



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS - PPGCA

RODRIGO DA SILVA MAIA

COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA ARBUSCULAR EM
FLORESTA SECUNDÁRIA NA AMAZÔNIA SOB REMOÇÃO
DE SERAPILHEIRA E IRRIGAÇÃO DO SOLO

BELÉM-PA
2010

RODRIGO DA SILVA MAIA

COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA ARBUSCULAR EM
FLORESTA SECUNDÁRIA NA AMAZÔNIA SOB REMOÇÃO
DE SERAPILHEIRA E IRRIGAÇÃO DO SOLO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com EMBRAPA-Amazônia Oriental e Museu Paraense Emilio Goeldi, para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Ecossistemas e uso da terra.

Orientador: Professor Steel Silva Vasconcelos

BELÉM-PA
2010

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

M217c Maia, Rodrigo da Silva

Colonização micorrízica arbuscular em floresta secundária na Amazônia sob remoção de serapilheira e irrigação do solo / Rodrigo da Silva Maia; Orientador: Steel Silva Vasconcelos – 2010

76 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emilio Goeldi e EMBRAPA, Belém, 2010.

1. Irrigação agrícola. 2. Micorriza arbuscular. 3. Remoção de serapilheira. 4. Floresta secundária na Amazônia. I. Universidade Federal do Pará II. Vasconcelos, Steel Silva, *orient.* III. Título.

CDD 20º ed.: 631.709811

RODRIGO DA SILVA MAIA

COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA ARBUSCULAR EM
FLORESTA SECUNDÁRIA NA AMAZÔNIA SOB REMOÇÃO
DE SERAPILHEIRA E IRRIGAÇÃO DO SOLO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com EMBRAPA-Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Data de Aprovação: ____ / ____ / ____

Conceito:

Banca Examinadora:

Prof. Steel Silva Vasconcelos. - Orientador
Doutor em Recursos e Conservação Florestais
Embrapa Amazônia Oriental

Prof. Francisco de Assis Oliveira – Membro
Doutor em Geologia e pedologia (Biogeoquímica)
Universidade Federal Rural da Amazônia

Prof. José Ricardo Santos de Souza - Membro
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Prof^a. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo - Membro
Doutora em Agronomia
Museu Paraense Emílio Goeldi

Dedico este trabalho a minha mãe Ana,
meu pai Afonso e a minha noiva
Larissa. Vocês são muito importantes
para minha vida.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela oportunidade de poder avançar mais uma etapa na minha vida acadêmica e profissional.

À minha mãe, meu pai e meus irmãos por terem me dado todo o apoio necessário para a realização do mestrado e terem me incentivado nos estudos.

À minha noiva Larissa Naves por todo o amor e compreensão durante esses anos.

Ao meu orientador Dr. Steel Vasconcelos pela valiosa contribuição, dedicação e orientação na pesquisa.

À equipe de profissionais do Laboratório de Ecofisiologia e Propagação de Plantas da Embrapa Amazônia Oriental: Neusa, Ivanildo, Everson, Cleo e Déia. Quero agradecer por toda a paciência, dedicação e amizade que tiveram comigo durante o tempo que passei no laboratório.

Ao amigo Malcher e a Dra. Elizabeth Chu do Laboratório de Microbiologia da Embrapa Amazônia Oriental, pelo valioso ensino e treinamentos laboratoriais na área da micorrizologia.

Aos estagiários do Laboratório de Ecofisiologia e Propagação de Plantas da Embrapa Amazônia Oriental: Laila, Khety, Michel e Pierre. E aos amigos Jorge Fernando, Ronei Pizate e em especial ao Bruno Serrão.

Aos colegas de pesquisa Orivaldo Saggin Jr (Embrapa Agrobiologia), Prof. Waldemar Zangaro (Universidade Estadual de Londrina) e Denise (Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”) que mesmo distantes sempre estiveram dispostos a responder e esclarecer minhas dúvidas.

À toda equipe que trabalha na Estação Experimental de Piscicultura de Água Doce da Universidade Federal Rural da Amazônia em Apeú, principalmente ao Sr. Raimundinho, Paulo, dona Oneide e Maradona pela maravilhosa assistência que deram durante o período de coleta do material de pesquisa no campo.

Ao curso de Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará e aos professores pelo ensino e enriquecimento dos meus estudos.

À CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado durante a realização do estudo.

Ao CNPq pelo financiamento do projeto MANFLORA.

Muito Obrigado!

RESUMO

Avaliou-se o efeito da alteração de disponibilidade de substrato (serapilheira) e água sobre a colonização micorrízica arbuscular e atributos químicos do solo em floresta secundária na Amazônia oriental. Foi analisada a porcentagem de colonização micorrízica (PCM) de raízes apogeotrópicas e raízes presentes na superfície de 0-10 cm do solo, densidade de esporos, produção de glomalina e atributos físico-químicos nos solos de quatro parcelas de tratamento de remoção de serapilheira, quatro parcelas de tratamento de irrigação e quatro parcelas controle. As parcelas medem 20 m x 20 m. Em cada parcela foi coletado quatro amostras simples de solo e raízes distribuídas em quatro áreas. Os resultados mostraram que o tratamento de remoção de serapilheira reduziu significativamente a PCM nas raízes apogeotrópicas e nas de 0-10 cm de profundidade do solo, mas não influenciou na densidade de esporos. A remoção de serapilheira também diminuiu a disponibilidade de nitrogênio e carbono orgânico no solo, mas apesar disso não houve influencia da redução da disponibilidade de nutrientes no solo para a colonização micorrízica. A glomalina que é produzida pelas hifas das micorrizas arbusculares, e fica agregada a matéria orgânica do solo também foi reduzida pelo tratamento de remoção de serapilheira. O tratamento de irrigação não afetou a PCM, assim como densidade de esporos no solo e também não alterou a disponibilidade de nutrientes. O estudo permitiu mostrar que mudanças na cobertura do solo podem causar sérios danos a simbiose fungo-planta.

Palavras chaves: Irrigação agrícola. Micorriza Arbuscular. Remoção de serapilheira. Floresta secundária na Amazônia.

ABSTRACT

We evaluate the effect of alteration of availability of substrate (litterfall) and water about the arbuscular mycorrhizal colonization and chemical attributes of soil in Secondary Forest in the eastern Amazon. The percentage of mycorrhizal colonization (PMC) was analyzed in apogeotropic roots and roots present in the surface 0-10 cm layer of soil, spore density, glomalin production and physico-chemical attributes of soils in four plots of treatment to litter removal, four plots of irrigation treatment and four control plots. The plots measuring 20 m x 20 m. In each plot was collected four single samples of soil and roots divided into four areas. The results showed that litter removal reduced significantly the PMC in roots, but had no effect on spore density. The litter removal decreased availability of nitrogen and organic carbon in soil, but there was no influence of reduced availability of nutrients in the soil for mycorrhizal colonization. The Glomalin which is produced by hyphae of arbuscular mycorrhizae, and is aggregated with soil organic matter was also reduced by litter removal. The irrigation treatment did not affect the PMC, and spore density in soil and did not affect the availability of nutrients. The study allowed to show that changes in land cover can cause serious damage to the plant-fungus symbiosis.

Key Words: Agricultural irrigation. Arbuscular mycorrhizae. Litter removal. Secondary Forest.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Desenvolvimento da simbiose micorrízica, características gerais e estruturas envolvidas.....	20
Figura 2 -	Principais eventos do ciclo simbiótico micorrízico.....	21
Figura 3 -	Colonização micorrízica ampliada e os principais fatores envolvidos na simbiose.....	22
Figura 4 -	Classificação dos Fungos micorrízicos arbusculares com as principais características das famílias e dos gêneros.....	24
Figura 5 -	Mapa do Brasil mostrando os estudos nos últimos 20 anos sobre riquezas de espécies de Fungos micorrízicos arbusculares nos ecossistemas e sistemas agrícolas brasileiros.....	27
Figura 6 -	Localização por satélite da Estação Experimental da UFRA.....	35
Figura 7 -	Aspecto da vegetação da área de estudo.....	35
Figura 8 -	(A) Irrigação realizada por microaspersão. (B) Remoção de serapilheira.....	36
Figura 9 -	Aspectos das parcelas sob irrigação e controle.....	36
Figura 10 -	Aspectos das parcelas sob remoção de serapilheira e controle.....	37
Figura 11 -	Croqui da área experimental.....	38
Figura 12 -	Croqui de uma parcela com a delimitação de áreas e subáreas usadas para a coleta de amostras.....	40
Figura 13 -	Ilustração da metodologia de extração de esporos.....	42
Figura 14 -	Ilustração da metodologia de coloração de raízes.....	44

Figura 15 -	(A) Precipitação pluviométrica mensal na área experimental do projeto. (B) Porcentagem de umidade do solo no campo.(C) Porcentagem de colonização micorrízica arbuscular sob tratamento de irrigação em floresta secundária na Amazônia Oriental. (D) Efeito do tratamento de irrigação sobre a densidade de esporos de MAs em floresta secundária na Amazônia Oriental.....	48
Figura 16 -	Porcentagem de colonização micorrízica em raízes de 0-10 cm sob tratamento de irrigação.....	49
Figura 17 -	(A) Teor de fósforo total no solo. (B) Presença de fósforo disponível no solo. (C) Fósforo orgânico no solo, (D) Nitrogênio total no solo, (E) carbono orgânico do solo e (F) Glomalina total.....	50
Figura 18 -	(A) Precipitação pluviométrica mensal na área experimental do projeto. (B) Porcentagem de umidade do solo no campo. (C) Porcentagem de colonização micorrízica arbuscular sob tratamento de remoção em floresta secundária na Amazônia Oriental. (D) Efeito do tratamento de remoção sobre a densidade de esporos de MAs em floresta secundária na Amazônia Oriental.....	56
Figura 19 -	Porcentagem de colonização micorrízica em raízes de 0-10 cm sob tratamento de remoção.....	57
Figura 20 -	Varredura da serapilheira (A). Escassez de raízes apogeotrópicas (B). Parcela de remoção no período seco (C). Parcela de remoção no período chuvoso (D).....	57
Figura 21 -	A) Teor de fósforo total no solo. (B) Presença de fósforo disponível no solo. (C) Fósforo orgânico no solo, (D) Nitrogênio total no solo, (E) carbono orgânico do solo) e (F) Glomalina total.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Porcentagem de colonização micorrízica (PCM) e densidade de esporos na floresta Amazônica.....	28
Tabela 2 -	Resultados da análise granulométrica nos tratamentos de irrigação, remoção e controle.....	34
Tabela 3 -	Resultados da verificação do pH do solo em água nos tratamentos de irrigação, remoção e controle.....	34
Tabela 4 -	Freqüência de determinação das variáveis.....	41
Tabela 5 -	Resultado geral do valor de “p” encontrado a partir da análise de variância e pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.....	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	OBJETIVO GERAL.....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3	HIPÓTESES.....	17
4	REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	18
4.1	MICORRIZAS ARBUSCULARES.....	18
4.2	DESENVOLVIMENTO DA SIMBIOSE FUNGO-PLANTA.....	19
4.3	GLOMALINA.....	23
4.4	CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA DAS MICORRIZAS ARBUSCULARES.....	24
4.5	MICORRIZAS ARBUSCULARES EM FLORESTA SECUNDÁRIA NA AMAZÔNIA.....	25
4.6	FATORES AMBIENTAIS QUE AFETAM A OCORRÊNCIA DAS MICORRIZAS ARBUSCULARES.....	29
4.6.1	Disponibilidade de nutrientes no solo.....	29
4.6.2	Disponibilidade de água no solo.....	30
4.6.3	Características físico-químicas do solo.....	31
4.6.4	Características biológicas do solo.....	32
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
5.1	ÁREA DE ESTUDO.....	33
5.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	38
5.3	COLETA DE SOLO E RAÍZES.....	39
5.4	PREPARO DO SOLO PARA ANÁLISE DE DENSIDADE DE ESPOROS.....	42
5.5	PREPARO DE RAÍZES PARA AVALIAÇÃO DA COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA.....	43
5.6	GLOMALINA TOTAL.....	45
5.7	ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO.....	45
5.8	ANÁLISE DOS DADOS.....	45
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
6.1	TRATAMENTO DE IRRIGAÇÃO.....	46
6.2	TRATAMENTO DE REMOÇÃO DE SERAPILHEIRA.....	54
7	CONCLUSÕES.....	61
	REFERÊNCIAS.....	62
	ANEXOS.....	70
	ANEXO A - Coletas de raízes apogeotrópicas na parcela de controle e irrigação, respectivamente.....	73
	ANEXO B - Tratamento laboratorial das raízes das parcelas de remoção. O círculo vermelho destaca a presença de nódulos nas raízes. Foi verificado que no interior dos nódulos apresentava uma cor avermelhada, caracterizando a presença de leg-hemoglobina.....	73

ANEXO C - Tratamento laboratorial de raízes das parcelas de irrigação e controle, respectivamente. Diferente das raízes de remoção, as raízes de parcelas irrigadas e do controle apresentam materiais de serapilheiras em sua composição.....	74
ANEXO D - Imagens obtidas pelo microscópio, durante a contagem de colonização micorrízica e de esporos.....	74
ANEXO E - Frente e atrás da Estação Experimental de Piscicultura de Água Doce da UFRA.....	75
ANEXO F - Entrada na primeira parcela do controle (A); coleta de solo (B); coleta de raízes de 0-10 cm (C) e coleta de solo para análise de umidade.....	75
ANEXO G - Parcela de remoção no período seco (A) e no período chuvoso (B).....	76
ANEXO H - Funcionamento da irrigação (A) e mangueira utilizada no processo de irrigação (B).....	76

1 INTRODUÇÃO

Na Amazônia brasileira, a prática de derruba e queima, destinada principalmente ao estabelecimento de pastagens e cultivos agrícolas, corresponde a cerca de 90% do desmatamento total (LIMA, 2002). O preparo de área por meio de derruba e queima causa grande impacto negativo sobre atributos físicos, químicos e biológicos do solo, contribuindo também para emissão de gases do efeito estufa para a atmosfera (FEARNSIDE, 2003).

As áreas submetidas à agricultura de derruba e queima na região amazônica geralmente são abandonadas após alguns ciclos de cultivo, devido à redução da fertilidade do solo (HOMMA, 1998). Após o abandono dessas áreas, ocorre um processo lento e gradativo de recuperação da fertilidade do solo, por meio do crescimento da vegetação secundária (PEREIRA; VIEIRA, 2001). Este tipo de vegetação promove importantes serviços ambientais relacionados à manutenção da produtividade do sistema (acúmulo de matéria orgânica e nutrientes no solo, controle da erosão) e à regulação do clima (NEPSTAD, 2001).

O crescimento da vegetação secundária em solos pobres em nutrientes como ocorre na região amazônica, pode ser limitado pela disponibilidade de nitrogênio (N) e fósforo (P), além da elevada acidez no solo (DAVIDSON et al., 2004; GEHRING et al., 1999). Como a vegetação secundária apresenta taxas de crescimento e acúmulo de biomassa elevadas nessas condições, supõe-se que as espécies apresentam mecanismos específicos para superar a acidez e a baixa disponibilidade de nutrientes do solo. Dentre esses mecanismos específicos, devem-se destacar associações com micorrizas arbusculares (MAs) como estratégia para superar a deficiência nutricional, principalmente o fósforo, que é um dos nutrientes mais limitantes em solos amazônicos (CRAVO; SMYTH, 1997; OLIVEIRA et al., 1995).

Diversos fatores podem influenciar na colonização micorrízica em floresta secundária na Amazônia, dentre os quais destacam-se a disponibilidade de nutrientes e água no solo, além de mudanças na cobertura do solo (SIQUEIRA et al., 2007; ZANGARO et al., 2009). Por isso neste trabalho objetivou-se avaliar: (1) se a remoção de serapilheira no solo de uma floresta secundária na Amazônia oriental causaria impactos negativos na ciclagem de nutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo) e, como consequência, aumentaria a colonização micorrízica em virtude da maior necessidade da vegetação em realizar simbiose com MAs para superar os

efeitos da deficiência de nutrientes ou (2) se a remoção de serapilheira causaria impactos na cobertura do solo podendo influenciar na colonização micorrízica, uma vez que a camada mais superficial do solo constitui o principal hábitat e reservatório de propágulos das MAs (BRUNDRETT et al., 1996). Logo qualquer fator impactante para a serapilheira exercerá grande influencia sobre a simbiose fungo-planta (BELLGARD, 1993; SIQUEIRA et al., 2007).

Além da alteração na ciclagem de nutrientes e mudanças na cobertura do solo provocado a partir da remoção de serapilheira, foi também objetivo deste trabalho verificar se o aumento da disponibilidade de água no solo, por meio da irrigação durante o período seco, poderia alterar a colonização micorrízica em floresta secundária. Durante a fase inicial do desenvolvimento da floresta secundária, condições ótimas de disponibilidade de água para as plantas favorecem a fotossíntese e a taxa de crescimento da planta, podendo aumentar a colonização micorrízica nessas condições.

Neste trabalho, portanto, foi realizado um experimento de manipulação da disponibilidade de nutrientes e cobertura do solo por meio da remoção de serapilheira e manipulação da disponibilidade de água por meio da irrigação durante o período seco. O experimento foi realizado em uma floresta secundária de aproximadamente 21 anos situada no nordeste paraense.

Outros trabalhos também realizaram estudos de manipulação de serapilheira e água no solo. Em uma floresta tropical úmida no Panamá, a remoção de serapilheira (folhas, galhos, frutos etc.) reduziu a população de microorganismos decompositores de matéria orgânica e a disponibilidade de nutrientes no solo (SAYER, 2006). Em floresta secundária na Amazônia oriental, a remoção de serapilheira reduziu a disponibilidade de nitrogênio, carbono e fósforo no solo e a irrigação durante o período seco aumentou a disponibilidade de fósforo no solo (VELUCI, 2007).

Apesar de alguns estudos sugerirem que MAs apresentam papel importante no crescimento de florestas secundárias em áreas tropicais (ZANGARO et al., 2009), existem poucos estudos correlatos, especialmente na Amazônia. Além disso, os resultados relacionados à resposta de MAs a alterações na disponibilidade de água e nutrientes em floresta secundária são escassos. Um melhor entendimento sobre as relações entre MAs e disponibilidade de nutrientes e água pode ser útil para o

refinamento de modelos de biogeoquímica de florestas secundárias ou de recuperação de áreas alteradas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito da alteração de disponibilidade de substrato (serapilheira) e água do solo sobre a colonização micorrízica arbuscular, densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares e atributos químicos do solo em floresta secundária na Amazônia oriental.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar o efeito da retirada de serapilheira sobre a colonização micorrízica e a densidade de esporos no solo.

