

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA DO TRÓPICO ÚMIDO-ATU

FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E ASPECTOS NUTRICIONAIS DE
TRÊS ESPÉCIES PERENES DE UM SAF EM MANAUS-AM

LUCAS HENRIQUE OLIVEIRA

MANAUS, AMAZONAS

OUTUBRO, 2019

LUCAS HENRIQUE OLIVEIRA

FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E ASPECTOS NUTRICIONAIS DE
TRÊS ESPÉCIES PERENES DE UM SAF EM MANAUS-AM

Orientador: Dr. Luiz Antonio de Oliveira

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Agricultura no Trópico Úmido,
Instituto Nacional de Pesquisas da
Amazônia, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Mestre em
Agricultura no Trópico Úmido.

MANAUS, AMAZONAS

OUTUBRO, 2019

F981f Oliveira, Lucas Henrique
FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E ASPECTOS
NUTRICIONAIS DE TRÊS ESPÉCIES PERENES DE UM SAF EM
MANAUS-AM / Lucas Henrique Oliveira; orientador
Luiz Antonio de Oliveira. -- Manaus:[s.l], 2019.
69 f.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós Graduação
em Agricultura do Trópico Úmido) -- Coordenação do
Programa de Pós-Graduação, INPA, 2019.

1. Microbiologia do solo. 2. Micorrizas. 3.
Esporos. 4. Macro e micronutrientes. 5. Espécies
amazônicas. I. Oliveira, Luiz Antonio de , orient.
II. Título.

CDD: 630

Folha de aprovação

A Banca Julgadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

TÍTULO: "FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E
ASPECTOS NUTRICIONAIS DE TRÊS ESPÉCIES PERENES DE
UM SAF EM MANAUS-AM"

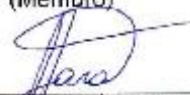
AUTOR (A):

LUCAS HENRIQUE OLIVEIRA

BANCA JULGADORA:



Dr. JOSÉ ODAIR PEREIRA/UFAM
(Membro)



Dr. FRANCISCO ADILSON DOS SANTOS HARA/UFAM
(Membro)



Dr. Dr. NEWTON PAULO DE SOUZA FALCÃO/INPA
(Membro)

Manaus, 29 de outubro de 2019

Aos meus pais, Tânia e Vander, que sempre me incentivaram e deram apoio ao meu crescimento. À minha esposa, Mariah, e minha pequena flor, Ayla Maria, dedico a eles.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pai todo poderoso e a minha Virgem mãe santíssima pelo alcance dessa conquista de conclusão dessa dissertação.

Agradeço imensamente meus pais, Tânia e Vander, pela ajuda e motivação de quererem sempre o meu sucesso. E a toda minha família (irmã, tias e tios) pelo apoio e incentivo durante essa jornada cheia de saudades.

Agradeço à minha companheira de vida, Mariah, que me apoiou nesse período de muita dedicação, agradeço-a imensamente. Agradeço também a minha filha, Ayla Maria, que veio no final desse mestrado para nos encher de alegria e glória.

Ao INPA e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia no Trópico Úmido, pela oportunidade.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos e ao laboratório de microbiologia do INPA por financiar parte dos materiais durante a pesquisa.

Agradecimento em especial ao meu orientador Dr. Luiz Antonio de Oliveira pela oportunidade de trabalhar junto a ele por todo incentivo, ajuda e disposição para que eu pudesse concluir minha pesquisa.

Ao pesquisador Msc. Francisco Wensen Moreira por me ajudar durante o projeto nas coletas, nas análises e no laboratório..

Aos meus colegas de equipe do laboratório de microbiologia do INPA pela ajuda durante as atividades e pela amizade adquirida.

À Laura, Priscila e Roberta do LTSP pela ajuda nas análises no laboratório de análises química de solo e planta.

Ao grupo de pesquisa em Agroecologia do IFAM, Dr. Nailson e Msc. João Quina, pela oportunidade de realizar a pesquisa na área do SAF.

Aos meus colegas do curso PPG-ATU que sempre mantiveram a amizade e companheirismo.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	8
LISTA DE FIGURAS	9
RESUMO	11
ABSTRACT	12
INTRODUÇÃO	13
OBJETIVO GERAL	15
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
Capítulo I: Fungos micorrízicos arbusculares de três espécies perenes de um SAF em Manaus-AM	16
1. Introdução	16
2. Material e Métodos	19
2.1 Localização e descrição da área estudada	19
2.2 Coleta das amostras	21
2.3 Análise e estudo de Micorrizas Arbusculares	23
2.3.1 Extração e Contagem de esporos de FMAs	23
2.3.2 Clareamento e coloração das raízes	24
2.3.3 Determinação da Colonização micorrízica	25
2.4 Análise estatística dos dados	26
3. Resultados e Discussão	26
3.1 Esporulação dos FMAs	26
3.2 Gêneros frequentes nas rizosferas	28
3.3 Colonização micorrízica arbuscular	31
4. Conclusões	35
Capítulo II: Fungos micorrízicos arbusculares e aspectos nutricionais rizosféricos e foliares de três espécies perenes de SAF em Manaus-Am	36
1. Introdução	36
2. Material e Métodos	38
2.1 Localização e descrição da área estudada	38
2.2 Histórico da fertilidade do solo da área de estudo	38
2.3 Coleta das amostras	38
2.4 Análise nutricional do solo	39

2.5	Análise nutricional foliar	41
2.6	Análise estatística dos dados	42
3.	Resultados e Discussão	43
3.1	Aspectos nutricionais dos solos rizosféricos	43
3.2	Análise nutricional foliar	47
3.3	Correlações lineares	50
3.3.1	Correlações entre a colonização micorrízica e as características químicas do solo rizosférico	50
3.3.2	Correlações entre a colonização micorrízica e as características químicas foliares	53
4.	Conclusões	58
CONCLUSÕES GERAIS		59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		60

