken, A.; Sanders, I.; 1998b. My fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. **Nature**. (396):69-72.
- Wilson, G. W. T. & Hartnett, D. C. 1998. Interspecific variation in plant responses to mycorrhizal colonization in tallgrass prairie. **American Journal of Botany**. (85): 1732- 738.
- Wright, S. J. 2002. Plant diversity in tropical forests: a review of mechanisms of species coexistence. **Oecologia**. (130): 1-14.
- Zangaro, W., Bononi, V. L. R., Trufen, S.B. 2000. Mycorrhizal dependency, inoculum potential and habitat preference of native woody species in South Brazil. **Journal Tropical Ecology**. (16): 603-622.
- Zangaro, W., Nisizaki, S. M. A., Domingos, J. C. B., and Nakano, E. M. 2003. Mycorrhizal response and successional status in 80 woody species from south Brazil. **Journal of Tropical Ecology**. (19): 315-324.
- Zangaro, W., Nishidate, F.R., Spago C., F. R. Gorete R., G. and Vandressen, J. 2005. Relationship among arbuscular mycorrhizas, root morphology and seedling growth of

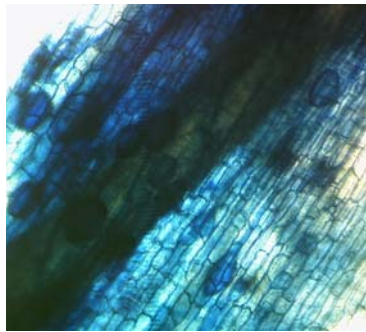
- tropical native woody species in southern Brazil. **Journal of Tropical Ecology.** (21): 529-540.
- Zel, J. & Bevc, L. 1993. Effect of aluminum on mineral content of mycorrhizal fungi in vitro. **Water, Air & Soil Pollution.** (71): 271-279.
- Zhao Z-W, Xia Y-M, Qin X-Z, Li X-W, Cheng L-Z, Sha T, Wang G-H. 2001. Arbuscular mycorrhizal fungi in the tropical rain forest of Xishuangbanna, southwest China. **Mycorrhiza.** (11): 159-162.
- Zhi-wei, Z.; Yong-Mei, X.; Xin-Zheng, Q.; Xi-Wu,L.; Li-Zhong, C.; Tao, S.; Guo-Hua, W. 2001. Arbuscular mycorrhizal fungi in the tropical rain forest of Xishuangbanna, Southwest China. **Mycorrhiza.** (11): 159-162.

Apêndice

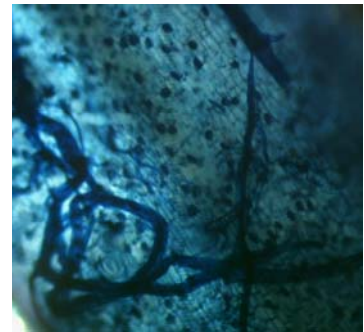
APÊNDICE A - Principais estruturas dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA) encontrados nas raízes e solos nos três locais.



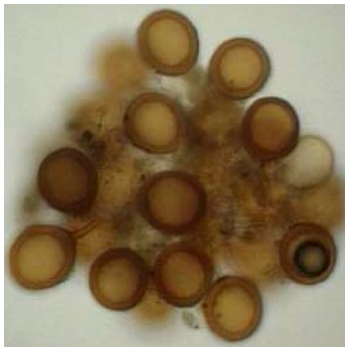
a) Arbúsculo de MA.



b) Vesículas de MA.



c) Hifas de MA.



d) Esporos agrupados do gênero *Glomus*.



e) Esporo do gênero *Glomus*.



f) Esporo do gênero *Glomus*.



g) Células auxiliares de MA.