Avaliar o efeito da retirada de serapilheira sobre a disponibilidade de fósforo, nitrogênio e carbono no solo.

Avaliar a relação entre a disponibilidade de fósforo, nitrogênio e carbono no solo e a colonização micorrízica e a densidade de esporos no solo

Avaliar o efeito da alteração na disponibilidade de água do solo durante a estação seca sobre a colonização micorrízica e densidade de esporos no solo.

Avaliar o efeito da sazonalidade da precipitação pluviométrica sobre a colonização micorrízica e densidade de esporos.

3 HIPÓTESES

A remoção de serapilheira provocará impacto direto sobre o principal hábitat das MAs, que é a camada de solo superficial, reduzindo a colonização micorrízica nesse ambiente.

A remoção de serapilheira causará diminuição na ciclagem de fósforo, nitrogênio e carbono, resultando em aumento da colonização micorrízica.

O aumento da disponibilidade de água no solo por meio de irrigação durante a estação seca aumentará a micorrização nesse período, uma vez que a planta estará bem suprida em água, favorecendo assim seu crescimento.

Mudanças na disponibilidade de água no solo, associadas com a variação intranual da precipitação pluviométrica, alteram a colonização micorrízica.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 MICORRIZAS ARBUSCULARES

As micorrizas arbusculares (MAs) são microorganismos importantes no sistema solo-planta, pois formam simbiose mutualística com a maioria das plantas vascularizadas. Aproximadamente 95% das espécies de plantas formam associação simbiótica com esse fungo (TRAPPE, 1987). O termo “mycorrhiza” ou micorriza em português, originado do grego (myco= fungo, e rhiza=raiz) foi usado para designar associações simbióticas entre plantas e fungos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). O termo arbusculares refere-se aos fungos que possuem uma estrutura peculiar, os arbúsculos, onde ocorre a troca de metabólicos entre fungo e planta (SIQUEIRA, 1994).

Durante a simbiose, a planta cede a energia necessária (fotossintatos) para o crescimento e reprodução do fungo. Em troca, as MAs absorvem nutrientes, e depois disponibilizam esses nutrientes para células do córtex das raízes das plantas colonizadas (SOUZA et al., 2008). A planta se beneficia particularmente pela disponibilização de nutrientes de baixa mobilidade no solo, como fósforo, cuja absorção é limitada em raízes (SMITH; READ, 1997).

No solo as MAs favorecem a formação e a estabilidade de agregados, pois o micélio fúngico, juntamente com as raízes finas, formam uma rede biológica que entrelaça e mantém juntas as partículas do solo, assim como as hifas produzem proteínas, denominadas glomalinas, que também atuam na agregação do solo (BALOTA, 1994; COLOZZI-FILHO; SOUZA et al., 2008 SMITH; READ, 1997). O aparecimento de MAs no solo data de mais de 300 milhões de anos atrás, pois existem fortes evidências de coevolução de plantas terrestres e micorrizas considerada fundamental para a colonização do ambiente terrestre pelas plantas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; SOUZA et al., 2008; SIMON et al., 1993).

4.2 DESENVOLVIMENTO DA SIMBIOSE FUNGO-PLANTA

A colonização micorrízica inicia-se com o crescimento de uma hifa infectiva, a partir de um esporo germinado. Posteriormente as hifas infectivas crescem na rizosfera e, ao entrar em contato com as raízes de plantas micotróficas, formam uma estrutura peculiar de penetração do tipo apressório (Figura 1). O processo de penetração da hifa na superfície da raiz ocorre por uma combinação de pressão mecânica e degradação enzimática parcial da parede celular vegetal por pectinases, celulases e hemicelulases produzidas pelo fungo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Ao entrar nas raízes as MAs formam hifas transcelulares e colonizam o apoplasto e as células do córtex. A colonização apoplástica sucede pelo crescimento das hifas tanto inter quanto intracelularmente, sendo a última resultante da invaginação da membrana plasmática vegetal. Na parte mais interna do córtex, hifas intracelulares se diferenciam e formam os arbúsculos, estruturas que tem acesso aos fotossintatos das plantas. O arbúsculo é o principal ponto de troca de metabólicos entre o fungo e a planta (SIQUEIRA; OLIVEIRA, 1985; SIQUEIRA, 1994). As hifas intracelulares também se diferenciam em estruturas globosas, ricas em lipídios, denominadas vesículas, que provavelmente possuem função de reserva, porém essas estruturas ocorrem somente nas espécies do gênero *glomus* (STÜRMER; SIQUEIRA, 2008). Em algumas espécies de MAs há também produção de esporos no interior das raízes, como é o caso do *Glomus intraradice*.

O ciclo da simbiose inicia-se com a germinação dos esporos e é concluída com a produção de novos esporos e outros propágulos (hifas, raízes colonizadas, micélio), garantindo a dispersão e sobrevivência das micorrizas (Figura 2). O principal evento realizado na simbiose consiste na troca de nutrientes e água que são absorvidos pelo fungo (micotrofismo) e os fotoassimilados fornecidos pela planta (biotrofismo) (Figura 3).

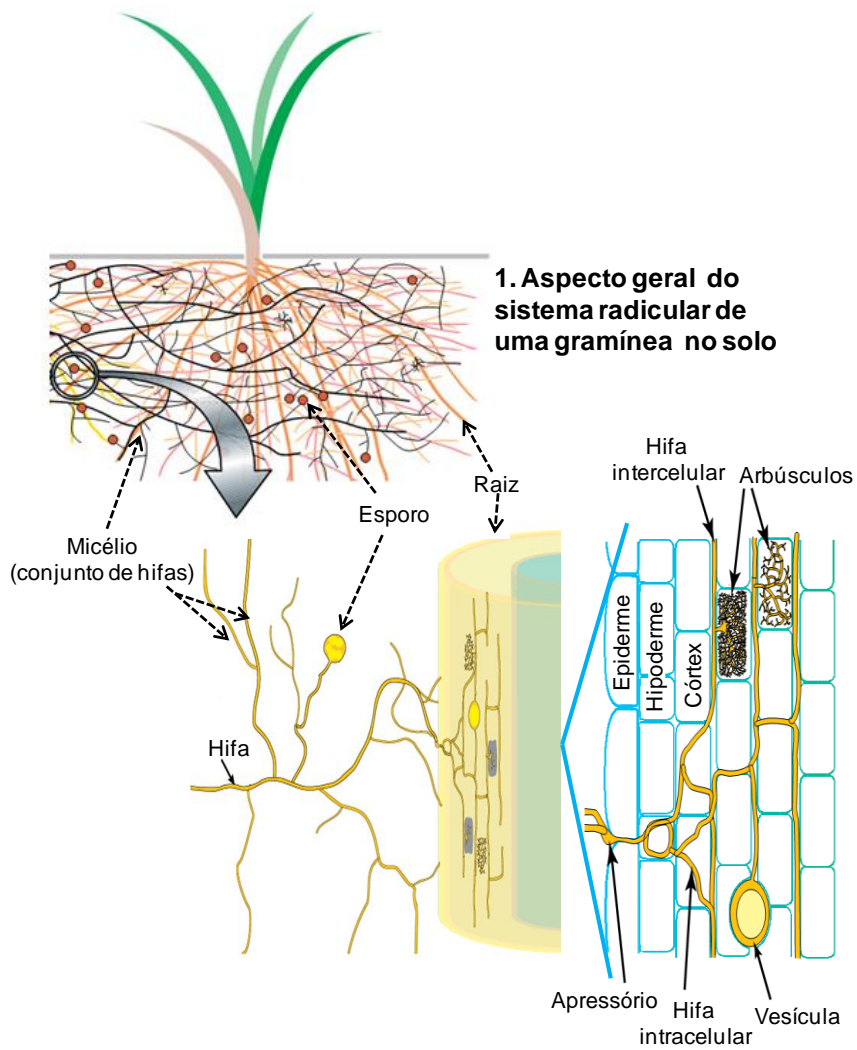


Figura 1: Desenvolvimento da simbiose micorrízica, características gerais e estruturas envolvidas.
Foto modificada do site.
Fonte: Brundrett (2008)

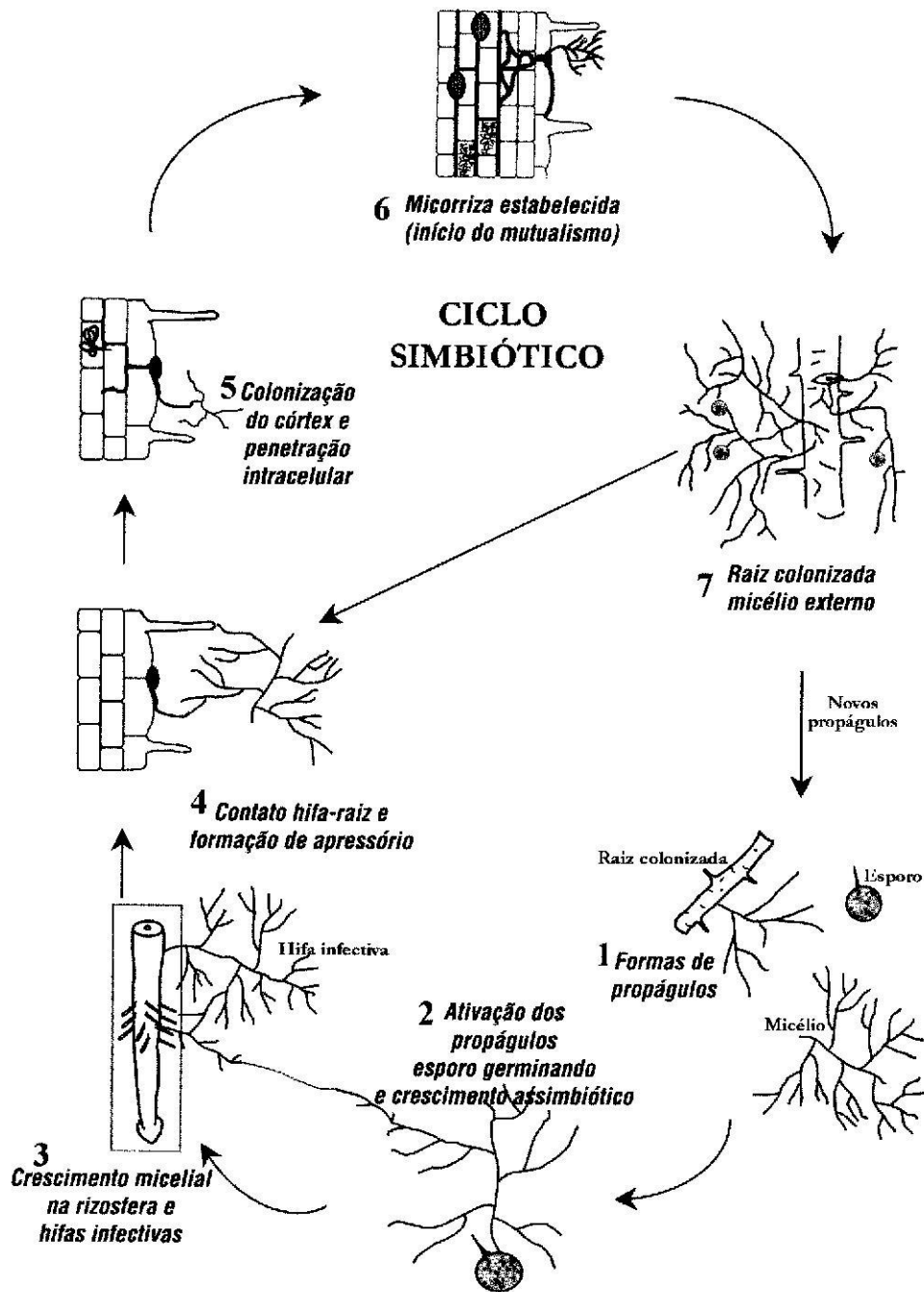


Figura 2: Principais eventos do ciclo simbiótico micorrízico.
 Fonte: Moreira e Siqueira (2006)

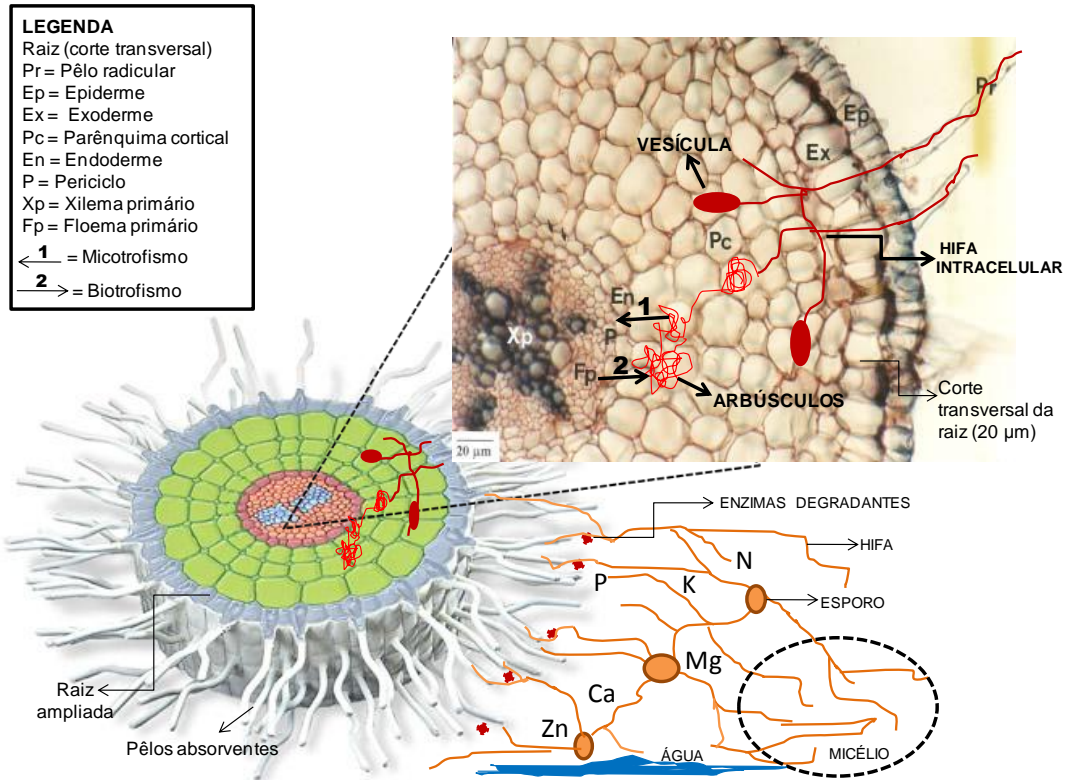


Figura 3: Colonização micorrízica ampliada e os principais fatores envolvidos na simbiose. Atuação das MAs no interior da raiz a partir de um corte transversal da raiz, analisado microscopicamente (20 µm).

4.3 GLOMALINA

A glomalina é uma substância exclusiva das MAs, descoberta em 1996, quando pesquisadores observaram a existência de uma substância pegajosa sobre as hifas externas das MAs, assim como nas partículas de solo e raízes de plantas micorrizadas (WRIGHT et al., 1996). Essa substância pegajosa revelou ser uma glicoproteína, a qual foi denominada glomalina (RILLIG, 2004), em referência à antiga ordem taxonômica das *Glomales*, a qual pertenciam as MAs, segundo a classificação de Morton e Benny (1990).

A glomalina contém cerca de 60% de carboidratos, nitrogênio ligado ao oligossacarídeo e moléculas de ferro. As MAs produzem glomalina em grande quantidade durante a colonização na raiz com a finalidade de proteger e garantir o melhor funcionamento da simbiose, pois a glomalina atua prevenindo as hifas da dessecação (WRIGHT, 2005) e, por ser recalcitrante, acumulam-se nos agregados do solo em quantidades que variam de 4,4 a 14,6 $\mu\text{g mg}^{-1}$ de solo (WRIGHT, 2005; WRIGHT et al., 1996), mas a quantidade de glomalina liberada para o solo pode variar de acordo com a espécie de MAs (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Ao ser liberada durante a colonização micorrízica, a glomalina fixa-se nas partículas minerais e orgânicas, tornando-se parte da matéria orgânica do solo (DRIVER et al., 2005). Vários estudos recentes mostram que a característica pegajosa da glomalina atua diretamente na agregação das partículas do solo. Além disso a glomalina é insolúvel em água, outra característica que contribui para a agregação do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; RILLIG; MUMMEY, 2006). De acordo com Wright (2005) a glomalina é responsável por reter aproximadamente 27% do carbono total da matéria orgânica. Desse modo, ao estocar uma considerável quantidade de carbono em suas moléculas, a glomalina é considerada como um fator de contribuição para o seqüestro de carbono no solo, uma vez que é relativamente estável no ambiente (CORNIS, 2002; RILLIG et al., 2001).

4.4 CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA DAS MICORRIZAS ARBUSCULARES

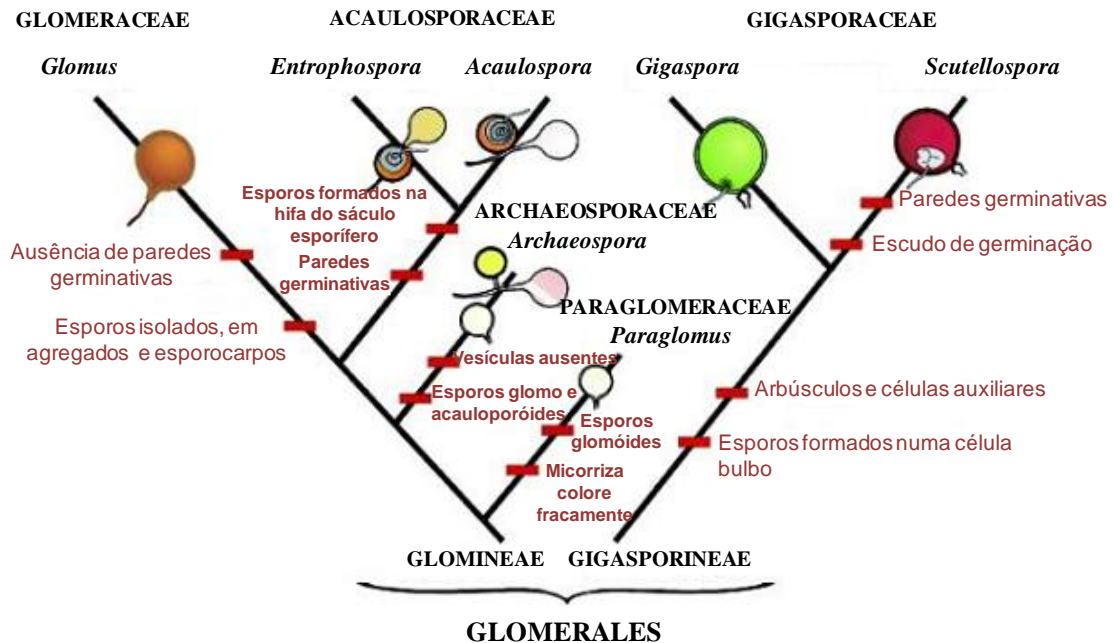


Figura 4: Classificação dos Fungos micorrízicos arbusculares com as principais características das famílias e dos gêneros. Foto modificada do site.
Fonte: Morton (1998)

Os fungos micorrízicos arbusculares pertencem ao filo *Glomeromycota*, ordem Glomerales, que apresenta duas sub-ordens: Glomineae e Gigasporineae. A sub-ordem Glomineae possui quatro famílias: Glomeraceae (Gênero: *Glomus*); Acaulosporaceae (Gêneros: *Entrophospora* e *Acaulospora*); Archaeosporaceae (Gênero: *Archaeospora*) e Paraglomeraceae (Gênero: *Paraglomus*). A sub-ordem Gigasporineae possui apenas uma família: Gigasporaceae (Gêneros: *Gigaspora* e *Scutellospora*), (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; STÜRMER; SIQUEIRA, 2008; STÜRMER; SIQUEIRA, 2006). Embora essa classificação seja bem reconhecida e aceita, existem pesquisas recentes que sugerem a existência de outros gêneros e famílias, porém ainda há controvérsia a respeito dessas novas classificações (STÜRMER; SIQUEIRA, 2008).