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Classificação Taxonomica atual dos Glomeromycota. Fonte: Adaptado de Tedersoo <i>et al.</i> (2018).	17
Tabela 02 - Fórmulas descritivas das variáveis estimadas no estudo das micorrizas, segundo Brower e Zar, (1984), Magurran, (2004).	24
Tabela 03 - Abundância relativa (AR) e Frequência de ocorrência (FO) dos gêneros de FMAs encontrados na rizosfera de três espécies perenes em quatro épocas de coleta do ano de 2018.	30
Tabela 04 - Colonização total (hifas, vesículas, esporos e arbúsculos) por FMAs em espécies perenes em quatro épocas de coleta do ano de 2018.	31
Tabela 05- Resultados da análise química correspondente à área de SAF em Manaus-AM estudada por Scarazatti (2009).	38
Tabela 06 - Características químicas dos solos rizosféricos de espécies perenes componentes de um Sistema Agroflorestal localizado em Manaus, AM.	43
Tabela 07 - Nutrientes foliares das espécies perenes componentes de um Sistema Agroflorestal localizado no IFAM, Zona Leste de Manaus-AM.	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Ilustração do processo de colonização radicular. Fonte: Lambais (1996)....	18
Figura 02 - Processo de implantação do SAF na UDP a partir de 1998.	20
Figura 03 - Mapa de alocação dos indivíduos das espécies arbóreas estudadas, no Sistema Agroflorestral do “Centro de Referência Agroecológica” (IFAM). Imagem de satélite captada pelo Landsat 7, ano 2018.....	21
Figura 04 - Precipitação acumulada mensal no ano de 2018 na cidade de Manaus-AM. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.	22
Figura 05 – Coleta das amostras de solo e raiz na rizosfera das espécies vegetais do SAF em Manaus-AM.	22
Figura 06 – Materiais usados para o procedimento de extração de esporos de FMAs em solos rizosféricos (Gerdmann e Nicolson 1963).	23
Figura 07 – Procedimento de montagem das lâminas com 10 raízes de 1 cm cada, segundo o “método da lâmina” de Giovannetti e Mosse (1980).	25
Figura 08 – Densidade de esporos de FMAs na rizosfera de três espécies perenes nos quatro meses de coleta, em um SAF de Manaus-AM.	26
Figura 09 - Número total de esporos encontrados nas rizosferas das três espécies perenes estudadas, durante 2018.	29
Figura 10 - Colonização micorrízica (%) por hifas, vesículas e arbúsculos observados nas rizosferas das três espécies perenes estudadas, durante os quatro meses de coleta em 2018.	33
Figura 11 - Aspectos da colonização por fungos micorrízicos arbusculares (hifas e vesículas) em raiz de Sapoteira do Solimões coletada em Março de 2018. Fotomicrografia da raiz visualizadas com aumento de 100x, após coloração com Tryphlan Blue.	34
Figura 12 - Análises nutricionais do solo sendo realizadas no Laboratório Temático de Solos e Plantas (LTSP) no INPA. Fonte: Oliveira (2019). Registro: 19/11/2018.	39
Figura 13 - Fluxograma para a determinação analítica dos nutrientes do tecido vegetal no Laboratório Temático de Solos e Plantas (LTSP) do INPA. Fonte: EMBRAPA Solos (2000).	41
Figura 14 - Correlações globais lineares de Pearson positivas entre as taxas de colonização por FMA e características químicas nas rizosferas das espécies estudadas.....	51

Figura 15 - Correlações lineares de Pearson positivas entre as taxas de colonização por FMA e características químicas foliares da Andirobeira (<i>Carapa guianensis</i>).	54
Figura 16 - Correlações lineares de Pearson positivas entre as taxas de colonização por FMA e características químicas foliares da Sapoteira do Solimões (<i>Quararibea cordata</i>).	55
Figura 17 - Correlações lineares de Pearson positivas entre as taxas de colonização por FMA e características químicas foliares da Cupuaçuzeiro (<i>Theobroma grandiflorum</i>).	56

RESUMO

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são seres simbiotes de solo que exercem um papel significativo na funcionalidade e manutenção dos ecossistemas naturais manejados e principalmente degradados. A colonização dos FMAs permite um melhor aproveitamento dos nutrientes e água disponíveis no solo pelas plantas hospedeiras, contribuindo na nutrição por serem facilitadores dessa absorção. O presente estudou objetivou avaliar a ocorrência de FMAs na rizosfera de Andirobeira, Sapoteira do Solimões e Cupuaçuzeiro presentes em um Sistema Agroflorestal, sendo avaliados em quatro meses (março, junho, setembro e dezembro) de 2018. O esquema fatorial 3x4 foi usado e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey. O coeficiente de correlação linear de Person foi utilizado para correlacionar a colonização micorrízica com as características químicas das rizosferas e os teores de macro e micronutrientes nos tecidos foliares das plantas. A densidade de esporos de FMAs nas rizosferas apresentou variação significativa ($p < 0,05$) tanto entre os meses de coleta, como também entre as espécies perenes. Verificou-se que as rizosferas da Sapoteira do Solimões e da Andirobeira apresentaram as maiores médias de densidade de esporos (76,2 e 70,4 esporos.50 g de solo⁻¹), no mês de março encontrou-se uma amostra com 97 esporos.50 g de solo⁻¹, sendo a maior encontrada. As maiores taxas de colonização micorrízica (%) foram observadas nas rizosferas da Sapoteira do Solimões e da Andirobeira, as quais diferiram estatisticamente do Cupuaçuzeiro, não havendo diferença estatística entre os meses de coleta. O gênero *Glomus* spp. foi dominante nas rizosferas das plantas (43,1 %), sendo o menos abundante o *Gigaspora* spp. (10,04 %). As correlações globais mostraram ser positivas para as variáveis Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, MO e pH (H₂O) do solo rizosférico. Diante do exposto conclui-se que apesar dos baixos valores de r encontrados nas correlações, houve correlações positivas entre a associação simbiótica dos FMAs e o teor de nutrientes das espécies perenes do SAF. A espécie do Cupuaçuzeiro obteve mais correlações positivas entre os nutrientes e a colonização micorrízica, dentre as espécies. Mostrando a importância da associação simbiótica para a sobrevivência da espécie.