4.5 MICORRIZAS ARBUSCULARES EM FLORESTA SECUNDÁRIA NA AMAZÔNIA

A colonização micorrízica é predominante em ecossistemas tropicais úmidos, onde os solos são, em geral, ácidos e pobres em nutrientes para o crescimento das plantas (JANOS, 1980). De modo geral, há pouca informação sobre as MAs em solos de florestas, especialmente em floresta tropical úmida (CUEVAS, 1995), embora as MAs sejam consideradas essenciais para o desenvolvimento da vegetação nesse ecossistema (JANOS, 1980).

Os ecossistemas brasileiros são importantes fontes de diversidade de MAs (STÜRMER; SIQUEIRA, 2008). Todavia, pesquisas e inventários sobre as MAs no país indicam que apenas 35% dos Estados no Brasil possuem estudos de ocorrência de MAs, com destaque para dois estados, São Paulo e Minas Gerais, onde há predominância em avaliações quantitativas e qualitativas das populações fúngicas, eficiência simbiótica de fungos indígenas, sua sazonalidade e distribuição em função de características climáticas e edáficas, principalmente em ecossistemas naturais e agrícolas (LEAL, 2005; STÜRMER; SIQUEIRA, 2008). Conforme revisado em Stürmer e Siqueira (2008), na região Sul e Nordeste existem poucos trabalhos sobre MAs e na região Norte e Centro-Oeste, os estudos sobre MAs são insignificantes se for levado em consideração o tamanho dessas duas regiões.

A Figura 5 mostra o resultado do inventário feito nos últimos 20 anos, analisando 37 publicações científicas sobre diversidade das MAs em ecossistemas brasileiros. A floresta Amazônica se destaca como um dos ecossistemas com menor número de pesquisa sobre a riqueza e diversidade das MAs.

A colonização micorrízica em florestas secundárias na Amazônia é geralmente mais intensa durante o início da sucessão vegetal, pois nesse período as plantas precisam mais das MAs em virtude das condições edáficas desfavoráveis ao seu crescimento (SIQUEIRA, 1994; ZANGARO et al., 2009). O início do desenvolvimento da floresta secundária predominam espécies de rápido crescimento e de maior capacidade em absorver nutrientes do solo, características típicas de espécies associadas as MAs (ZANGARO et al., 2009). Esse fato confirma a importância das MAs nas florestas secundárias, auxiliando na absorção dos nutrientes minerais e no estabelecimento e sobrevivência destas espécies no início da sucessão (ZANGARO et al., 2007; ZANGARO et al., 2009). Já nos estádios finais da sucessão, a estabilidade e fertilidade do solo é maior, as espécies apresentam

maior concentração de biomassa, caracterizando a diminuição da ocorrência das MAs, porém aumenta a diversidade (SIQUEIRA, 1994).

Freitas (2004) relatou altas taxas de colonização micorrízica em floresta secundária de diferentes idades (7, 10, 12 e 14 anos) na Amazônia central associadas a espécies pioneiras, com destaque para: *Vismia cayennensis*, *Vismia japurensis*, *Bellucia dichotoma* e *Cecropia sciadophylla*. O mesmo resultado foi observado por St. John e Uhl (1983), estudando a ocorrência de MAs em algumas espécies pioneiras em área de vegetação secundária na Amazônia venezuelana. De acordo com Freitas (2004), as espécies pioneiras da Amazônia apresentam maior associação simbiótica com as MAs, principalmente pelo seu micotrofismo natural, ou seja, tendência a realizar associação simbiótica com o fungo micorrízico e pela baixa disponibilidade de nutrientes no solo da floresta secundária. Recentemente estudos sobre MAs e espécies pioneiras foram desenvolvidos na Amazônia Central, alguns dos resultados destas pesquisas estão resumidos na Tabela 1.

Apesar dos esforços para pesquisar a diversidade das MAs na floresta Amazônica, em especial na floresta secundária, há ainda uma grande necessidade de mais estudos a respeito da associação micorrízica nesse ecossistema, que se estende desde pesquisas de base como identificar principais espécies da região micotróficas dependentes, conhecer a diversidade das MAs e a ocorrência da colonização na floresta primária e secundária, a pesquisas mais avançadas como o estudo da biologia molecular.

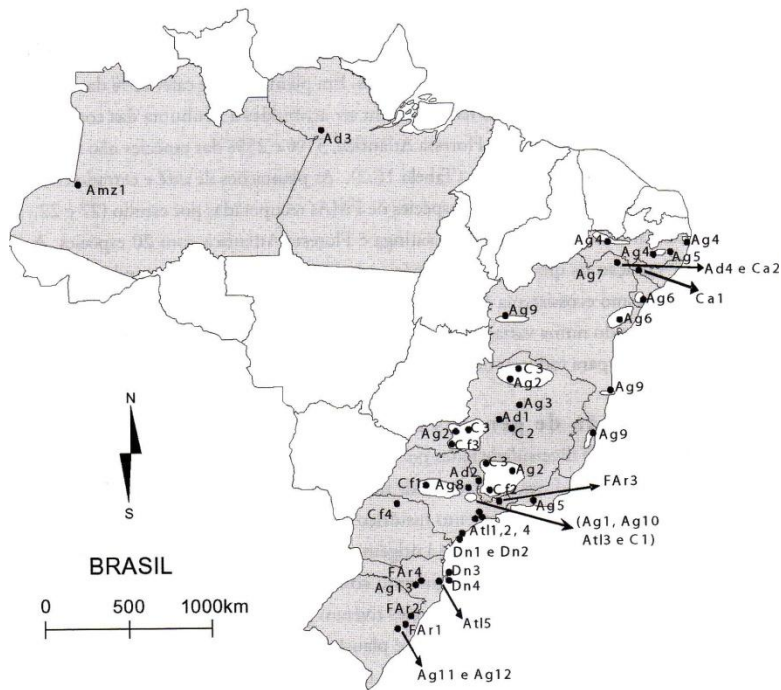


Figura 5: Mapa do Brasil mostrando os estudos nos últimos 20 anos sobre riquezas de espécies de fungos micorrízicos arbusculares nos ecossistemas e sistemas agrícolas brasileiros. Áreas brancas dentro das áreas cinza indicam outros estudos feitos nessa localidade. Os códigos nos estados são os sistemas e ecossistemas estudados: Amz (Floresta Amazônica); Ad (áreas degradadas); Ag (Agrossistema); Atl (Floresta Atlântica); C (Cerrado); Ca (Caatinga); Cf (Plantações de café); Dn (Dunas) e Far (Floresta de Araucária). Números ao lado dos códigos indicam a quantidade de estudos.

Fonte: Stürmer e Siqueira (2008).

Tabela 1. Porcentagem de colonização micorrízica (PCM) e densidade de esporos nos ecossistemas florestais na Amazônia.

Estudo	Local	Micorrizas arbuscular		Conclusões	Referências
		PCM	Densidade de esporos		
Associação entre MAs e espécies pioneiras em uma sucessão secundária na Amazônia	Amazonas (Brasil)	Alta	Baixa	As espécies pioneiras tiveram alto grau de colonização micorrízica (desde 60% até acima de 70%), principalmente pelo micotrofismo natural dessas espécies e pela baixa disponibilidade de nutrientes nos solos de floresta secundária. A PCM não foi influenciada pela densidade de esporos;	Freitas, 2004
Fluxo de nutrientes e colonização de MAs no solo de sistemas agroflorestais e de floresta secundária da Amazônia central	Amazonas (Brasil)	Alta	—	A PCM não varia entre as raízes coletadas na profundidade de 0-10 cm e de 20-30 cm do perfil do solo na floresta secundária. As taxas de colonização micorrízica foram maiores nos SAFs do que na floresta secundária.	Silva, 2005
Fungos micorrízicos arbusculares isolados em culturas armadilhas de solos sob diferentes sistemas de uso na Amazônia	Amazonas (Brasil)	Média	Alto	A riqueza e diversidade das espécies de MAs, variaram em função do uso da terra, sendo maior em capoeira nova e pastagem e muito reduzida na floresta primária. Os ecossistemas amazônicos estudados apresentam uma comunidade diversa de MAs.	Leal, 2005
Efeitos da umidade e disponibilidade de nutrientes para microbiologia do solo em floresta secundária na Amazônia Oriental.	Pará (Brasil)	—	—	Em apenas uma coleta a PCM foi significativamente maior na irrigação do que o controle durante a seca. Nos demais períodos de coleta não foram encontradas diferenças significativas. Algumas amostras indicaram que a densidade de esporos no controle foi menor na estação seca, apesar disso não houve diferença significativa entre a densidade de esporos do controle e irrigação. Na remoção de serapilheira a PCM foi significativamente maior que o controle para duas coletas e para uma coleta a PCM foi menor. O tratamento de remoção não afetou a densidade de esporos.	Veluci, 2007
Micorrizas arbusculares e assimilação de nutrientes em uma meso-escala na região amazônica.	Amazonas (Brasil), Iquitos (Peru) e Letícia na Colômbia	Média	Alto	Não houve diferença na relação entre os principais nutrientes do solo (P, C e N) e das raízes e a taxa de colonização micorrízica não foi influenciada por essas relações, todavia as MAs estariam contribuindo na absorção de P para a vegetação arbórea dos ecossistemas amazônicos estudados. Não houve diferença da colonização micorrízica nas três áreas de estudo.	Roperro, 2007
Associação entre MAs e três espécies florestais de terra firme na Amazônia	Amazonas (Brasil)	—	—	Baixa influência das propriedades químicas e físicas do solo sob as MAs e ausência de relação com nutrientes das folhas. Não houve relação entre densidade de esporos e PCM.	Maciel, 2007

Fungos micorrízicos arbusculares como indicadores biológicos de alteração do solo na agricultura de derruba e queima e derruba sem queima na Amazônia	Pará (Brasil)	—	Baixa (de 5 a 20 esporos por 30 g de solo)	As micorrizas arbusculares são sensíveis a perturbações no solo causadas pela agricultura de derruba e queima e derruba sem queima. No período de pousio a densidade de esporos aumentou nos tratamentos de derruba e queima e derruba sem queima. A densidade de esporos foi maior durante a estação seca.	Maia et al. (2009)
Colonização micorrízica arbuscular em floresta secundária na Amazônia sob remoção de serapilheira e irrigação do solo	Pará (Brasil)	Baixa	Baixa	A irrigação não afetou a PCM e a densidade de esporos. A Remoção de serapilheira reduziu significativamente a PCM, mas não alterou a densidade de esporos.	Maia (2010)

(-) Não foi relatado pelo autor.

4.6 FATORES AMBIENTAIS QUE AFETAM A OCORRÊNCIA DAS MICORRIZAS ARBUSCULARES

As micorrizas arbusculares constituem organismos biológicos que interagem com o sistema solo-planta-atmosfera e conseqüentemente sofrem influencia do ambiente e dos diversos fatores edáficos que alteram a formação, o funcionamento e a ocorrência dos fungos micorrízicos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Entre os principais fatores relevantes para essa pesquisa que alteram a colonização micorrízica, destacam-se: a disponibilidade de nutrientes e água no solo, características físico-químicas do solo e características biológicas do solo.

4.6.1 Disponibilidade de nutrientes no solo:

As MAs são inibidas em condições de alta fertilidade no solo e favorecidas pela baixa fertilidade, em que a colonização e a esporulação são geralmente máximas. O fósforo (P) é o principal nutriente que afeta a colonização micorrízica, pois concentrações de P próximas do ótimo para o desenvolvimento da planta hospedeira pode dificultar a colonização micorrízica por mecanismos de auto-regulação da simbiose, uma vez que as plantas encontram-se em solos deficientes em P, liberam exsudados que estimulam o crescimento assimbiótico do fungo.

No entanto, em condições de suprimento ótimo de P, a colonização não será estimulada (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Os efeitos negativos da elevada disponibilidade de P no solo para a simbiose fungo-planta são bastante consistentes, representando quase uma regra na ecologia micorrízica, porém o mecanismo exato da inibição ainda não foi totalmente elucidado. Siqueira (1983) formulou uma hipótese para explicar o efeito da disponibilidade do fósforo na relação simbiótica fungo-planta, mostrando que, com o aumento da disponibilidade de fósforo no solo, tem-se maior fotossíntese e exportação de triose-fosfato do cloroplasto para o citoplasma da folha, onde a sacarose é produzida e depois translocada pelo floema até as raízes. Desse modo concentrações elevadas de sacarose na raiz (acima de 4 g L⁻¹) podem inibir o crescimento das micorrizas arbusculares.

Quando a planta está bem suprida de fósforo, ela não depende do fungo para absorção de P e, se estiver também bem suprida de outros nutrientes (nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio etc.), a presença das MAs torna-se um investimento energético supérfluo para a planta, uma vez que a simbiose implica gasto de fotossíntatos para o desenvolvimento do fungo estimado em 10% a 15% da fotossíntese total (SIQUEIRA, 1994). Há evidências de que a planta regula a colonização de acordo com sua necessidade, por meio de um balanço delicado entre o nível de P e demais nutrientes no solo, atividade do fungo e resposta da planta (SIQUEIRA, 1994).

Outros nutrientes no solo (por exemplo, nitrogênio), também afetam as MAs, porém com menor intensidade do que o fósforo. Os esporos e as hifas apresentam alta sensibilidade a alguns micronutrientes (Zn, Cu, Mn e Fe), resultando em alterações na micorrização ou toxicidade (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

4.6.2 Disponibilidade de água no solo:

O excesso de umidade no solo exerce efeito negativo sobre a germinação dos esporos, colonização nas raízes e esporulação dos fungos. Solos com elevado teor de umidade ou sujeitos à inundação apresentam, em geral, condições insuficientes para produção de propágulos de MAs, pois os fungos e as raízes são aeróbios e poucas espécies hospedeiras crescem em condições anaeróbicas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Porém já foram observadas algumas espécies de plantas

aquáticas em simbiose com MAs. A umidade elevada do solo, também apresenta efeito indireto para colonização micorrízica, pois beneficia o desenvolvimento de parasitas de esporos de MAs, diminuindo assim sua viabilidade (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Por outro lado solos muito secos também não favorecem a colonização micorrízica, apesar de muitas espécies de MAs tolerarem seca e elevadas temperaturas (GERDEMANN, 1974; KHAN, 1974; STUTZ; MORTON 1996;).

Reid e Bowen (1979) mostraram que condições de umidade que favorecem o crescimento da planta durante os estágios iniciais de sucessão florestal aumentaram a associação simbiótica com as MAs. Durante o desenvolvimento de florestas secundárias a quantidade ótima de água no solo para o desenvolvimento das espécies florestais pode também ser ótima para esporulação de MAs (REDHEAD, 1975). Portanto o excesso e a escassez de água no solo são prejudiciais à colonização micorrízica, mas condições mínimas de água necessárias ao desenvolvimento da planta e das MAs favorecem a simbiose fungo-planta (AUGÉ 2004; REDHEAD, 1975).

As MAs também influenciam indiretamente a disponibilidade de água no solo, pois suas hifas crescem dentro da matriz do solo, criando uma estrutura que retém as partículas primárias do solo, gerando condições propícias para formação de microagregados, que posteriormente formam macroagregados, contribuindo dessa forma para a agregação do solo (AUGÉ, 2004). Além disso, a produção de glomalina contribui diretamente para formação de agregados. Se as MAs afetam a estrutura do solo, conseqüentemente afetam também as propriedades de retenção da umidade (AUGÉ, 2004).

4.6.3 Características físico-químicas do solo:

As características físico-químicas do solo são importantes para o desenvolvimento e sobrevivência dos propágulos de MAs. Características como: pH, salinidade, aeração, erosão, textura e presença de metais pesados podem alterar o desenvolvimento das MAs no solo. Segundo Pereira (1995), o pH do solo pode afetar a associação micorrízica, seja pelos seus efeitos diretos sobre a permeabilidade das membranas do fungo e da planta, ou por seus efeitos indiretos na disponibilidade de nutrientes. Os fungos micorrízicos arbusculares podem ser

encontrados em solo com pH variando de 2,7 a 9,2 (BOWEN, 1980), ocorrendo, entretanto, diferenças entre as espécies e isolados de fungos quanto à capacidade de germinar e colonizar o hospedeiro em função do pH do solo. A salinidade do solo também influencia na simbiose; concentrações elevadas de sódio e cloro reduzem a germinação dos esporos (SILVEIRA, 1992). A aeração é outro fator importante para o estabelecimento da simbiose, uma vez que esses fungos possuem processo de germinação de esporos estritamente aeróbio (SILVEIRA, 1992). Segundo Saif (1981), o comprimento das raízes colonizadas aumentou duas vezes e a quantidade de vesículas cinco vezes, quando o nível de O₂ do solo passou de 2 para 21%.

A compactação e a erosão do solo também causam efeitos negativos sobre as MAs (BRUNDRETT et al., 1996), pois a camada superficial do solo é um dos principais hábitat das MAs e qualquer alteração nesta camada provocará impactos para associação micorrízica (ABBOTT; GAZEY, 1994; BRUNDRETT et al., 1996).

A presença de metais pesados no solo também pode causar influencias negativas sobre as MAs, pois o excesso de metais reduz a germinação dos esporos, o crescimento micelial e a intensidade da colonização micorrízica (KLAUBERG-FILHO et al., 2005). No entanto, várias espécies de MAs são adaptadas a solos com alto teor de metais pesados (GAUR; ADHOLEYA, 2004).

4.6.4 Características biológicas do solo:

Condições biológicas do solo também interferem nas MAs, pois a presença de nematóides micófagos e colêmbolas (pequenos artrópodes) reduz os propágulos (esporos e hifas) de MAs, uma vez que esses pequenos artrópodes se alimentam de micélio e esporos (SILVEIRA, 1992).

Além da predação e do parasitismo, as micorrizas arbusculares são afetadas pela produção de substâncias tóxicas por outros microorganismos no solo. Os actinomicetos, por exemplo, produzem substancias voláteis, as quais possuem alta atividade inibitória na germinação de esporos de MAs (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo se localiza na Estação Experimental de Piscicultura de Água Doce (Figura 6), instalada na microbacia do Rio Praquiquara (1° 19' S e 47° 57' W). A Estação Experimental, que pertence à Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), localiza-se próximo ao Km 63 da rodovia BR 316, no distrito de Apeú, município de Castanhal, região nordeste do Pará. O experimento (Figura 6) foi implantado em 1999 pelo projeto MANFLORA (Manipulação da disponibilidade de água e nutrientes em floresta secundária na Amazônia oriental), resultado da parceria entre Universidade da Flórida e duas instituições brasileiras, UFRA e Embrapa Amazônia Oriental.

De acordo com Tenório et al. (1999), os solos da área são classificados como Latossolo Amarelo Distrófico Fase Pedregosa I (Concrecionário Laterítico). O clima é do tipo Am3, segundo a classificação de Köppen, com precipitação pluviométrica média anual variando de 2.000 a 2.500 mm (MARTORANO; PEREIRA, 1993). A granulometria e a acidez do solo da área experimental pode ser observada nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Segundo os primeiros registros da área de estudo, a cobertura original era floresta tropical úmida, a qual, aproximadamente em 1939, foi derrubada para agricultura tradicional (derruba-e-queima), em que as principais culturas plantadas eram *Zea mays* (milho) e *Manihot esculenta* Crantz (mandioca), com pousios de cerca de 10 anos (ARAGÃO, 2003). A área foi abandonada em 1987. Na área experimental do Projeto MANFLORA predomina uma floresta secundária latifoliada de aproximadamente 21 anos (Figura 7). As espécies predominantes encontradas na floresta secundária são: *Myrcia sylvatica* (G. mey.) DC., *Myrcia bracteata* (Rich) DC., *Miconia ciliata* (Rich) DC., *Lacistema pubescens* Mart., *Lacistema aggregatum* (Berg.) Rusby, *Paypayrola grandiflora* Tul. e *Ocotea guianensis* Aubl. (PANTOJA, 2002).

O tratamento de manipulação da disponibilidade de água (Figuras 8 e 9) tem sido implementado através de irrigação, desde 2001. A irrigação é realizada por microaspersão durante o período menos chuvoso, convencionado como estação seca (geralmente de julho a dezembro), aplicando-se 5 mm de água por dia. Essa

intensidade de irrigação corresponde às estimativas de evapotranspiração diária em florestas na região (LEAN et al., 1996) e resulta em aumento significativo na disponibilidade de água no solo nas parcelas irrigadas (FORTINI et al., 2003; VASCONCELOS et al., 2004). A serapilheira é removida a cada duas semanas desde 2001 (Figura 8), caracterizando o tratamento de manipulação da disponibilidade de nutrientes do solo (Figura 10).

Tabela 2: Granulometria do solo (0-10 cm) nos tratamentos de irrigação, remoção e controle. Análise realizada em abril de 2009. Dados são médias (n=4).

Tratamento	Análise granulométrica (g kg ⁻¹)			
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila total
Controle	410,75	256,50	228,25	105
Irrigação	397,75	259,25	253,50	90
Remoção	404,50	294,50	186,25	115

Tabela 3: Potencial hidrogeniônico (pH) em água do solo (0-10 cm) nos tratamentos de irrigação, remoção e controle. Dados são médias ± desvio padrão (n=4).

Tratamento	pH do solo em água	
	abril/2009	(setembro/2009
Controle	5,35 ± 0,12 a	5,72 ± 0,09 b
Irrigação	5,44 ± 0,36 a	5,66 ± 0,15 b
Remoção	5,31 ± 0,19 a	5,74 ± 0,11 b

Letras diferentes na linha indicam diferença significativa entre meses pelo teste de Tukey a 5% de significância.

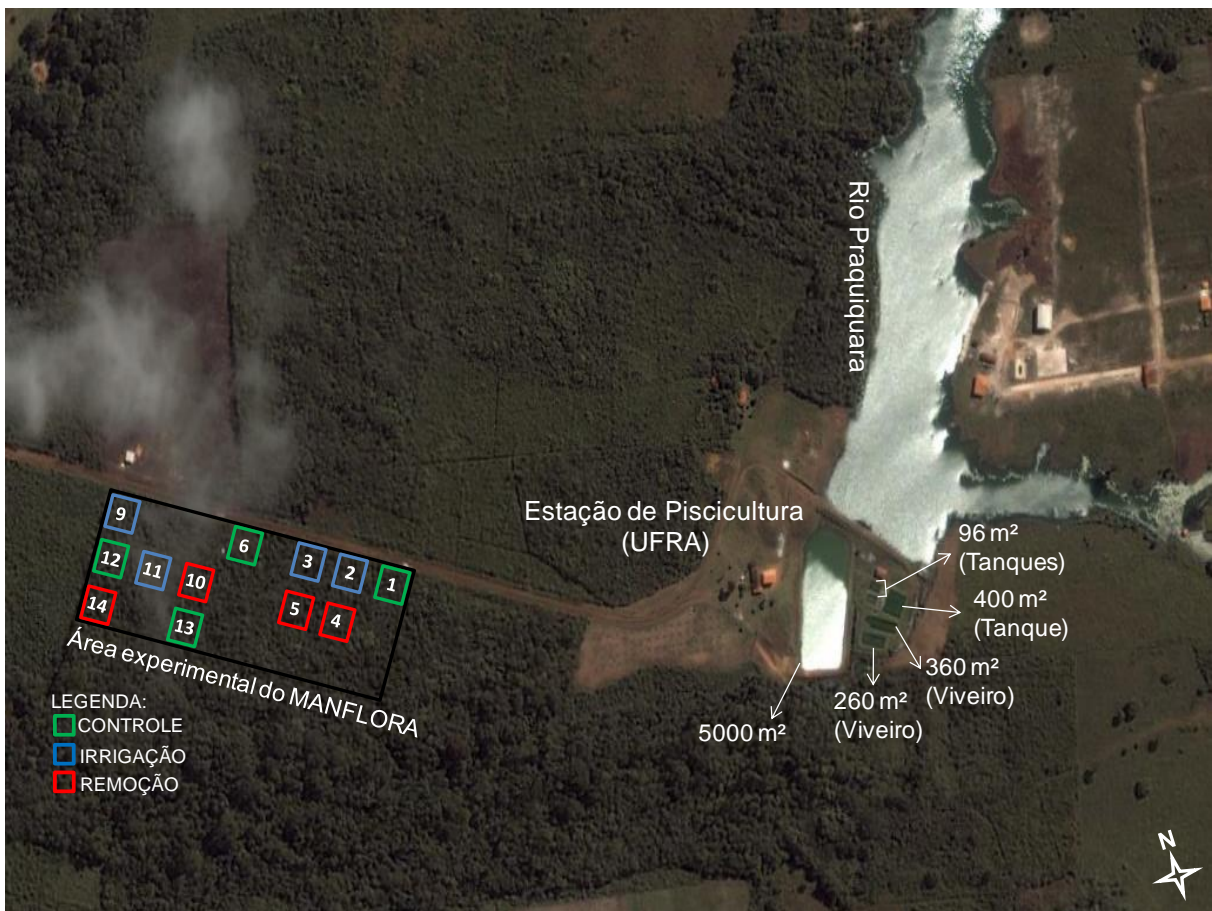


Figura 6: Localização por satélite da Estação Experimental da UFRA. Imagem obtida e modificada do programa Google Earth.
Fonte: Google Earth (2008).



Figura 7: Aspecto da vegetação secundária da área de estudo.



Figura 8: (A) Irrigação realizada por microaspersão. A tubulação branca serve para transportar e distribuir a água nas parcelas irrigadas e a mangueira preta apresenta pequenos orifícios por onde a água sai e irriga as parcelas. (B) Remoção de serapilheira ocorre a cada duas semanas com auxílio de rastelos e ancinhos.

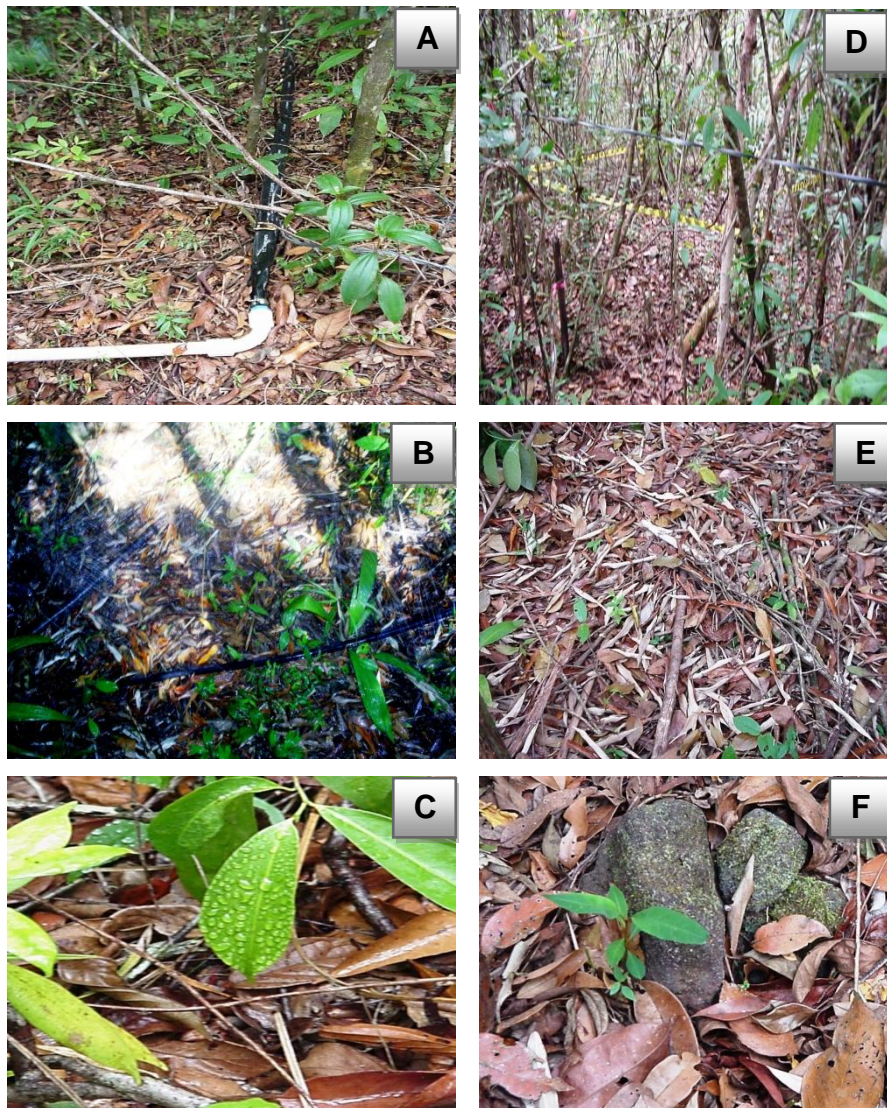


Figura 9: Aspectos das parcelas sob irrigação (A, B e C) e aspectos das parcelas sob controle (D, E e F). Tubulação da irrigação (A); funcionamento da irrigação por microaspersão (B); solo úmido, resultado do tratamento de irrigação (C). Parcela de controle (D); solo sem irrigação (E) e solo seco (F), resultado do período menos chuvoso em setembro.



Figura 10: Aspectos das parcelas sob remoção de serapilheira (A, B e C) e aspectos das parcelas sob controle (D, E e F). Presença de pouca serapilheira (A); pouca disponibilidade de raízes no solo (B); Limpeza da área (C). Presença de muita serapilheira (D); maior disponibilidade de raízes no solo (E) e área sem interferência humana (F).

5.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Na área experimental, foram instaladas, em julho de 1999, 4 parcelas para os tratamentos de irrigação e remoção de serapilheira, além de 4 parcelas de controle (área sem tratamento), totalizando 12 parcelas. As parcelas medem 20 m x 20 m, com uma área interna para coleta de dados de 10 m x 10 m; parcelas adjacentes são separadas por uma distância mínima de 10 m (Figura 11). O delineamento experimental é inteiramente casualizado com 4 repetições.

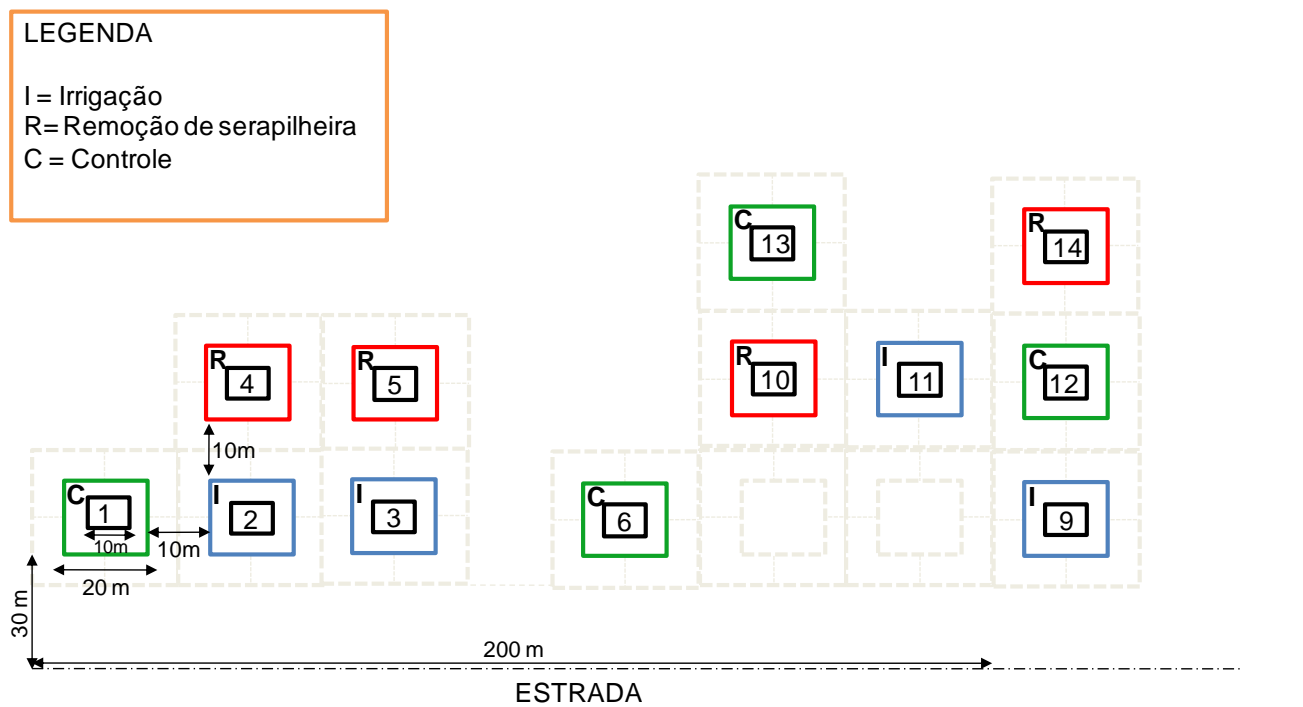


Figura 11. Croqui da área experimental.

5.3 COLETA DE SOLO E RAÍZES

Em cada parcela, coletaram-se quatro amostras simples de solo distribuídas em quatro áreas (Figura 12). Cada área foi dividida em 12 subáreas imaginárias com dimensão de aproximadamente 6,25 m², a fim de que fosse definido por sorteio o local (sub-área) de coleta do material (Figura 12). Em cada subárea sorteada, foram coletadas cerca de 350 g de solo, na profundidade de 0-10 cm, o solo coletado foi armazenado em sacos plásticos identificados. As amostras de solo foram coletadas com auxílio de trado para análise da densidade de esporos, propriedades químicas (nutrientes, pH e glomalina) e físicas (umidade e granulometria).

Aproximadamente 150 g de raízes apogeotrópicas (raízes presentes na superfície do solo com diâmetro <2 mm), foram coletadas manualmente na superfície do solo em uma área de aproximadamente 50 cm x 50 cm. Também foram abertas trincheiras no solo com área de 10 cm x 10 cm para coleta de raízes na profundidade de 0-10 cm. As raízes apogeotrópicas e da superfície de 0-10 cm do solo foram acondicionadas em sacos plásticos identificados e lavadas em água corrente, posteriormente foram armazenadas em frascos contendo solução de FAA (13 mL de formol + 5 mL de ácido acético glacial + 200 mL de etanol 50%). A frequência da avaliação das variáveis de solo está descrita na Tabela 4.