ABSTRACT

The arbuscular mycorrhizal fungi (FMAs) are symbionts of soil have been studied for exercising a significant role in the functionality and maintenance of natural ecosystems managed and mostly degraded. The colonization of AMF allows better utilization of nutrients and water available in the soil by the host plants, contributing to the nutrition as they facilitate this absorption. The present study aimed to evaluate the occurrence of AMFs in the Andirobeira, Sapoteira do Solimões and Cupuaçuzeiro rhizosphere present in an Agroforestry System, being evaluated in four months (march, june, september and december) of 2018. The 3x4 factorial scheme was analyzed and the the treatment means were compared by Tukey test. Person's linear correlation coefficient was used to correlate mycorrhizal colonization with the chemical characteristics of rhizospheres and the macro and micronutrient contents in plant leaf tissues. The spore density of AMF in the rhizospheres showed significant variation ($p < 0,05$) between the months of collection and perennial species. It was verified that the rhizospheres of Sapoteira do Solimões and Andirobeira presented the highest spore density averages (76,2 and 70,4 spores.50 g of soil⁻¹). In march, a sample with 97 spores.50 g of soil⁻¹ was found. The highest rates of mycorrhizal colonization (%) were observed in the Sapoteira do Solimões and Andirobeira rhizospheres, which differed statistically from Cupuaçuzeiro, with no statistical difference between the months of collection. The genus *Glomus* spp. was dominant in plant rhizospheres (43,1%), being the least abundant *Gigaspora* spp. (10,04%). The global correlations were positive for the Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, MO and pH (H₂O) variables of the rhizospheric soil. n view of the above, it can be concluded that despite the low r values found in the correlations, there were positive correlations between the symbiotic association of AMFs and the nutrient content of perennial SAF species. The Cupuaçuzeiro species had more positive correlations between nutrients and mycorrhizal colonization among the species. Showing the importance of symbiotic association for the survival of the species.

INTRODUÇÃO

Certos microrganismos presentes na rizosfera da planta, ou seja próximo a superfície da raiz, realizam interações simbióticas com as plantas vasculares e são responsáveis por transferências de nutrientes entre os simbiontes (Brundrett e Tedersoo 2017).

Os microrganismos do solo têm grande importância para a manutenção e ciclagem de nutrientes nos ecossistemas florestais da Amazônia (Santos e Crisi 1981; Selle 2007; Fanin *et al.* 2015).

Quando se refere a associações simbióticas no solo, consta que as micorrizas têm papel fundamental no desenvolvimento das plantas que servem de hospedeiras para os fungos micorrízicos (Smith e Read 2008). Por funcionarem como uma extensão das raízes, as associações micorrízicas aumentam a área de exploração radicular, sendo importantes para a absorção eficiente de nutrientes e água por algumas plantas terrestres (Cardoso e Andreote 2016).

O principal benefício da micorrização estudado é no auxílio da obtenção de nutrientes para as plantas (Oliveira *et al.* 1999; Oliveira e Oliveira 2003; Cardoso e Kuyper 2006). E estudos demonstram a capacidade das interações micorrízicas em atuarem como um canal de sinalização entre as plantas, agindo como um sistema de alerta precoce para o ataque de herbívoros (Simard *et al.* 1997; Babikova *et al.* 2013; Gorzelak *et al.* 2015)

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são classificados como o tipo micorrízico mais comum (Brundett e Tedersoo 2017). O termo 'arbuscular' deriva da denominação referida às estruturas características formadas por estes fungos, os "arbúsculos". São estruturas de extrema importância, onde os processos de troca de nutrientes entre os simbiontes ocorrem (Kiriachek *et al.* 2009; Lambais e Ramos 2010).

Em ecossistemas tropicais, onde predominam solos muito intemperizados e oxidados, as associações micorrízicas são cruciais para o aumento da absorção do fósforo, devido principalmente à baixa mobilidade deste elemento no solo e o seu caráter limitante para a produção agrícola e florestal (Oliveira e Oliveira 2010; Cardoso e Andreote 2016).

Além do auxílio na absorção de P, as plantas podem ser beneficiadas por outros nutrientes quando micorrizadas, como por exemplo o Ca, Zn, Cu, S e N (Oliveira *et al.* 1999; Bukovská *et al.* 2018).

Pode-se encontrar uma diversidade maior de nutrientes na matéria orgânica dos SAFs, que em combinação com os microrganismos do solo, possibilitam mobilizar uma maior diversidade de nutrientes que servirão às plantas (Costa *et al.* 2013).

O aporte de material orgânico disponibilizado pela vegetação e a grande biodiversidade dos sistemas agroflorestais (SAFs) aumentam os teores de carbono e nitrogênio, garantindo maior permanência deste material e maiores efeitos benéficos promovidos pela matéria orgânica do solo (Iwata *et al.* 2012).

Na Amazônia, a agricultura familiar é desenvolvida dentro dos SAFs, que foram e são implantados por comunidades indígenas, caboclas e ribeirinhas (Castro *et al.* 2009). Os povos tradicionais da Amazônia possuem vasto conhecimento sobre o manejo dos SAFs e desenvolveram técnicas produtivas que garantem o efeito positivo na qualidade do solo (Villani *et al.* 2017).

A Andirobeira, o Cupuaçuzeiro e a Sapota-do-Solimões são espécies perenes cultivadas em sistemas agroflorestais ou em áreas de monocultivo (Alfaia e Ayres 2004; Condé *et al.* 2013) na região tropical.

Espécies perenes têm grande importância para os SAFs, por manterem o aporte de matéria orgânica no solo (folhas, frutos, cascas e galhos) e conseqüentemente a maior atividade dos microrganismos (Gotsch 1995; Peneireiro 1999). A alta diversidade de plantas dos SAFs possibilita que indivíduos vegetais explorem o mesmo ambiente no solo, aumentando as exsudatos radiculares, o número de espécies na microbiota do solo, a mobilização de nutrientes e conseqüentemente, o crescimento vegetal.

Dentre as espécies estudadas, a Andirobeira (*Carapa guianensis* Aubl.) é uma espécie florestal amazônica que possui uso múltiplo, podendo ser utilizada para a obtenção de óleo, casca medicinal e madeira de boa qualidade. Quanto às interações simbióticas na rizosfera da espécie, foram encontradas ocorrências de micorrizas arbusculares em simbiose com a planta (St. John 1980; Oliveira *et al.* 1999).

Com relação ao Cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* K. Schum.), trata-se de uma espécie perene que tem se tornado de grande importância econômica e social na Amazônia, devido o seu fruto. No entanto, o reduzido número de pesquisas sobre o comportamento dessa espécie tem limitado a expansão da área cultivada na região (Alfaia e Ayres 2004).

Grande parte das informações utilizadas para o cultivo do cupuaçuzeiro é baseada em trabalhos realizados com o cacauzeiro (*Theobroma cacao*), devido à proximidade taxonômica destas espécies. No entanto já se conhece o seu potencial micotrófico (Oliveira e Oliveira, 2005 b; Silva Jr. e Cardoso, 2006).

Poucos estudos a respeito da Sapoteira do Solimões (*Quararibea cordata* H. & B.) são encontrados. Seu principal uso está ligado ao fruto que possui ótima qualidade nutricional, sendo classificado como altamente promissor ao consumo e com potencial para exportação (Braga *et al.* 2003). A utilização da *Q. cordata* em sistemas agroflorestais de comunidades indígenas da América do Sul é comum.

Na Amazônia equatoriana a Sapoteira do Solimões apresentou diversas associações fúngicas na raízes do solo rizosférico, mostrando ser uma planta micotrófica, sendo predominante a associação simbiótica com fungos micorrízicos (Cevallos 2017).

Muitos estudos de associações micorrízicas na Amazônia se concentraram nas culturas anuais (Abbott e Robson 1991; Miranda *et al.* 2005; Silva *et al.* 2009). Portanto estudos relacionados à comunidade micorrízica na rizosfera de plantas perenes trazem benefícios à pesquisa sobre microbiologia do solo na Amazônia, podendo ser usados para melhorar a sustentabilidade de sistemas produtivos na região.

OBJETIVO GERAL

Avaliar as associações micorrízicas nas rizosferas de três espécies vegetais perenes da Amazônia (Andirobeira, Cupuaçuzeiro e Sapoteira do Solimões) presentes em um Sistema Agroflorestal, bem como se ocorre uma interação significativa entre a associação dos fungos micorrízicos nas raízes e a nutrição mineral dessas plantas, em quatro meses de 2018.

OBJETIVOS ESPÉCÍFICOS

Avaliar quais são os gêneros mais abundantes de FMAs, e frequentes na rizosfera das espécies vegetais perenes de um SAF , em Manaus-AM. Verificar se a colonização micorrízica e os números de esporos variam ou interferem em diferentes rizosferas de plantas perenes e meses de coleta do ano 2018.

Verificar a existência de correlações entre os índices de colonização por FMAs e os aspectos nutricionais das rizosferas, assim como os teores de macronutrientes e micronutrientes no tecido foliar das espécies perenes avaliadas.

Capítulo I: Fungos micorrízicos arbusculares de três espécies perenes de um Sistema Agroflorestal em Manaus-AM.

1. Introdução

Os microrganismos no solo interagem todo o tempo com as raízes das plantas, em um espaço denominado rizosfera.

A atividade microbiana nos solos tropicais possui duas características tidas como os maiores exemplos do benefício dos microrganismos no desenvolvimento vegetal: a fixação biológica do nitrogênio e a formação de micorrizas (Raymond *et al.* 2004; Moreira e Siqueira 2006; Moreira *et al.* 2007; Chagas Jr *et al.* 2010; Chagnon *et al.* 2013).

Certos fungos do solo associam-se com as raízes de plantas vivas de forma simbiótica realizando transferências de nutrientes e água entre os simbiontes, estes são chamados de fungos micorrízicos (Cardoso e Andreote 2016; Brundrett e Tedersoo 2017).

As micorrizas são interações simbióticas obrigatórias entre fungos e raízes de uma planta viva, que a princípio, são responsáveis pela transferência de nutrientes entre os simbiontes, planta hospedeira e fungo (Brundrett 2004).

Existem quatro tipos principais de micorrizas, baseados nas diferenciações morfológicas de tecidos radiculares e plantas hospedeiras: micorrizas arbusculares (AM), ectomicorrizas (EcM), micorrizas ericoides (ErM) e micorrizas orquídeais (OrM) (Brundrett e Tedersoo 2017).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são biotróficos obrigatórios, ou seja que dependem do seu hospedeiro vivo (Harley e Smith 1983). São considerados como o tipo de fungo micorrízico mais comum, podendo ser encontrados em simbiose com aproximadamente 72% de todas as plantas vasculares e 20% são colonizadas por outros tipos de fungos micorrizos (Brundett e Tedersoo 2017).

Restando 8 % das plantas vasculares, se classificam como não-micorrízicas, ou seja não realizam simbiose com micorrizas. Estas são pertencentes às seguintes famílias: Lecythidaceae, Pinaceae, Betulaceae, Orchidaceae, Fumariaceae, Commelinaceae, Urticaceae, Ericaceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae, Polygonaceae e Cyperaceae (Moreira *et al.* 1997; Brundrett 2004; Bagyaraj 2014; Cardoso e Andreote 2016).

Os FMAs são classificados taxonomicamente como pertencentes ao filo Glomeromycota, que atualmente possui 3 classes e 5 ordens 16 famílias, 42 gêneros e 305 espécies (Goto 2018; Tedersoo *et al.* 2018) (Tabela 01).

O ciclo da associação micorrízica se inicia no reconhecimento da raiz da planta hospedeira com o fungo, antes mesmo da interação entre os simbiosites (Harrison 2005). São exsudados pelas raízes fitohormônios na rizosfera da planta como forma de sinalização ao esporo dos FMAs, para que germine como hifa extra-radicular e inicie a simbiose com a planta (Harrison 2005; Venturi e Kell 2016).

Tabela 01 – Classificação Taxonômica dos Glomeromycota.