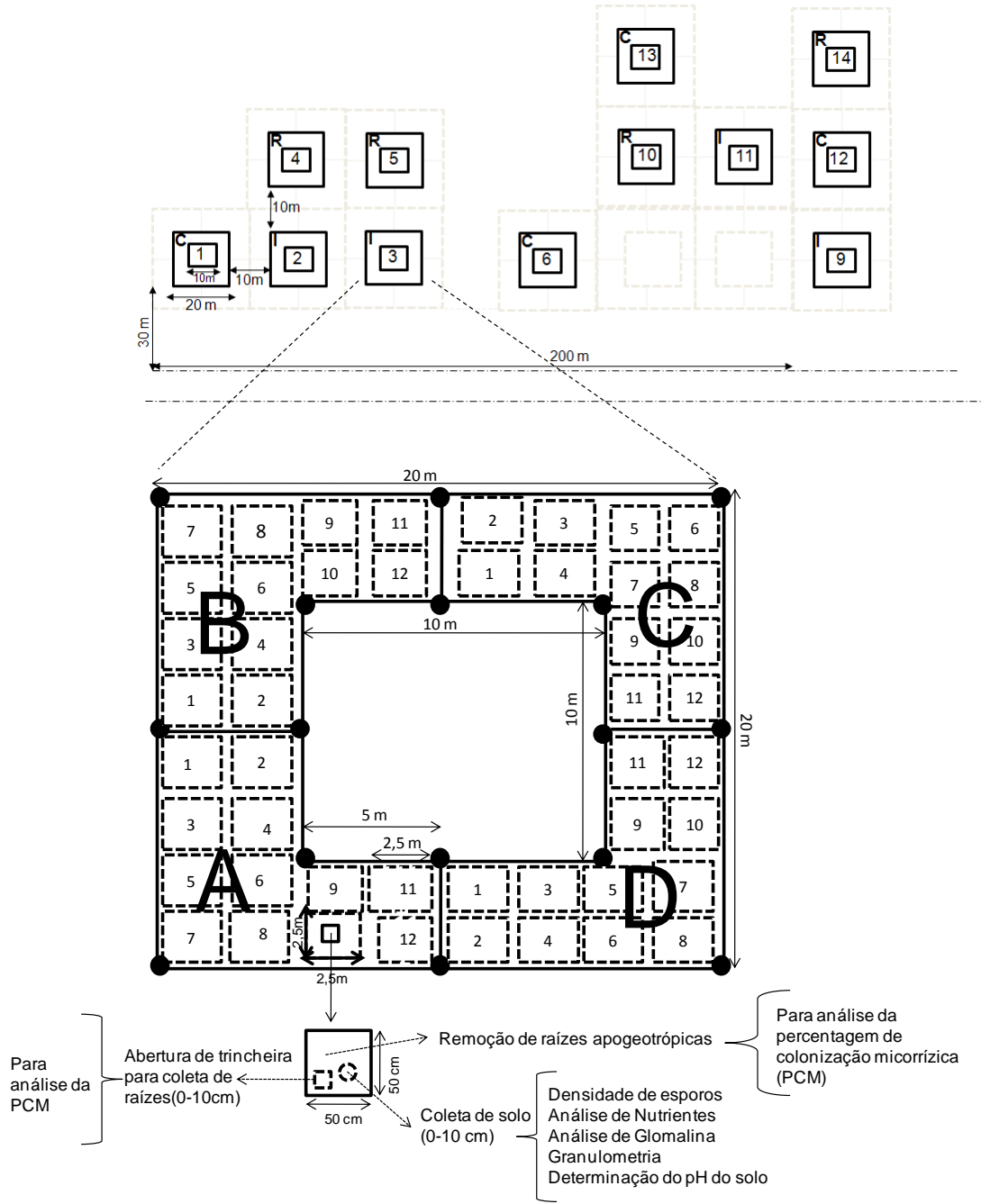


Figura 12: Croqui de uma parcela com a delimitação de áreas (A,B,C,D) e subáreas (1 a 12) usadas para a coleta de amostras.

Tabela 4: Frequência de determinação das variáveis.

Variáveis	Frequência de avaliação	Datas de coleta
Número de esporos no solo		
Número de colonizações na raiz (apogetrópicas)	Bimestralmente	03/12/2008; 18/02/2009; 14/04/2009; 17/06/2009;
Umidade do solo		17/08/2009; 22/09/2009
Número de colonizações na raiz (0-10 cm)		
Glomalina	Semestralmente	14/04/2009; 22/09/2009
Propriedades físico-químicas		

5.4 PREPARO DO SOLO PARA ANÁLISE DE DENSIDADE DE ESPOROS

No Laboratório de Ecofisiologia Vegetal e Propagação de Plantas da Embrapa Amazônia Oriental, o solo foi peneirado (malha 2 mm). A extração dos esporos foi realizada com a técnica de peneiramento úmido (GERDEMANN; NICOLSON, 1963) (Figura 13), de 10 g de solo seco, seguido de centrifugação em água e posteriormente em sacarose a 45% (JENKINS, 1964), sendo quatro repetições por amostra. Após a centrifugação, os esporos foram transferidos para placa de Petri. A contagem do número de esporos foi realizada com auxílio de um microscópio estereoscópico (4x), modelo DMW 143, marca Motic. Apenas os esporos viáveis foram contados, isto é, aqueles que apresentaram suas estruturas preservadas. Posteriormente, os esporos foram montados em lâminas, contendo álcool polivinílico 75% (SIEVERDING, 1991) para futura identificação taxonômica.

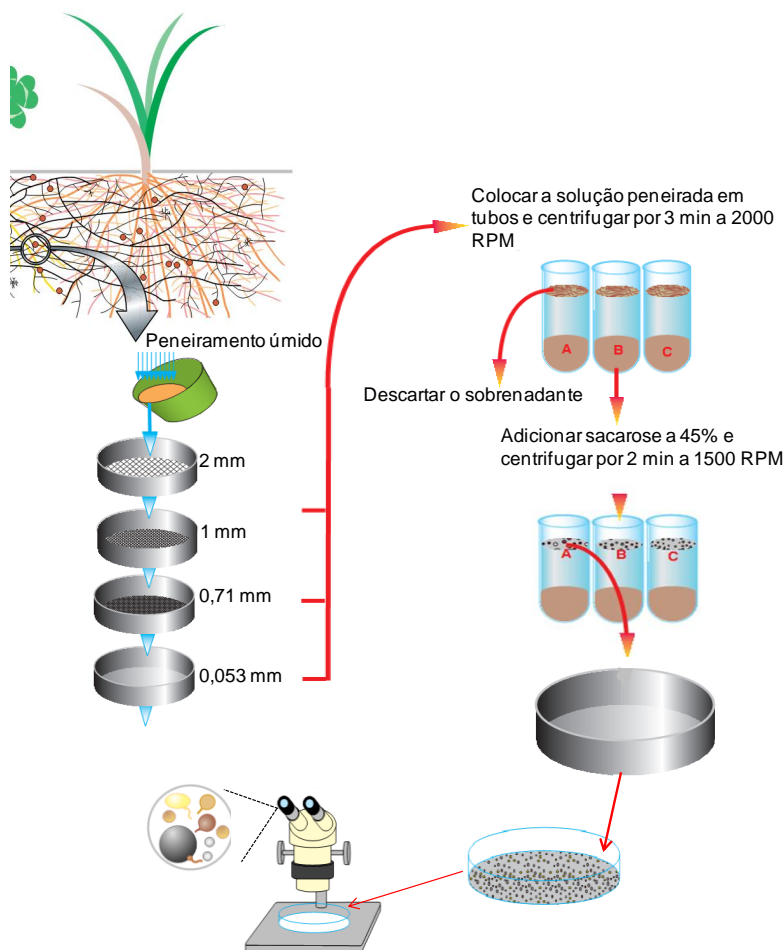


Figura 13: Ilustração da metodologia de extração de esporos de acordo com Gedermann e Nicolson (1963). Foto modificada do site.

Fonte: Brundrett (2008)

5.5 PREPARO DE RAÍZES PARA AVALIAÇÃO DA COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA

No laboratório de Ecofisiologia Vegetal e Propagação de Plantas da Embrapa Amazônia Oriental, as raízes foram imersas em solução clareadora de hidróxido de potássio (KOH) a 10% por 72 horas. Em seguida, foram aquecidas em banho-maria (90 °C por 30 min). Posteriormente, as raízes ficaram em repouso em ácido clorídrico (HCl) 2% durante 15 minutos e foram coradas com azul de tripano a 0,05% em lactoglicerol (PHILLIPS; HAYMAN, 1970) (Figura 14).

A percentagem de colonização micorrízica (PCM) de 60 segmentos de raízes de 1 cm de comprimento em cada parcela foi avaliada no microscópio. Para a contagem das interseções micorrízicas, utilizou-se o método da ampliação das interseções (McGONIGLE et al., 1990). Com o auxílio de uma lente ocular milimetrada de 1000 µm e uma objetiva de 10x, foi observado cada pedaço de raiz em todo seu comprimento de 1000 em 1000 µm. Para cada secção de 1000 µm, foram classificadas como interseções positivas aquelas com presença de estruturas de MAs, como arbúsculos, hifas e vesículas. A ausência dessas estruturas resultou em interseções negativas. A porcentagem de colonização micorrízica (PCM) foi calculada de acordo com a equação abaixo:

$$PCM = \left(\frac{\text{N}^{\circ} \text{ de interseções positivas}}{\text{N}^{\circ} \text{ de interseções positivas} + \text{N}^{\circ} \text{ de interseções negativas}} \right) \times 100$$

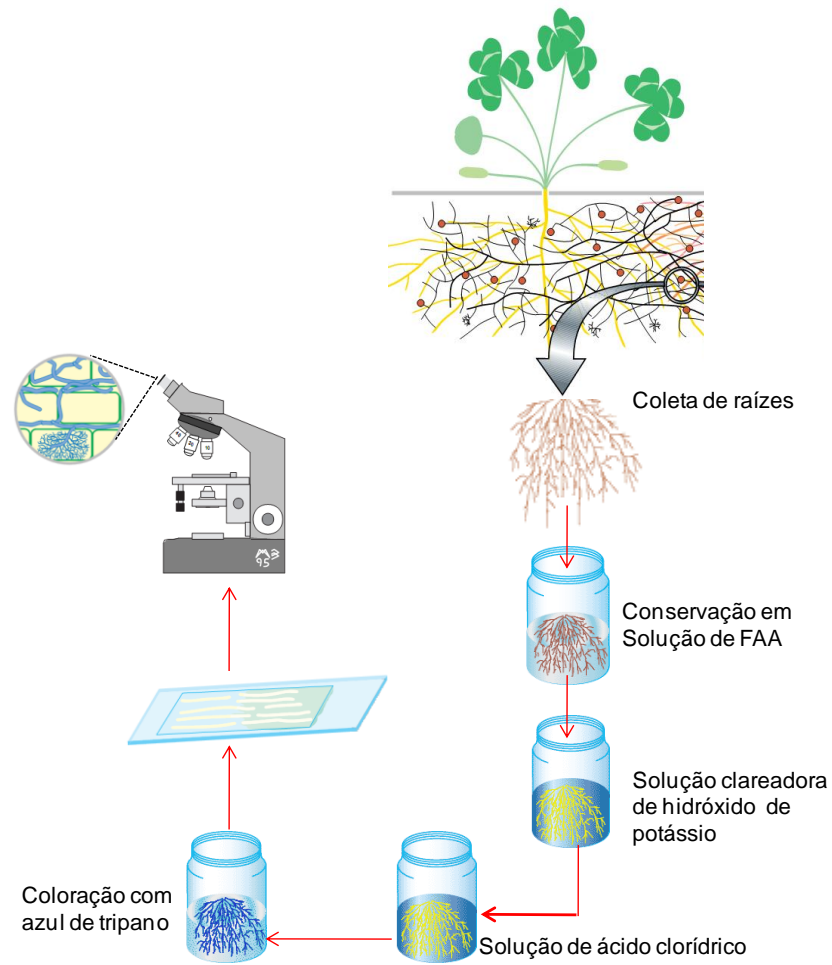


Figura 14: Ilustração da metodologia de coloração de raízes de acordo com Phillips e Hayman (1970). Foto modificada do site.
Fonte: Brundrett (2008)

5.6 GLOMALINA TOTAL

Para determinar a glomalina total foi pesado aproximadamente 0,5 g de solo, ao qual foram adicionados 4 mL de citrato de sódio 50 mM. Posteriormente o material foi submetido à autoclavagem a 121°C e 1 atm, durante 30 minutos, por quatro vezes. Em seguida, o sobrenadante total foi retirado e centrifugado a 10000 rpm durante 5 minutos e 100 µL da amostra foram retirados, aos quais foram adicionados imediatamente 5 mL do reativo de Bradford. O método foi adaptado de Wright (1998).

5.7 ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO

Foram determinadas as concentrações de nitrogênio total pelo método de extração por digestão sulfúrica, segundo Mulvaney (1996). As concentrações de: Fósforo total, fósforo orgânico, fósforo disponível e carbono orgânico foram determinadas pelo método colorimétrico de acordo com Murphy e Riley (1962).

5.8 ANÁLISE DOS DADOS

Análise de variância de medidas repetidas foi empregada para testar o efeito da irrigação, remoção de serapilheira e controle sobre colonização micorrízica, densidade de esporos e atributos químicos do solo. As médias foram comparadas com o teste de Tukey a 5%. As análises foram realizadas com o programa estatístico Sigma Stat for Windows, Versão 3.5 (Systat Software. Inc., EUA, 2006).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 TRATAMENTO DE IRRIGAÇÃO

Houve efeito significativo da interação entre irrigação e data de coleta sobre a umidade do solo (Tabela 5, Figura 15B). Durante o período de irrigação, a umidade do solo nas parcelas irrigadas foi significativamente maior do que nas parcelas não-irrigadas (Figuras 15A e 15B). Houve um aumento relativo de 13% no teor de umidade do solo nas parcelas irrigadas em comparação ao controle (Figura 15B). De fato, esse resultado mostra que a irrigação começou tardiamente, pois no período pré-irrigação a umidade do solo em agosto foi significativamente menor do que nos meses anteriores (fevereiro a junho, Figura 15B).

A colonização micorrízica nas raízes apogeotrópicas e raízes na superfície de 0-10 cm do solo não foram sensíveis a alterações na umidade do solo ocorridas durante a irrigação na época seca (Figuras 15C e 16). O aumento da umidade no solo durante o período menos chuvoso (Figura 15B) não foi suficiente para alterar significativamente a colonização micorrízica no sistema radicular da vegetação secundária na área de estudo. Talvez se houvesse um período seco mais severo na região do estudo, como ocorre em outras regiões a exemplo do cerrado, o tratamento de irrigação do solo durante a época seca poderia influenciar diretamente na intensidade da colonização micorrízica, uma vez que as diferenças de temperatura e umidade no solo poderiam ser mais acentuadas entre áreas irrigadas e não irrigadas. Para que haja algum efeito significativo da umidade no solo na colonização micorrízica é necessário que o aumento ou diminuição da umidade no solo sejam extremos (CUI; NOBEL, 1992; STUTZ; MORTON, 1996).

De acordo com uma revisão de Augé (2001) sobre o efeito da disponibilidade de água no solo sobre a diversidade das MAs em sistemas de cultivo agrícolas e espécies de vegetação secundária, a maioria dos trabalhos constatou que o excesso de umidade diminuiu a colonização micorrízica, enquanto que a seca crônica promoveu maior colonização de espécies vegetais no campo. No entanto, a diminuição ou o aumento da precipitação pluviométrica não influenciou a colonização micorrízica nos ecossistemas observados (AUGÉ, 2001).

Veluci (2007) avaliou a variação temporal da colonização micorrízica em raízes coletadas na profundidade de 0-5 cm nas mesmas parcelas de irrigação e controle deste estudo e observou que em apenas uma coleta a colonização micorrízica foi significativamente maior no tratamento de irrigação. No entanto, em três coletas realizadas durante a estação chuvosa, não houve diferença significativa entre os tratamentos de irrigação e controle (VELUCI, 2007), de acordo com os resultados do presente estudo.

Para Bolgiano et al (1983) o efeito da disponibilidade de água no solo sobre as MAs deve ser analisado cuidadosamente, considerando-se principalmente a disponibilidade de P no solo, pois a diminuição ou aumento da disponibilidade de água no solo, acompanhado da redução da disponibilidade de P, pode eliminar o mais direto efeito de disponibilidade de água sobre a colonização micorrízica. Nos tratamentos de controle e irrigação, as concentrações de P orgânico e de P disponível foram significativamente maiores no período chuvoso do que no seco (Figuras 17B e 17C). Mesmo com a diminuição do teor de fósforo (Figuras 17B e 17C) e aumento da disponibilidade de água em setembro nas parcelas de irrigação (Figura 15B), a PCM em raízes apogeotrópicas (Figura 15C) e raízes de 0-10 cm (Figura 16) não foi alterada em relação ao período chuvoso.

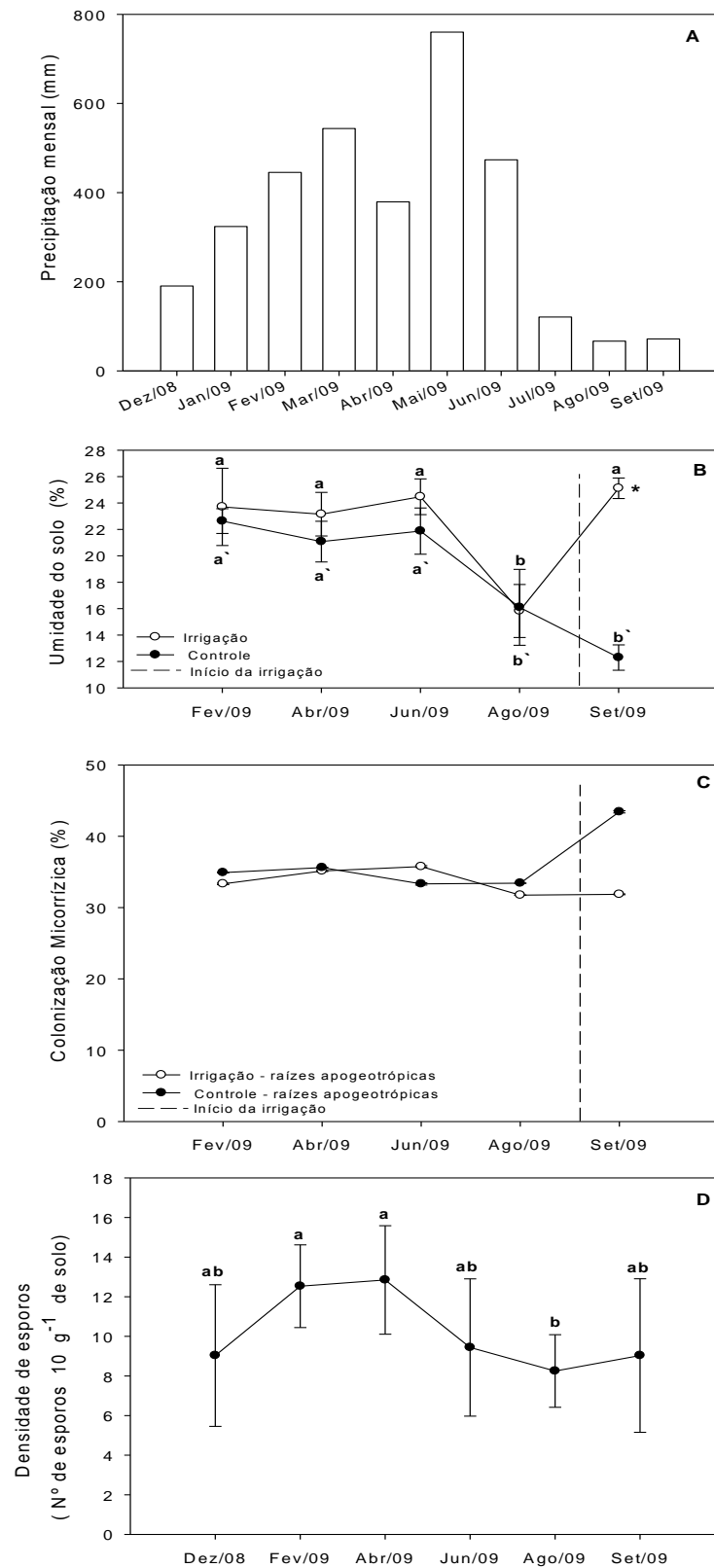


Figura 15: (A) Precipitação pluviométrica mensal na área experimental do projeto. (B) Umidade do solo no campo. (C) Porcentagem de colonização micorrízica arbuscular sob tratamento de irrigação em floresta secundária na Amazônia Oriental. (D) Efeito do tratamento de irrigação sobre a densidade de esporos de MAs em floresta secundária na Amazônia Oriental. Dados são médias \pm desvio padrão. Para as figuras A, B e C, $n=4$ e para D, $n=8$. Letras a e b foram usadas para indicar diferença significativa entre os períodos de coleta e * entre os tratamentos. A diferença significativa foi avaliada pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

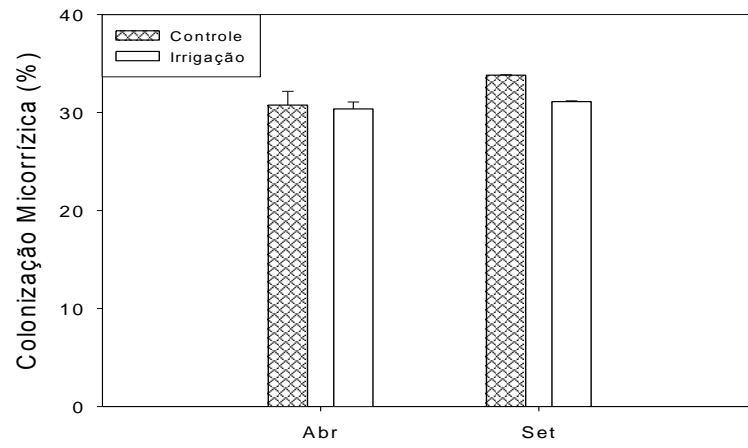


Figura 16: Porcentagem de colonização micorrízica em raízes de 0-10 cm sob tratamento de irrigação na época chuvosa (abril) e seca (setembro). Dados são médias \pm desvio padrão (n=4).

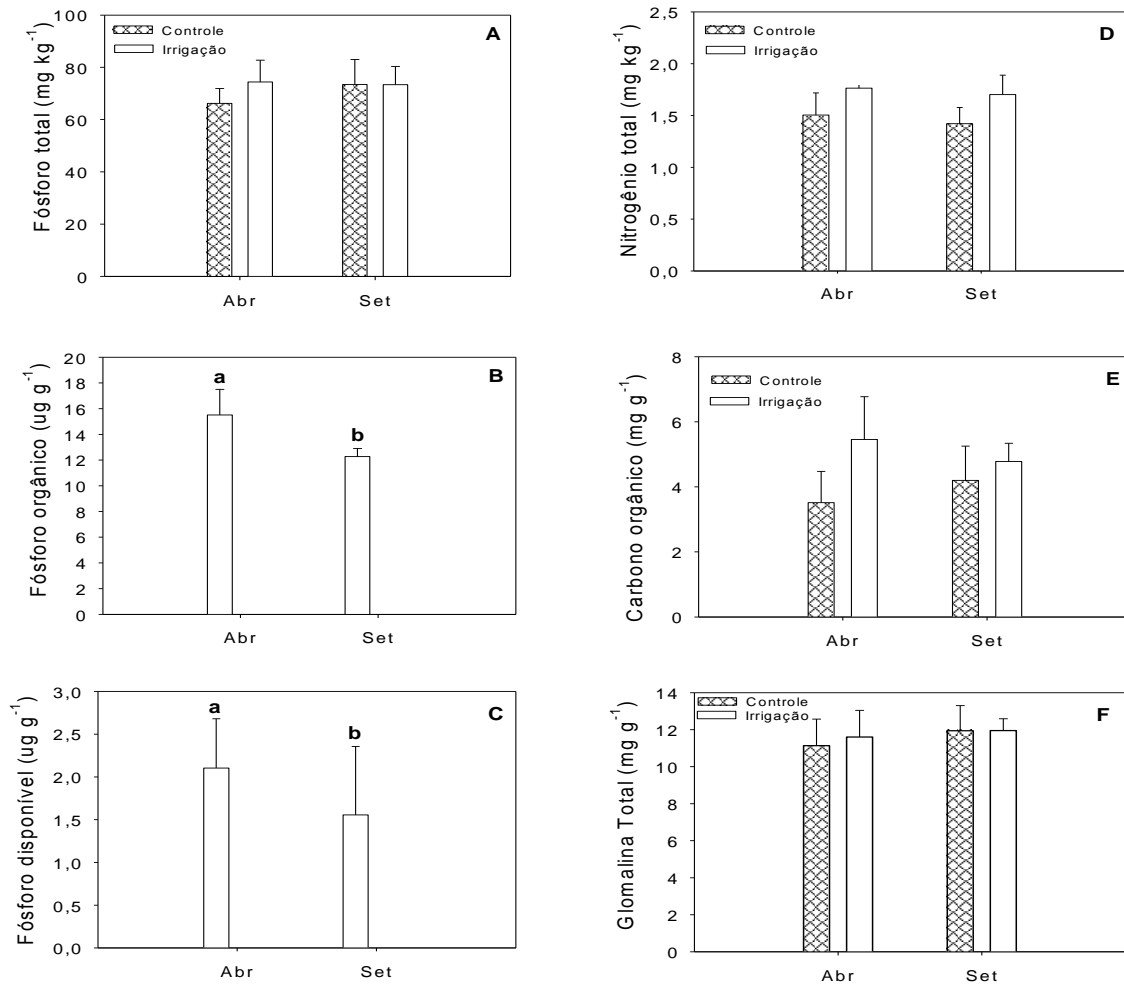


Tabela 5: Resultado geral do valor de “p” encontrado a partir da análise de variância e pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade. Os valores de “p” em negrito apresentam diferença significativa.

VARIÁVEL	IRRIGAÇÃO			REMOÇÃO		
	Tratamento	Data	Tratamento X Data	Tratamento	Data	Tratamento X Data
Esporos	P= 0,159	P=0,006	P= 0,188	P= 0.187	P= 0.001	P=0.271
Colonização Micorrízica (raiz apog)	P=0.122	P=0.844	P=0.453	P=0.001	P=0.377	P=0.904
Colonização Micorrízica (raiz de 0-10 cm)	P=0.542	P=0.455	P=0.642	P=0.001	P=0.003	P=0.030
Glomalina Total	P=0.762	P=0.285	P=0.651	P=0.022	P=0.170	P=0.554
Fósforo Total	P=0.268	P=0.509	P=0.384	P=0.145	P=0.093	P=0.505
Fósforo Orgânico	P= 0.355	P=0.006	P=0.649	P=0.212	P=0.003	P=0.396
Fósforo Disponível	P=0.293	P=0.005	P=0.704	P=0.823	P=0.003	P=0.953
Nitrogênio Total	P=0.038	P=0.548	P=0.933	P=0.028	P=0.614	P=0.240
Carbono Orgânico	P=0.069	P=0.935	P=0.180	P=0.005	P=0.145	P=0.842
Umidade do Solo	P=0.002	P=0.001	P=0.001	P=0.002	P=0.001	P=0.031

A densidade de esporos foi afetada significativamente apenas pela época de coleta (Tabela 5, Figura 15D), sendo que a densidade de esporos foi significativamente maior em fevereiro e abril (período chuvoso) do que em agosto (período seco). Esse resultado não foi o esperado uma vez que os esporos são estruturas de resistências das micorrizas arbusculares, apresentam elevada capacidade de sobrevivência sob condições adversas, incluindo secas prolongadas e altas temperaturas (BRUNDRETT, 1991).

A diminuição na densidade de esporos durante o período seco pode ser atribuída a algumas espécies de fungos micorrízicos arbusculares cuja produção de esporos é sensível a pequenas mudanças ambientais como diminuição na umidade do solo. Essa afirmação é baseada nas pesquisas de Tommerup (1984), Sieverding e Toro (1988) e Sieverding (1983), que encontraram diferentes produções de esporo, dependendo da espécie de fungo micorrízico, quando houve aumento de temperatura e diminuição de umidade do solo em casa de vegetação e no campo. No presente estudo não foi realizada a identificação taxonômica das MAs para saber se existe diferença de esporulação entre as espécies durante a transição do período chuvoso para seco, contudo os esporos foram preservados em lâminas permanentes para futura identificação taxonômica.

Veluci (2007) analisou a densidade de esporos na mesma área do presente estudo e afirmou que, em algumas amostras de solo nas parcelas do controle, a densidade de esporos foi menor durante a estação seca, porém não houve diferença significativa na densidade de esporos entre o tratamento de irrigação e controle.

Quanto aos teores de fósforo total, nitrogênio total, carbono orgânico total e glomalina total (Figuras 17A, 17D, 17E e 17F), não foi verificada nenhuma diferença significativa entre os tratamentos e nem entre períodos de coleta. Veluci (2007) também não encontrou diferença significativa entre os tratamentos de irrigação e controle para os teores de nitrogênio e carbono no solo.

Os teores de fósforo disponível e fósforo orgânico (Figuras 17B e 17C) foram maiores durante a estação chuvosa em relação à estação seca. Pesquisas já mostraram a existência de uma relação direta entre o coeficiente de difusão de fósforo no solo e o conteúdo volumétrico de água. Quando a umidade aumenta, o filme de água próximo das partículas do solo fica mais espesso, diminuindo a interação fósforo-colóide (RUIZ, 1986). Sabe-se que a forte interação entre fósforo e colóides do solo reduz o transporte de fósforo no solo, especialmente em solos

tropicais muito intemperizados, como é o caso dos solos amazônicos (COSTA, 1998). Portanto o maior conteúdo de água no solo pode favorecer a disponibilidade de P.

Veluci (2007) também encontrou aumento da disponibilidade de P nas parcelas de controle e irrigação durante duas coletas no período chuvoso. Um estudo sobre difusão de fósforo em solo do tipo latossolo amarelo influenciado pela umidade mostrou que o maior conteúdo de água parece favorecer a difusão de P no solo (COSTA et al., 2009).

6.2 TRATAMENTO DE REMOÇÃO DE SERAPILHEIRA

A colonização micorrízica em raízes apogeotrópicas e não-apogeotrópicas (0-10 cm) foi significativamente inferior no tratamento de remoção do que no controle (Figuras 18C e 19). Embora o objetivo desse tratamento tenha sido causar redução na disponibilidade de nutrientes do solo, a remoção da serapilheira por meio de “varrição” inevitavelmente resultou em redução do sistema radicular apogeotrópico, como constatado visualmente (Figura 20). Logo, ao remover as raízes apogeotrópicas, que são os principais locais de desenvolvimento das MAs na superfície do solo (BELLGARD, 1993; BRUNDRETT, 1991; BRUNDRETT et al., 1996), muito provavelmente ocorreu um impacto direto sobre a colonização micorrízica.

A massa de raízes de 0-10 cm do solo também foi reduzida com a retirada de serapilheira, que diminuiu significativamente a colonização micorrízica em comparação ao controle (Figura 19). Raízes de 0-10 cm são muitas vezes continuidade das raízes superficiais do solo (apogeotrópicas) (JANOS, 1980). Logo, a redução de colonização micorrízica em raízes de 0-10 cm pode ser reflexo da redução de colonização em raízes apogeotrópicas.

O presente estudo mostrou de fato que a retirada de raízes que colonizam a serapilheira no solo foi determinante para reduzir a intensidade da colonização micorrízica, pois as raízes são os principais habitats das micorrizas arbusculares, além de serem importantes locais de propagação e reprodução para os fungos micorrízicos arbusculares. Considerando que os fungos micorrízicos arbusculares são microorganismos importantes que contribuem para o equilíbrio e estruturação da cadeia trófica, logo a diminuição da colonização micorrízica implica certo desequilíbrio no funcionamento do solo.

Um estudo da variação temporal da colonização micorrízica em raízes de 0-5 cm, realizado na mesma área experimental do presente estudo, mostrou maior colonização na remoção em comparação ao controle em duas épocas de coleta (VELUCI, 2007). Porém, em uma data de coleta, a colonização micorrízica foi significativamente menor na remoção. Esses resultados se devem provavelmente ao fato das coletas e análises de raízes realizadas por Veluci (2007) terem ocorrido nos primeiros 42 meses do início do tratamento de remoção de serapilheira. Provavelmente os resultados do presente estudo refletiram os efeitos de mais longo

prazo da remoção da serapilheira sobre a colonização micorrízica, que incluem o desgaste da camada mais superficial do solo e danos mecânicos mais severos às raízes.

Os resultados mostrados neste trabalho indicam também que a colonização micorrízica pode ser utilizada como indicador de saúde do ecossistema (ISE) em florestas secundárias na Amazônia, uma vez que o impacto causado no solo pela retirada de serapilheira afetou diretamente a colonização micorrízica arbuscular, resultando em redução bastante significativa em relação ao controle (Figura 18C, Tabela 5).

Vários estudos realizados em floresta secundária mostraram que a remoção de serapilheira afetou os microorganismos do solo, especialmente os fungos. Em floresta tropical úmida no Panamá, a remoção de serapilheira resultou em impacto na ciclagem de nutrientes no solo, reduzindo a concentração de nitrogênio, fósforo e potássio, e diminuiu a disponibilidade de substrato para fungos e bactérias (SAYER, 2006). Jandl e Sollins (1997) realizaram um experimento com remoção de serapilheira a cada duas semanas em floresta secundária nos Estados Unidos e concluíram que, após 12 meses de remoção de serapilheira, houve diminuição da biomassa e do comprimento de hifas de fungos na superfície (0-5 cm) do solo. A remoção de serapilheira por 7 anos reduziu a biomassa e a atividade de fungos em floresta secundária em Porto Rico (LI et al., 2005). Habte (1989) constatou que a remoção de 7,5 cm da superfície do solo de floresta tropical úmida diminuiu em 55% a quantidade de propágulos de fungos micorrízicos nativos.

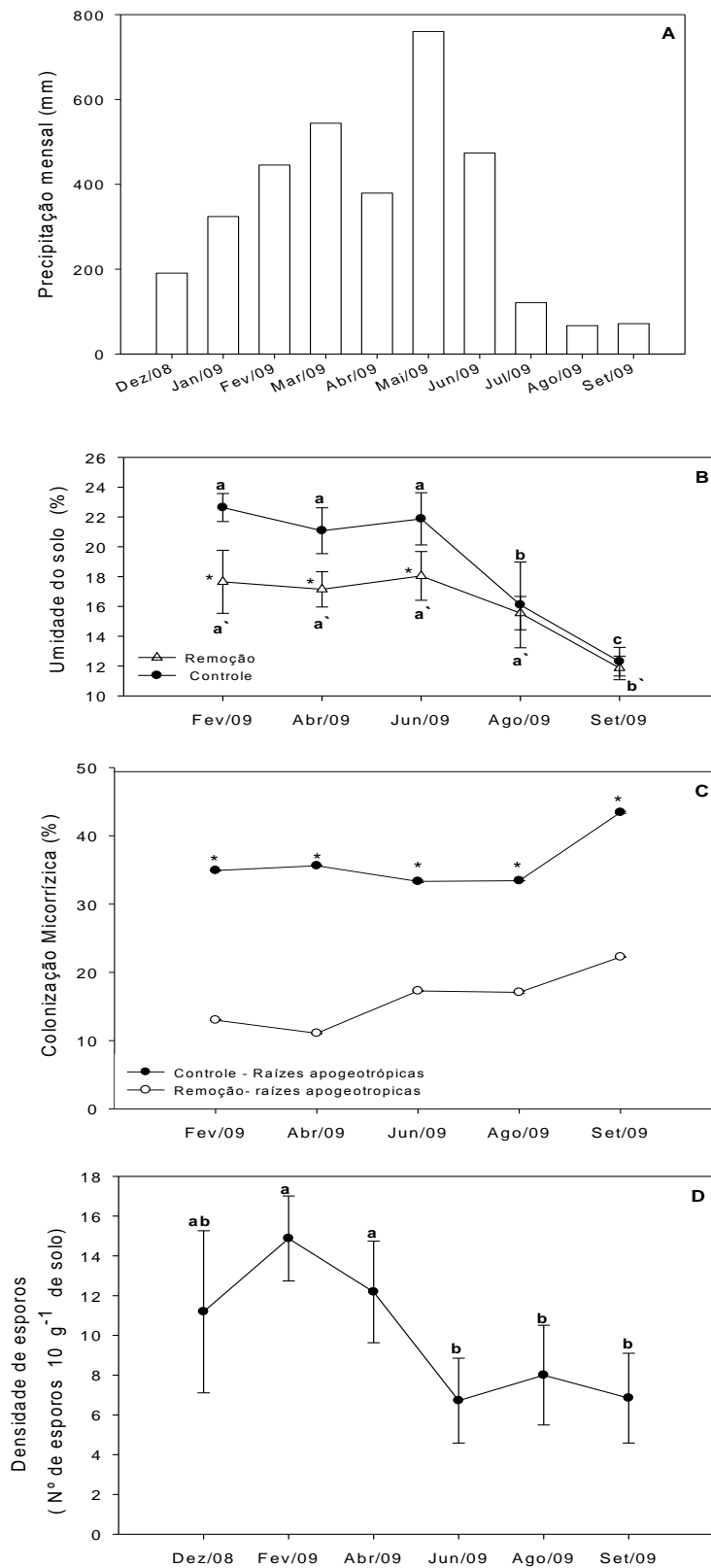


Figura 18: (A) Precipitação pluviométrica mensal na área experimental do projeto. (B) Umidade do solo no campo. (C) Porcentagem de colonização micorrízica arbuscular sob tratamento de remoção em floresta secundária na Amazônia Oriental. (D) Efeito do tratamento de remoção sobre a densidade de esporos de MAS em floresta secundária na Amazônia Oriental. Dados são médias \pm desvio padrão. Para as figuras A, B e C, $n=4$ e para D, $n=8$. Letras a e b foram usadas para indicar diferença significativa entre os períodos de coleta e * entre os tratamentos. A diferença significativa foi avaliada pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

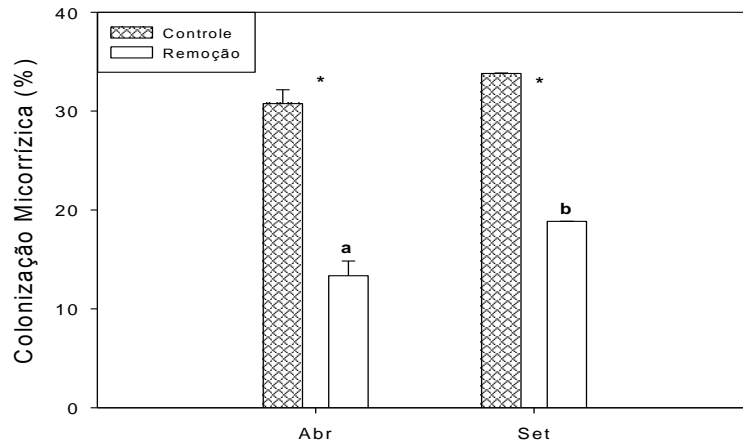


Figura 19: Porcentagem de colonização micorrízica em raízes de 0-10 cm sob tratamento de remoção. Dados são médias \pm desvio padrão ($n=4$). Letras a e b indicam diferença significativa entre os períodos de coleta e * entre os tratamentos. A diferença significativa foi avaliada pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.