Filo	Classe	Ordem
Glomeromycota	Glomeromycetes	<u>Diversisporales</u>
		<u>Gigasporales</u>
		<u>Glomerales</u>
	Archaeosporomycetes	Archaeosporales
	Paraglomeromycetes	Paraglomerales

Fonte: Adaptado de Tedersoo *et al.* (2018).

A hifa extra radicular colonizadora ao entrar em contato com as raízes das plantas formam uma estrutura de penetração denominada apressório o qual penetra nas células das raízes até colonizarem inter e intracelularmente as células corticais formando os arbúsculos (Figura 01).

É através dos arbúsculos que ocorre a troca de nutrientes entre os simbiosites. Em alguns gêneros de FMAs existem estruturas de armazenamento, globosas, formadas a partir de dilatações terminais nas hifas, denominadas de vesículas. Nas espécies das famílias Gigasporaceae e Sacculosporaceae existem estruturas exclusivas denominadas células auxiliares (Novais *et al.* 2017).

Os benefícios potenciais dos FMAs têm sido amplamente estudados, principalmente no que se refere à nutrição vegetal (Oliveira *et al.* 2003; Bezerra 2007; Costa 2010).

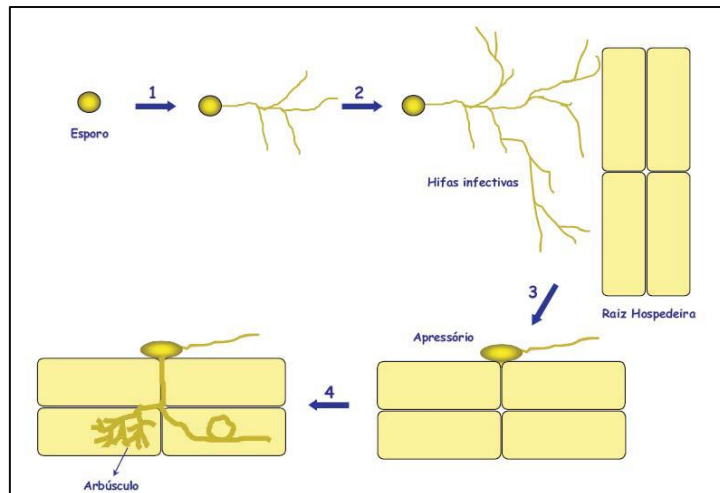


Figura 01 - Ilustração do processo de colonização radicular. Fonte: Lambais (1996).

É atribuído também aos fungos micorrízicos arbusculares o aumento da resistência a patógenos pelas raízes, devido à melhor nutrição da planta hospedeira, barreiras físicas, e produção de antibióticos, assim como aumento da resistência das plantas em ambientes de estresse abiótico (Smith e Read 2008; Lenoir *et al.* 2016).

Os efeitos benéficos dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) no desempenho das plantas e na saúde do solo são essenciais para a gestão sustentável dos recursos agrícolas tendo papel fundamental na agroecologia (Gianinazzi *et al.* 2010; Berude *et al.* 2015).

Através das hifas extra radiculares, uma ampla colonização na rizosfera da planta se estabelece, aumentando o volume de solo a ser explorado pela planta, obtendo assim, acesso a novos sítios de água e nutrientes (Oliveira e Oliveira 2003).

Um dos primeiros estudos sobre as associações micorrízicas na Amazônia foi conduzido por St. John (1980), que avaliou 77 espécies, incluindo árvores, palmeiras e lianas lenhosas com DAP (diâmetro à altura do peito) mínimo de 15 cm, sendo relatada a ocorrência de micorrizas arbusculares nas raízes de 74 % das plantas estudadas, dentre elas, as espécies perenes amazônicas *Carapa guianensis* (Aubl.), *Quararibea cordata* (Humb. & Bonpl.) Vischer e *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) K. Schum.

Nos Agroecossistemas com maior diversidade de plantas, como os Sistemas Agroflorestais (SAFs), ocorrem maior diversificação da comunidade micorrízica, podendo resultar em uma melhor eficiência simbiótica (Sieverding 1991; Miranda *et al.* 2010).

Segundo Costa *et al.* (2013) a utilização de SAFs como forma de cultivo favorece o aumento do número de esporos de FMAs no solo e uma menor variação destes durante o ano por conta de ser um sistema que utiliza diferentes espécies vegetais

consoiciadas. Abbott e Robson (1991) afirmam que em comunidades de plantas mistas, é essencial que seja identificada a composição botânica, ou seja as espécies vegetais, na ocorrência de micorrizas arbusculares.

Apesar do registro da formação de micorrizas arbusculares em determinadas espécies arbóreas na região amazônica (St. John 1980), ainda pouco se sabe sobre o efeito temporal do decorrer dos meses do ano na ocorrência de micorrizas arbusculares em plantas de um Sistema Agroflorestal, embora haver poucas publicações a esse respeito na região (Oliveira e Oliveira 2004; Oliveira e Oliveira 2005a; Oliveira e Oliveira 2010).

2. Material e Métodos

O SAF estudado se encontra dentro da área urbana de Manaus. O clima de Manaus é do tipo Af, segundo a classificação de Köppen, pertencendo ao grupo de clima tropical chuvoso (Ribeiro 1976; Bastos 1982). Na região predominam duas estações bem definidas, uma chuvosa e outra menos chuvosa, sendo a época mais seca entre os meses de agosto e setembro, quando a precipitação média mensal é cerca de 80 mm (Alvares *et al.* 2013).

2.1 Localização e descrição da área estudada

A área de estudo localiza-se em um sistema agroflorestal (SAF) pertencente ao Instituto Federal do Amazonas (IFAM), na região Zona Leste de Manaus-AM. A área compreende à antiga Unidade Demonstrativa de Permacultura (UDP) de Manaus-AM, que atualmente é denominada de “Centro de Referência Agroecológica” do IFAM, conforme as coordenadas S 59°56’00.22” W; 3°04’47.94”.

Em 1998, o Instituto de Permacultura da Amazônia (IPA), em parceria com a Escola Agrotécnica Federal de Manaus (EAFM), atual IFAM, deram início à implantação de um SAF na área com o objetivo de criar sistemas perenes e sustentáveis a fim de regenerar o solo degradado por atividades intensas no passado.

A área inicialmente apresentava-se inviabilizada para o cultivo agrícola devido ao excesso de pragas, doenças e compactação do solo, cuja cobertura vegetal limitava-se apenas à presença de gramíneas, principalmente do capim colônio (*Panicum maximum* Jacq.). De 1972 até 1988 nessa área era praticada a horticultura, posteriormente, até 1997, foi utilizada para o plantio intercalado de milho e macaxeira.

Ao longo do tempo, várias intervenções foram realizadas na área, combinando técnicas de plantio de plantas leguminosas em aleias, ou seja nas entrelinhas das espécies

frutíferas. O plantio em aleia foi realizado na maior parte da área, enquanto o enriquecimento e o manejo das espécies nativas foram realizados em uma fração menor. A biomassa oriunda das podas nas aleias era utilizada como cobertura de solo e depositada na base de mudas cultivadas.

No decorrer dos anos o Sistema passou por diversas modificações devido à atividade de manejo realizada no cultivo multiestratificado (Figura 02). Outras espécies frutíferas foram introduzidas com o aproveitamento da sombra fornecida pelos indivíduos arbóreos que nasceram espontaneamente e foram mantidos durante a prática da capina seletiva. Também foram implantadas ao longo do tempo, árvores de leguminosas para reforçar a disponibilidade de nitrogênio.

No SAF, ao longo do tempo, foram adicionados diversos tipos de materiais orgânicos como cobertura morta (mulch), além da adubação verde produzida pelas aleias de espécies leguminosas do próprio SAF. Foi relatado por Scarazatti (2011) que parte dos materiais adicionados eram produzidos na própria unidade como o composto orgânico, esterco animal e folhas de castanheiras (*Bertholetia excelsa*) de outras áreas da UDP que eram varridas e depositadas sobre o solo do SAF.



Figura 02 - Processo de implantação do SAF na UDP a partir de 1998. Área antes da implantação do SAF (A); Abertura de aleias com leguminosas em curva de nível em janeiro de 1998 (B); Aleias em desenvolvimento com mudas frutíferas introduzidas no sistema (C); Canal de escoamento de água captada e armazenada em açude próximo ao SAF (D); SAF estabelecido no ano de 2002 (E). Fonte: Scarazatti, (2009).

A partir do ano 2008 a UDP deixou de ser gerenciada pelo Instituto de Permacultura do Amazonas (IPA) e voltou a ser área de responsabilidade do IFAM. Logo o SAF deixou de ser manejado e enriquecido, desde então a área se encontra notavelmente sem manejo da poda e com árvores caídas, ou seja 10 anos sem manejo.

A área ocupada pelo SAF é de aproximadamente 2,5 hectares, sua composição possui uma grande diversidade de espécies perenes e semiperenes. Após a realização de um censo florístico na área do SAF, Scarazatti (2011) levantou cerca de 65 espécies arbóreas diferentes. Dentre elas tinham tanto espécies exóticas quanto nativas do bioma Amazônia. O mesmo autor classificou o solo como sendo um Latossolo Amarelo com textura variável de média a muito argilosa na área total (Scarazatti 2011).

2.2 Coleta das amostras

Foram selecionadas para o estudo três espécies vegetais do SAF nativas do bioma Amazônico e com importância no mercado consumidor, sendo elas: Andirobeira (*Carapa guianensis* Aubl.), Cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* K. Schum.) e Sapoteira-do-solimões (*Quararibea cordata* Vischer). Para cada espécie vegetal selecionou-se cinco árvores, como repetições, totalizando 15 indivíduos estudados (Figura 03).

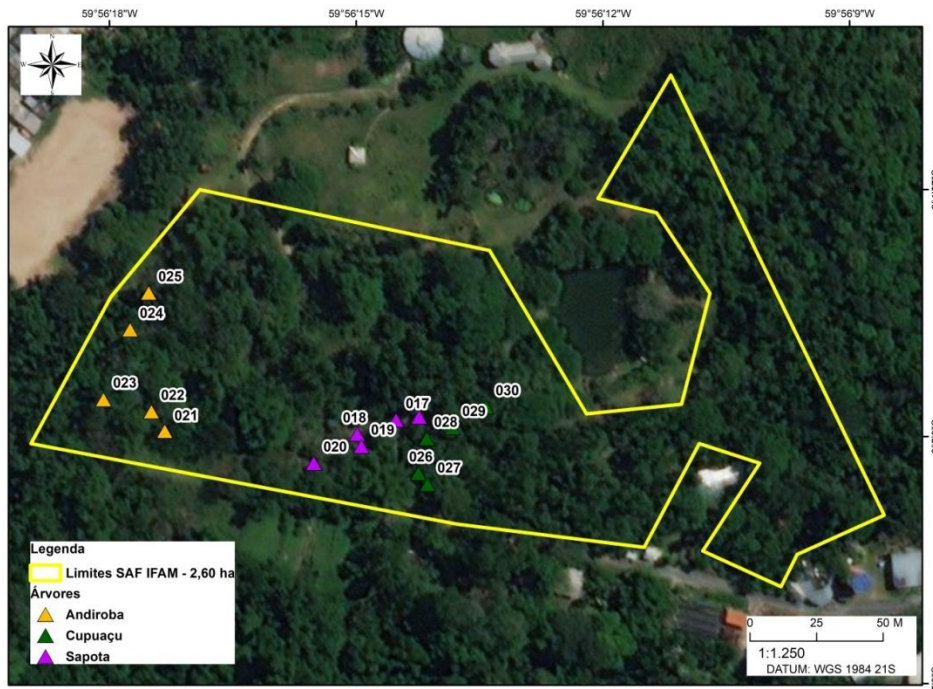


Figura 03 - Mapa de alocação dos indivíduos das espécies arbóreas estudadas, no Sistema Agroflorestal do “Centro de Referência Agroecológica” (IFAM). Imagem de satélite captada pelo Landsat 7, ano 2018. Fonte : Oliveira, 2018. Os triângulos da imagem representam os indivíduos arbóreos avaliados.