Figura 20: Varredura da serapilheira (A). Escassez de raízes apogetrópicas (B). Parcela de remoção no período seco (C). Parcela de remoção no período chuvoso (D).

A remoção de serapilheira não alterou significativamente a densidade de esporos das MAs (Figura 18D), possivelmente porque os esporos são resistentes a distúrbios ambientais. Além disso, com exceção de algumas espécies como *Glomus intraradice* que produz esporos no interior da raiz, a maioria das MAs produzem esporos diretamente no solo. Desse modo os esporos são menos prejudicados com a retirada de serapilheira do que as hifas e arbúsculos que ficam no interior das raízes.

A densidade de esporos foi significativamente menor nos meses mais secos (Figuras 18A e 18D), embora os esporos sejam resistentes à seca (JOHNSON; PFLEGER, 1992). Esse resultado foi semelhante ao encontrado no tratamento de irrigação (Tabela 15D) cuja densidade de esporos também foi reduzida no período menos chuvoso. Dessa forma, presume-se que algumas espécies de fungos micorrízicos arbusculares são sensíveis a variações de umidade no solo, conforme visto por Tommerup (1984) e Sieverding (1983), reduzindo assim a produção de esporos durante o período mais seco.

A remoção de serapilheira reduziu significativamente a disponibilidade de nitrogênio (Figura 21D) e carbono orgânico no solo (Figura 21E), o que está de acordo com resultados prévios, obtidos no mesmo sítio experimental, que mostraram redução na ciclagem de carbono e nitrogênio com a remoção de serapilheira (VASCONCELOS et al, 2004; VELUCI, 2007). Apesar da redução na disponibilidade de nitrogênio e carbono orgânico no solo com a remoção de serapilheira e da diminuição da disponibilidade de fósforo durante a estação seca (Figuras 21B e 21C), fatores que teoricamente aumentariam a colonização micorrízica no sistema radicular apogeotrópico e na superfície de 0-10 cm do solo, não foi observado aumento na colonização micorrízica nessas condições. Esses resultados mostram que a retirada de serapilheira foi um fator determinante para a redução da colonização micorrízica independentemente da diminuição na disponibilidade de nutrientes (nitrogênio e carbono) provocados também pela remoção de serapilheira no solo.

O estoque de glomalina total no solo também foi reduzido significativamente (Figura 21F) no tratamento de remoção. Como a glomalina é uma substância produzida pelas hifas das MAs, provavelmente a redução de hifas no interior das raízes, ou seja a colonização micorrízica, (Figuras 18C e 19) ocasionou a diminuição de produção e excreção de glomalina para o solo. Neste caso a glomalina também

pode ser usada como indicador de qualidade do solo ou indicador de saúde do ecossistema, pois o teor de glomalina no solo está interligado à colonização micorrízica afetada pela remoção de serapilheira. Desse modo a redução de glomalina no solo também pode ser usada como indicador de alteração no ecossistema.

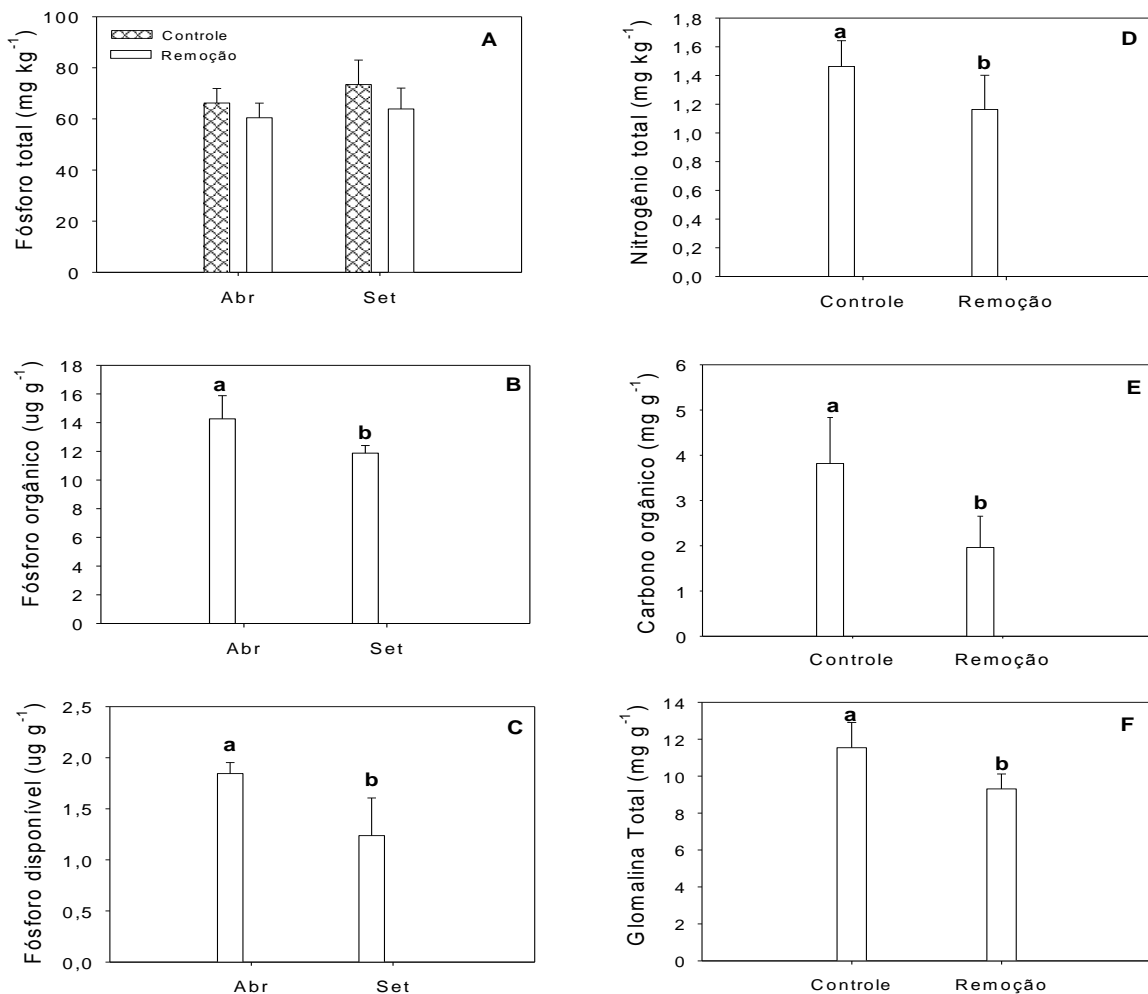


Figura 21: (A) Concentração de fósforo total no solo. (B) Fósforo orgânico no solo. (C) Fósforo disponível no solo, (D) Nitrogênio total no solo, (E) Carbono orgânico do solo e (F) Glomalina total no solo no mês de abril (estação chuvosa) e setembro (estação seca). Para (B) Fósforo orgânico e (C) Fósforo disponível, houve diferença significativa entre o período de coleta, dados são média \pm desvio padrão, (n=4). E para as figuras (D) Nitrogênio total, (E) carbono orgânico e (F) Glomalina total, houve diferença no tratamento. Dados são média \pm desvio padrão, (n=8). Letras a e b indicam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A redução da disponibilidade de nitrogênio e carbono orgânico no solo como consequência da remoção de serapilheira sugere que a decomposição da serapilheira é um importante fornecedor de nitrogênio e carbono para a floresta secundária. De acordo com Veluci (2007), a disponibilidade de N e C no solo foi provavelmente reduzida nas parcelas de remoção devido ao longo período (4 anos) de retirada da serapilheira, que diminuiu a presença de substrato (serapilheira) no solo e conseqüentemente reduziu a atividade microbiana (fungos e bactérias) que contribuem para decomposição do substrato, mineralização e disponibilização de nutrientes no solo (VELUCI, 2007; SAYER, 2005). Em floresta tropical úmida no Panamá a remoção de serapilheira resultou na diminuição de 20% da concentração de nitrogênio total no solo e 26% da concentração de carbono total no solo (VINCENT et al., 2010).

A disponibilidade de P no solo não foi afetada pela remoção de serapilheira. Isso mostra que a serapilheira não é o principal fornecedor de fósforo para o solo na área experimental deste estudo. Sabe-se que a concentração de fósforo na serapilheira da área do presente estudo foi considerada baixa, segundo Vasconcelos et al. (2008) e Veluci (2007). Foi também sugerido que o local do presente estudo pode ter fonte suficiente de P através da mineralização da matéria orgânica do solo, afirmação baseada em estudos que mostraram quantidades consideráveis de frações de P-lábil em floresta secundária na Amazônia (FRIZANO et al., 2003; MARKEWITZ et al., 2004; VELUCI, 2007). A elevada produção de fosfatase pelas raízes das plantas e microorganismos em florestas secundárias com baixo teor de P (MARSCHNER, 2002) também pode ter contribuído para que a remoção de serapilheira não alterasse a disponibilidade P no solo.

Em floresta tropical úmida no Panamá, após 3 anos de remoção de serapilheira houve redução de 23% da concentração de fósforo orgânico nos primeiros 2 cm do solo (VINCENT et al., 2010). O estudo estimou que a cada ano foi perdido cerca de $1,4 \text{ Kg P ha}^{-1}$, sendo que as plantas precisam absorver anualmente cerca de $6,4 \text{ Kg P ha}^{-1}$, de acordo com Kaspari et al. (2008). A pesquisa mostrou que o fósforo orgânico perdido pela remoção de serapilheira contribuiria com apenas 20% do total de fósforo requerido para suprir o crescimento da floresta (VINCENT et al. 2010). Os resultados do estudo revelaram que a grande proporção de fósforo necessária para o crescimento da planta pode ser obtida a partir do solo e não necessariamente da serapilheira (VINCENT et al., 2010).

7 CONCLUSÕES

- O tratamento de irrigação durante o período seco não influenciou a colonização micorrízica e a densidade de esporos, sugerindo que o aumento da umidade do solo durante a estação seca não é capaz de aumentar a micorrização, contrariando o que foi afirmado na hipótese desta pesquisa.
- A colonização micorrízica em raízes apogeotrópicas e raízes de 0-10 cm foram reduzidas no tratamento de remoção de serapilheira em comparação ao controle, confirmando a hipótese de que perturbações na camada superficial do solo podem alterar a colonização micorrízica.
- Apesar dos esporos serem considerados as principais estruturas de resistência das MAs, a densidade de esporos foi sensível à variação da precipitação pluviométrica durante o período seco.
- A densidade de esporos não foi sensível à retirada de serapilheira no solo, o que está de acordo com a reconhecida tolerância de esporos a perturbações no ambiente.
- A remoção de serapilheira causou impactos na disponibilidade de nutrientes no solo, evidenciada pela redução da concentração de nitrogênio e carbono orgânico no solo.
- A redução do estoque de glomalina total no solo pode estar associada à redução da colonização micorrízica no tratamento de remoção de serapilheira.

REFERÊNCIAS

ABBOTT, L.D.; GAZEY, C. An ecological view of the formation of Vesicular arbuscular mycorrhizae. **Plant and Soil**, v.159, p.69-78, 1994.

ALLEN, M.F. Mycorrhizae and rehabilitation of disturbed arid soils. Processes and practices. **Arid Land Research and Management**, v.3, p.229-241, 1989.

AUGÉ, R.M. Arbuscular Mycorrhizae and soil/plant water relations. **Canadian Journal of Soil Science**, v.84, p. 373-381, 2004.

AUGÉ, R. M. Water relations, drought and Vesicular Arbuscular Mycorrhizal symbiosis. **Mycorrhiza**, v.11, p.3-42, 2001.

ARAGÃO, D.V. **Comportamento ecofisiológico de *Miconia ciliata* (Rich.) DC. (Melastomataceae) sob déficit hídrico em uma floresta secundária de 15 anos, em Castanhal, estado do Pará, Brasil.** Dissertação de mestrado. Belém-PA: UFRA, 2003.

BELLEGARD, S.E. The topsoil as the major store of propagules of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in southeast Australian sandstone soils. **Mycorrhiza**, v.3, p.19-24, 1993.

BOLGIANO, N.C.; SAFIR, G.R.; WARNACKE, D.D. Mycorrhizal infection and growth of onion in the field in relation to phosphorus and water availability. **The American Society for Horticultural Science**, v.108, p. 819–825,1983.

BOWEN, G.D. Mycorrhizal roles in tropical plants and ecosystems. In: MIKOLA, P. **Tropical mycorrhizal research**. Oxford: Clarendon, p.165-190, 1980.

BRUNDRETT, M.C. Mycorrhizas in natural ecosystems. **Advances in Ecological Research**, v.21, p.171-313, 1991.

BRUNDRETT, M.C. Mycorrhizal associations: The web resource. 2008. Disponível em: <<http://mycorrhizas.info/resource.html>>

BRUNDRETT, M.C.; ASHWATH, N.; JASPER, D. A. Mycorrhizas in the Kakadu region of tropical Australia: I. Propagules of mycorrhizal fungi and soil properties in natural habitats. **Plant and Soil**, v.184, p.159-171, 1996.

COLOZZI-FILHO, A; BALOTA, E.L. Micorrizas. In: HUNGRIA, M; ARAÚJO, S.R. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia**. 1. ed. Brasília-DF: EMBRAPA, 1994.

CORNIS, D. Glomalin, hiding place for a third of the world's stored soil carbon. **Agricultural Research**, v.50, n.9, p.4-14, 2002.

COSTA, J.P.V. **Fluxo difusivo de fósforo e de potássio em latossolos**. Tese de Doutorado, Viçosa: UFV, 1998.

COSTA, J. P. V. ; BASTOS, A. L. ; REIS, L. S. ; MARTINS, G. O. ; SANTOS, A. F. Difusão de fósforo em solos de Alagoas influenciada por fontes do elemento e pela umidade. **Revista Caatinga**, v. 22, p. 229-235, 2009.

CUEVAS, E. **Biology of the belowground system of tropical dry Forest**. In: BULLOCK, S.H.; MOONEY, H.A.; MEDINA, E. Seasonally dry tropical Forests. Cambridge: Cambridge University Press, p. 355-383, 1995.

CUI M.; NOBEL, P.S. Nutrient status, water uptake and gas exchange for three desert succulents infected with mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v.122, p. 643-649, 1992.

DAVIDSON, E.A.; CARVALHO, C.J.R.; VIEIRA, I.C.G.; FIGUEIREDO, R.O.; MOUTINHO, P.; ISHIDA, F.Y.; SANTOS, M.T.P.; GUERREIRO, J.B.; KALIF, K.; SABÁ, R.T. Nitrogen and phosphorus limitation of biomass growth in a tropical secondary forest. **Ecological Applications**, v.14, p.150-163, 2004.

DRIVER, J.D.; HOLBEN, W.E.; RILLIG, M.C. Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil biology and biochemistry**, v.37, p.100-106, 2005.

FEARNSIDE, P.M. **A floresta amazônica nas mudanças globais**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, Manaus, AM. 134pp. 2003.

FORTINI, L. B.; MULKEY, S. S.; ZARIN, D. J.; VASCONCELOS, S. S.; CARVALHO, C. J. R. D. Drought constraints on leaf gas exchange by *Miconia ciliata* (Melastomataceae) in the understory of an eastern Amazonian regrowth forest stand. **American Journal of Botany**, v.90, p.1064-1070, 2003.

FREITAS, R.O. **Associação entre Fungos Micorrízicos Arbusculares e Espécies Pioneiras em uma Sucessão Secundária na Amazônia**. Dissertação de mestrado. Manaus: INPA/UFAM, 2004.

FRIZANO, J.; VANN, D. R.; JOHNSON, A. H.; JOHNSON, C. M. Labile phosphorus in soils of forest fallows and primary forest in the Bragantina Region, Brazil. **Biotropica**, v.35, p. 2-11, 2003.

GAUR, A.; ADHOLEYA, A. Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. **Current Science**, v.86, n.4, p.528-534, 2004.

GEHRING, C.; DENICH, M.; KANASHIRO, M.; VLEK, P.L.G. Response of secondary vegetation in Eastern Amazonia to relaxed nutrient availability constraints. **Biogeochemistry**. v.45, p. 223-241, 1999.

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

GERDEMANN, J.W. Mycorrhizae. In: CARSON, E.W. **The plant root and its environment**. Charlottesville: University Press of Virginia, p. 205–217, 1974.

GOOGLE EARTH. Google earth (Ver 4.2). Acesso em: 15 de maio de 2008.

HABTE, M. Impact of simulated erosion on the abundance and activity of indigenous vesicular arbuscular mycorrhizal endophytes in oxisol. **Biology and Fertility of Soils**. v.7, p.164-167, 1989.

HERRERA, R.A.; ULLOA, D.R.; VALDES-LAFONT, O.; PRIEGO, A.G.; VALDES, A.R. Ecotechnologies for the sustainable management of tropical forest diversity. **Nature and Research**, v. 33, p.1-17, 1997.

HOMMA, A.K.O. **Amazônia: Meio ambiente e desenvolvimento agrícola**, 1. ed. Brasília-DF: EMBRAPA, v.1, 412p. 1998.

JANDL, R.; SOLLINS, P. Water-extractable soil carbon in relation to the belowground carbon cycle. **Biology and Fertility of Soils**, v. 25, p. 196-201, 1997.