As coletas foram realizadas no decorrer do ano de 2018 em intervalos trimestrais, sendo coletadas amostras em quatro meses distintos: março, junho, setembro e dezembro. As precipitações em cada mês de coleta se diferenciam pela variação pluviométrica durante o ano de 2018 (Figura 04).

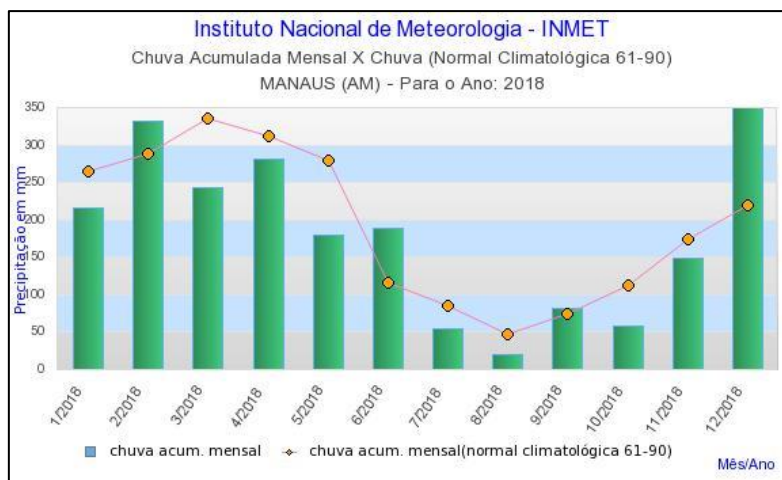


Figura 04 - Precipitação acumulada mensal no ano de 2018 na cidade de Manaus-AM. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Acesso em: 03/06/2019. O tracejado amarelo representa a chuva acumulada mensal.

Coletou-se amostras de solo rizosférico de cada indivíduo a uma profundidade de dez centímetros (0 – 10 cm), e foram acondicionados em sacos plásticos. Foram coletadas 4 amostras simples, na projeção da copa, por planta, dando origem a uma amostra composta com aproximadamente 400 g por indivíduo.

Coletou-se também, na mesma sequência, as amostras de raízes finas da rizosfera de cada planta para as análises de colonização micorrízica (Figura 05).

Foi usada a metodologia semelhante à descrita nos trabalhos de Oliveira *et al.* (1999; 2003) e Oliveira e Oliveira (2004; 2005 a,b).



Figura 05 – Coleta das amostras de solo e raiz na rizosfera das espécies vegetais do SAF em Manaus-AM. Registro: 28/03/2018.

2.3 Análise e estudo de micorrizas arbusculares

2.3.1 Extração e contagem de esporos de FMAs

A extração dos esporos das amostras foi realizada no Laboratório de Ecologia e Biotecnologia de Microrganismos da Amazônia – INPA (LEBMAM). Utilizou-se materiais para o método de extração por peneiramento úmido segundo Gerdman e Nicolson (1963) (Figura 06). Foram pesadas amostras de 50g de solo rizosférico de cada planta em uma balança de precisão científica. Estes foram suspensos em 1000 mL de água e agitado em um erlenmyer, seguindo para decantação em tubos falcon por 60 segundos, para que ocorresse a sedimentação das partículas maiores e/ou mais densas que os esporos.



Figura 06 – Materiais usados para o procedimento de extração de esporos de FMAs em solos rizosféricos (Gerdman e Nicolson 1963). Amostras de 50 g de solo das três espécies vegetais (A); Bancada para extração dos esporos de FMA no laboratório (B).

O sobrenadante foi colocado em uma solução de sacarose (20% e 60%), seguindo o procedimento de Jenkins (1964), passando em seguida por um conjunto de peneiras com aberturas de 0,25 mm, 0,105 mm e 0,045 mm, na sequência da maior abertura para a menor. Nas peneiras ficaram retidos os esporos e poucas partículas de solo e material orgânico, devido à grande quantidade de serapilheira do SAF. O material foi lavado com o auxílio de uma pisseta de 500 mL, contendo água corrente, a fim de eliminar a sacarose e posteriormente transferida para um béquer de 200 mL.

O material recolhido no béquer foi transferido com uma pipeta graduada de 10 mL para uma placa de Petri. A suspensão foi examinada na placa, sob lente

estereoscópica em aumento de 5 vezes, para identificação e contagem dos esporos de FMAs.

Os esporos foram identificados em nível de gênero segundo Schenck e Perez (1988), anotando-se suas características morfológicas: tamanho, cor e forma. Para a identificação taxonômica utilizou-se as chaves especializadas de identificação contidas no banco de dados do *International Culture Collection of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (INVAM 2018) e do *Guia Digital de Fungos Micorrízicos Arbusculares da Reserva Florestal Adolpho Ducke e Reserva do PDBFF* (Freitas e Carrenho 2013).

Após a identificação e contagem dos esporos de FMAs sob lentes estereoscópicas foram então estimadas nas amostras as variáveis de densidade de esporos (DE), de frequência de ocorrência (FO) e da abundância relativa (AR) de cada gênero de FMA (Brower e Zar, 1984; Magurran, 2004; Dandan e Zhiwei, 2007). As fórmulas estão disponíveis na Tabela 02.

Tabela 02 – Fórmulas descritivas das variáveis estimadas no estudo das micorrizas, segundo Brower e Zar, 1984; Magurran, 2004.

Variáveis calculadas	Fórmulas
Densidade de esporos	Número de esporos em 50 g de solo
Abundância relativa	$\frac{\text{Número de esporos de um gênero}}{\text{n}^\circ \text{ total de esporos identificados na amostra}} * 100$
Frequência de ocorrência	$\frac{\text{Número de amostras onde um gênero ocorre}}{\text{Número total de amostras de solo}} * 100$

2.3.2 Clareamento e coloração das raízes

As amostras de raízes coletadas nas rizosferas passaram pelo procedimento de clareamento e coloração segundo a metodologia de Kormanick *et al.* (1980) para posteriormente serem observadas em microscópio as estruturas fúngicas características da associação, como os apressórios, arbúsculos, vesículas e hifas.