JANOS, D.P. Vesicular arbuscular mycorrhizae affect lowland rainforest plant growth. **Ecology**, v. 61, p.151-162, 1980.

JENKINS, W.R. A rapid centrifugation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Report**, v.48, p.692, 1964.

JOHNSON, N.C.; PFLEGER, F.L. **Vesicular arbuscular mycorrhizae and cultural stresses**. In: BETHLENFALVAY, G.J.; LINDERMAN, R.G. Mycorrhizae sustainable agriculture. Madison: American Society of Agronomy, p.71-93, 1992.

KASPARI, M., GARCIA, M.N., HARMS, K.E., SANTANA, M., WRIGHT, S.J.; YAVITT, J.B. Multiple nutrients limit litterfall and decomposition in a tropical forest. **Ecology Letters**, v. 11, p. 35–43, 2008.

KLAUBERG-FILHO, O.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; SOARES, C.R.F.S.; SILVA, S. **Ecologia, função e potencial de aplicação de fungos micorrízicos arbusculares em condições de excesso de metais pesados**. In: Tópico em ciência do solo. Viçosa-MG: SBCS, vol.4, p.85-144, 2005

KHAN, A.G. The occurrence of mycorrhizas in halophytes, hydrophytes and xerophytes, and of Endogone spores in adjacent soils. **Journal of General Microbiology**, v.81, p.7–14, 1974.

LEAL, P.L. **Fungos micorrízicos arbusculares isolados em culturas armadilhas de solos sob diferentes sistemas de uso na Amazônia**. Dissertação de mestrado. Lavras: UFLA, 2005.

LEAN, J.; BUNTON, C. B.; NOBRE, C. A.; ROWNTREE, P. R. The simulated impact of Amazonian deforestation on climate using measured ABRACOS vegetation characteristics. In VICTORIA, R. L. **Amazonian deforestation and climate**. New York: John Wiley & Sons, p.33-40, 1996.

LI, Y.; XU, M.; ZOU, X.; XIA, Y. Soil CO₂ efflux and fungal and bacterial biomass in a plantation and a secondary Forest in wet tropics in Puerto Rico, *Plant and Soil*, v.268, p. 151-160, 2005.

LIMA, M.A. Agropecuária brasileira e as mudanças climáticas globais: Caracterização dos problemas, oportunidades e desafios. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v.19, n.3, p.451-472, 2002.

MACIEL, A.B.S. **Associação entre Fungos Micorrízicos Arbusculares e três espécies florestais de leguminosas em uma floresta de terra firme na Amazônia central**. Dissertação de mestrado. Manaus: INPA/UFAM, 2007.

MAIA, R.S ; SERRÃO, B.O. ; VASCONCELOS, S.S. ; SOUZA, C.M.A. . Fungos micorrízicos arbusculares como indicadores biológicos de alteração do solo na agricultura de derruba e queima e derruba sem queima na Amazônia. In: Resumos do XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo: O Solo e a Produção de Bioenergia: Perspectivas e Desafios. Fortaleza-CE: Universidade Federal do Ceará, p.156-156, 2009.

MARKEWITZ, D.; DAVIDSON, E.; MOUTINHO, P.; NEPSTAD, D. Nutrient loss and redistribution after forest clearing on a highly weathered soil in Amazonia. **Ecological Applications**, v.14, p.177-199, 2004.

MARSCHNER, P.; MARINO, W.; LIEBEREI, R. Seasonal Effects On Microorganisms In The Rhizosphere Of Two Tropical Plants In A Polyculture Agroforestry System In Central Amazonia, Brazil. **Biology and Fertility of Soils**, v.35, p. 68-71, 2002.

MARTORANO, L. G.; PEREIRA, L. C. **Estudos climáticos do Estado do Pará, classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica (Thornthwaite, Mather)**. Sudam/Embrapa, Belém. p.89, 1993.

McGONIGLE, T.P.; MILLER, M.H.; EVANS, D.G.; FAIRCHILD, G.L.; SWAN, J.A. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v. 115, p. 495-501, 1990.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**, 2º ed, Lavras, 2006.

MORTON. INVAM. International culture collection of vesicular arbuscular fungi. 1998. Disponível em: < <http://invam.caf.wvu.edu> > Acesso em: 27 ago. 2009.

MORTON, J.B.; BENNY, G.L. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): A new order glomales, two new suborders, *Glomineae* and *Gigasporineae* and two new of *Glomaceae*. **Mycotaxon**, v.37, p.471-491, 1990.

MULVANEY, R. L. Nitrogen-Inorganic Form. In: Methods of soil analysis: Chemical Methods. Parte 3. SPARKS, D.L (ed). **Soil Science Society of America Journal**, p. 1123–1184. 1996.

MURPHY, J., RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v. 27, p. 31-36, 1962.

NEPSTAD, D.C.; MOUTINHO, P.; MARKEWITZ, R.S. The recovery of biomass, nutrient stocks, and deep-soil functions in secondary Forest. In: MCCLAIN, M.E.; VICTORIA, R.L; RICHEY, J.E. **The biogeochemistry of the Amazon Basin**. New York: Oxford, University Press.p.139-155, 2001.

PANTOJA, R. de F. R. **Estrutura e dinâmica de três florestas secundárias em idades diferentes (4, 8 e 12 anos) no Município de Castanhal, Pará**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências Agrárias do Pará: Belém-PA, 2002.

PEREIRA, C.A; VIEIRA, I.C.G. A importância das florestas secundárias e os impactos de sua substituição por plantios mecanizados de grãos na Amazônia. **Interciência**, v.26, n.8, p. 337-340, 2001.

PEREIRA, E.G. **Micorrização e fósforo no solo na resposta de espécies arbóreas a nitrogênio mineral**. Dissertação de mestrado. Lavras: UFLA, 1995.

PHILLIPS, J.M.; HAYMAN, D.S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of British Mycological Society**, v.55,p.158-162,1970.

REID, C.P.P.; BOWEN, G.D. Effect of water stress on phosphorus uptake by mycorrhizas of *Pinus radiata*. **New Phytologist**, v.83, p.103-107, 1979.

REDHEAD, J.F. Endotrophic mycorrhizas in Nigeria: some aspects of the ecology of the endotrophic mycorrhizal association of *Khaya grandifolia* C.D.D. In: SANDERS, F.E.; MOSSE, B.; TINKER, P.B. **Endomycorrhizas**. Academic, London, p. 447–459, 1975.

RILLIG, M.C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin and soil aggregation. **Canadian journal of soil Science**, v.84, p.355-363, 2004.

RILLIG, M.C; MUMMEY, D.L. Mycorrhiza and soil structure. **New Phytologist**, v.171, p.41-53, 2006.

RILLIG, M.C.; WRIGHT, S.F.; NICHOLS, K.A.; SCHMIDT, W.F.; TORN, M.S. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. **Plant and Soil**, v.233, p.167-176, 2001.

ROPERO, C.A.L. **Micorrizas arbusculares e assimilação de nutrientes em uma meso-escala na região Amazônica**. Dissertação de mestrado. Manaus: INPA/UFAM, 2007.

RUIZ, H.A. **Efeito do conteúdo da água sobre o transporte de fósforo em dois Latossolos**. Tese de Doutorado. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1986.

SAYER, E. J., TANNER, E.V. J., LACEY, A. L. Effects of litter manipulation on early-stage decomposition and meso-arthropod abundance in a tropical moist forest. **Forest Ecology and Management**, v. 229, p. 285-293, 2006.

SAIF, S.R. The influence of soil aeration on the efficiency of vesicular arbuscular mycorrhizae. **New Phytologist**, v.88, p.649-659, 1981.

SILVEIRA, A.P.D. **Micorrizas**. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. Microbiologia do solo. Campinas-SP: SBCS, p.360, 1992.

SIEVERDING, E. **Vesicular arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems**. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technisch Zusammenarbeit, 371 p, 1991.

SIEVERDING, E.; TORO, T.S. Influence of soil water regimes on VA mycorrhiza. V. Performance of different VAM fungal species with cassava. **Journal of Agronomy and Crop Scienc**. V. 161, p.322–332, 1988.

SIEVERDING, E. Influence of soil water regimes on VA mycorrhiza. II. Effect of soil temperature and water regime on growth, nutrient uptake, and water utilization of *Eupatorium odoratum* L. **Journal of Agronomy and Crop Scienc**, V. 152, p.56–67, 1983.

SIMON, L.; BOUSQUET, J.; LÉVESQUE, R.C.; LALONDE, M. Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. **Nature**, v.363, p.67-69, 1993.

SILVA, C.G.; Fluxos e estoques de nutrientes, colonização por micorrizas arbusculares e influencia das raízes na decomposição da liteira em sistemas agroflorestais e em vegetação secundária na Amazônia Central. Tese de doutorado. Manaus: INPA/UFAM, 2005.

STÜRMER, S.L.; SIQUEIRA, J.O. Diversidade de Fungos Micorrízicos Arbusculares em Ecossistemas Brasileiros. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O.; BRUSSAARD, L. **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**, ed. UFLA, Lavras, 2008.

STÜRMER, S.L.; SIQUEIRA, J.O. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Brazilian ecosystems. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O.; BRUSSAARD, L. **Soil Biodiversity in Amazonian and other Brazilian Ecosystems**. Wallingford: CABI-Publishing, p.206-236, 2006.

SIQUEIRA, J.O.; SOARES, C.R.F.S.; SANTOS, J.G.D.; SCHNEIDER, J. CARNEIRO, M.A.C. **Micorrizas e Degradação do solo: Caracterização, Efeitos e Ação Recuperadora**. In: Tópicos em Ciência do solo, SBCS, Viçosa-MG, vol.5, p. 219-256, 2007.

SIQUEIRA, J. O. Micorrizas Arbusculares. In: ARAÚJO, R.S; HUNGRIA, M. **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília-DF: EMBRAPA, 1994.

SIQUEIRA, J.O; OLIVEIRA, E. **Reunião brasileira sobre micorrizas**,1, Lavras, 1985.

SIQUEIRA, J. O.; KLAUBERG FILHO, O. **Micorrizas arbusculares: a pesquisa brasileira em perspectiva**. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. Tópicos em ciência do solo, SBCS, Viçosa-MG, vol. 1, p. 235-264. 2000.

SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C.; CURI, N.; ROSADO, S.C.S.; DAVIDE, A.C. Mycorrhizal colonization and mycotrophic growth of native woody species as related to successional groups. **Forest Ecology and Management**, v.107, p.241-252, 1998.

SIQUEIRA, J.O. **Nutritional and edaphic factors affecting spore germination, germ tube growth and root colonization by the vesicular arbuscular mycorrhizal fungi**. Tese de Ph.D. Gainesville, University of Florida, 1983.

SMITH, E.S.; READ, J.D. **Mycorrhizal symbiosis**. 2.ed. New York: Academic Press, 1997.

SOUZA, F.A.; SILVA, I.C.L.; BERBARA, R.L.L. Fungos Micorrízicos Arbusculares: Muito mais diversos do que se imaginava. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O.; BRUSSAARD, L. **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**, ed. UFLA, Lavras, 2008.

ST. JOHN, T.V.; UHL, C. Mycorrhizae in the rain forest at San Carlos de Rio Negro, Venezuela. **Acta Cient. Venezolana**, v.34, p. 233-237, 1983.

STUTZ, J.C.; MORTON, J.B. Successive pot cultures reveal high species richness of arbuscular endomycorrhizal fungi in arid ecosystems. **Canadian Journal of Botany**, v. 74, p.1883–1889, 1996.

TENÓRIO, A. R. M.; GRAÇA, J. J. C.; GÓES, J. E. M.; MENDES, J. G. R.; GAMA, J. R. N. F.; SILVA, P. R. O.; CHAGAS, P. S. M.; SILVA, R. N. P.; AMÉRICO, R. R.; PEREIRA, W. L. M. **Mapeamento dos solos da Estação de Piscicultura de Castanhal**. Belém: FCAP. Serviço de documentação e informação, p.1-27. (FCAP. Informe Técnico, 25), 1999.

TOMMERUP, I.C.; Effect of soil water potential on spore germination by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Transactions of the British Mycological Society** , V. 83, p.193–202, 1984.

TRAPPE, J.M. Phylogenetic and ecologic aspects of mycotrophy in the Angiosperms from an evolutionary standpoint. In: SAFIR, G.R. **Ecophysiology of VA mycorrhizal plants**. Boca Raton: CRC, p.5-25, 1987.

VASCONCELOS, S. S.; ZARIN, D. J.; CAPANU, M.; LITTELL, R.; DAVIDSON, E. A.; ISHIDA, F. Y.; SANTOS, E. B.; ARAÚJO, M. M.; ARAGÃO, D. V.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; OLIVEIRA, F. D. A.; MCDOWELL, W. H.; CARVALHO, C. J. R. D. Moisture and substrate availability constrain soil trace gas fluxes in an eastern Amazonian regrowth forest. **Global Biogeochemical Cycles**, v.18, p.1-10, 2004.

VASCONCELOS, S. S.; ZARIN, D.J.; ARAÚJO, M.M.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T. ; CARVALHO, C.J.R.; STAUDHAMMER, C. L.; OLIVEIRA, F.A. Effects of seasonality, litter removal and dry-season irrigation on litterfall quantity and quality in eastern Amazonian forest regrowth, Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v.24, p. 27-38, 2008.

VELUCI, R.M. **Seasonal and experimental effects on microbial composition and dynamics in a tropical secondary Forest in the eastern Amazon**. Tese de Doutorado. University of Florida, 2007.

VINCENT, A.G.; TURNER, B.L.; TANNER, E.V.J. Soil organic phosphorus dynamics following perturbation of litter cycling in a tropical moist Forest. **European Journal of Soil Science**, v.61, p. 48-57, 2010.

WRIGHT, S.F; UPADHYAYA, A. A survey for aggregate and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant Soil**. v.198, p. 97-107, 1998.

WRIGHT, S.F.; FRANKE-SNYDER, M.; MORTON, J.B.; UPADHYAYA, A. Time-course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. **Plant and Soil**, v.181, p.193-203. 1996.

WRIGHT, S. **Glomalin, a manageable soil glue**. 2005. Disponível em: <<http://invam.caf.wvu.edu/methods/mycorrhizae/glomalin.pdf>> Acesso em: 15 set. 2007.

ZANGARO, W.; NISHIDATE, F.R.; VANDRESEN, J.; ANDRADE, G.; NOGUEIRA, M.A. Root mycorrhizal colonization and plant responsiveness are related to root plasticity, soil fertility and successional status of native woody species in Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v.23, p. 53-62, 2007.

ZANGARO, W. ; NOGUEIRA, M. A. ; ANDRADE, G. Arbuscular mycorrhizal fungi used as biofertilizers in revegetation programmes.. In: Mahendra Rai. (Org.). **Advances in Fungal Biotechnology**. 1 ed. New Delhi: I.K. International Publishing House Pvt. Ltd., v. 1, p. 351-378, 2009.

ANEXOS

ANEXO A: Coletas de raízes apogeotrópicas na parcela de controle e irrigação, respectivamente.



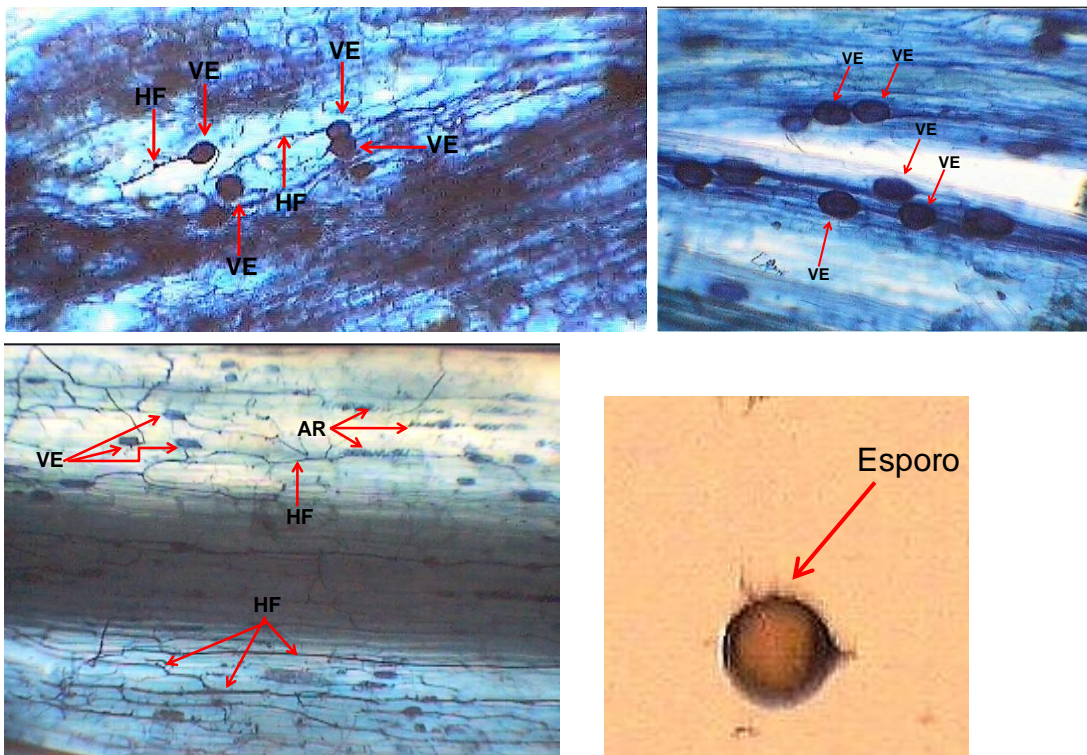
ANEXO B: Tratamento laboratorial das raízes das parcelas de remoção. O círculo vermelho destaca a presença de nódulos nas raízes. Foi verificado que no interior dos nódulos apresentava uma cor avermelhada, caracterizando a presença de leg-hemoglobina.



ANEXO C: Tratamento laboratorial de raízes das parcelas de irrigação e controle, respectivamente. Diferente das raízes de remoção, as raízes de parcelas irrigadas e do controle apresentam materiais de serapilheiras em sua composição.



ANEXO D: Imagens obtidas pelo microscópio durante a contagem de colonização micorrízica e de esporos. Legendas: HF (Hifas); VE (Vesículas); AR (Arbúsculos).



ANEXO E: Frente e atrás da Estação Experimental de Piscicultura de Água Doce da UFRA.



ANEXO F: Entrada na primeira parcela do controle (A); coleta de solo (B); coleta de raízes de 0-10 cm (C) e coleta de solo para análise de umidade (D).



ANEXO G: Parcela de remoção no período seco (A) e no período chuvoso (B).



ANEXO H: Funcionamento da irrigação (A) e mangueira utilizada no processo de irrigação (B).