Na primeira etapa, de clarificação, as raízes mais finas e tenras coletadas em campo foram separadas e selecionadas, em seguida, lavou-se com água corrente para a

remoção das partículas de solo. Para cada amostra coletada, foram pesadas 0,5 gramas das raízes limpas e em seguida, reservadas em tubos de ensaio.

Preparou-se uma solução de hidróxido de potássio (KOH) 10% (m/v) onde foi distribuída em todos os tubos de ensaio devidamente identificados contendo as raízes. Em seguida, esses tubos foram colocados em banho-maria a 90° C por 60 minutos. Após o período de aquecimento a solução de KOH foi descartada.

Preparou-se uma solução clarificadora, contendo 30 mL de água oxigenada 10% (m/v) juntamente com 567 mL de água destilada e 3 mL de hidróxido de amônio, deixando agir por 15 a 45 minutos para a clarificação das raízes e em seguida descartou-se toda a solução lavando bem as raízes com água corrente.

Na etapa de acidificação distribuiu-se nos tubos uma solução de ácido clorídrico (HCl) a 3,5% (m/v) deixando agir por 5 minutos nas raízes, posteriormente descartou-se a solução dos tubos e as raízes permaneceram sem lavar com água corrente,.

Para a etapa da coloração, utilizou-se uma solução de azul de tripano (1 g) em lactoglicerol (100 mL) onde as raízes passaram por aquecimento com o corante por uma hora em banho-maria a 90° C e em seguida, descartou-se a solução de azul de tripano em um reservatório.

As raízes já coradas foram armazenadas em tubos de vidro contendo solução de glicerol acidificado (3,5 %) para em seguida serem analisadas.

2.3.3 Determinação da colonização micorrízica

Após o clareamento e coloração das raízes foi estimada a colonização micorrízica nas raízes das espécies vegetais.

Foi empregado o “método da lâmina” segundo Giovannetti e Mosse (1980), o qual consistiu na montagem de lâminas com dez fragmentos de 1 cm de raízes finas para a observação dos estruturas fúngicas no interior das raízes em lentes microscópicas no aumento de 10 e 40 vezes (Figura 07). As estruturas (vesículas, hifas, arbúsculos, esporos nas raízes, células auxiliares) foram marcadas como presente ou ausentes em cada fragmento na lâmina.



Figura 07 – Procedimento de montagem das lâminas com 10 raízes de 1 cm cada, segundo o “método da lâmina” de Giovannetti e Mosse (1980).

Neste estudo foram utilizadas cinco lâminas contendo cada uma dez fragmentos por indivíduo de cada espécie, por período de coletas, ou seja 50 fragmentos de raízes para cada planta em quatro meses (março, junho, setembro e dezembro) do ano de 2018.

2.4 Análise estatística dos dados

Adotou-se o delineamento fatorial 3x4, onde os fatores representaram três espécies de plantas (Andirobeira, Sapoteira do Solimões e Cupuaçuzeiro) e quatro épocas de coleta no ano de 2018 (Mar/2018, Jun/2018, Set/2018 e Dez/2018), com cinco repetições, totalizando 12 tratamentos com 60 unidades experimentais.

Os resultados foram submetidos à aplicação do teste de normalidade (teste de Shapiro-Wilk), avaliação da homocedasticidade (teste de Levene) e análise de variância empregando-se o teste F. Constada a diferença entre os tratamentos foi realizado um teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação das médias dos tratamentos no programa estatístico SYSTAT 12.0.

3. Resultados e Discussão

3.1 Esporulação dos FMAs

A densidade de esporos de FMAs nas rizosferas (nº de esporos/ 50g de solo) mostrou variação significativa ($p < 0,05$) tanto entre os meses de coleta, como também entre as espécies perenes (Figura 08). Houve interação significativa entre os fatores.

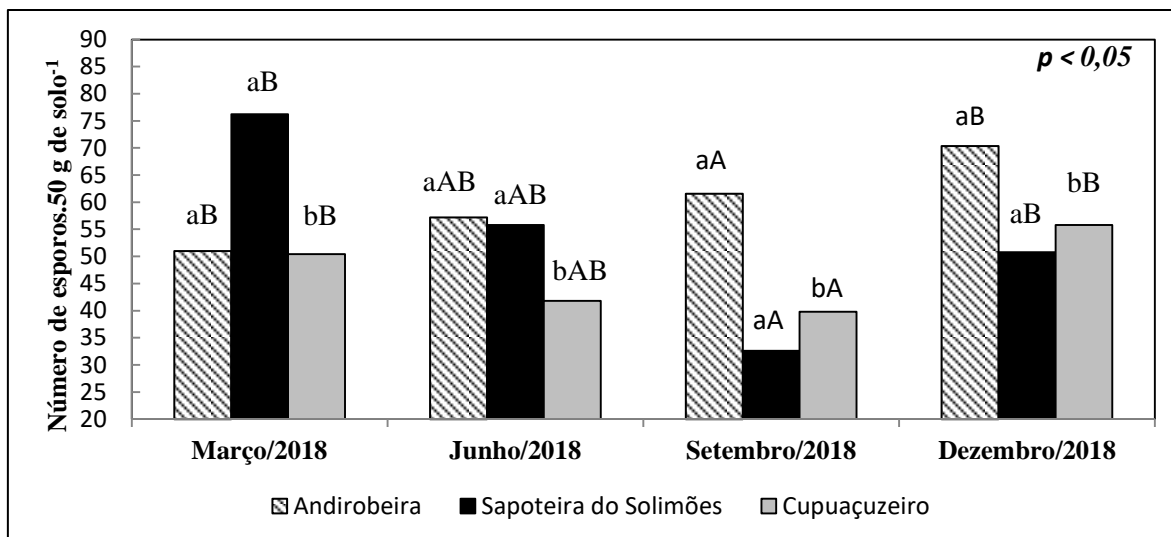


Figura 08 – Densidade de esporos de FMAs na rizosfera de três espécies perenes nos quatro meses de coleta, em um SAF de Manaus-AM.

Obs.: Médias seguidas com a mesma letra minúscula não diferem entre as espécies perenes, pelo Teste de Tukey 5 %; Médias seguidas com a mesma letra maiúscula não diferem entre os meses do ano, pelo Teste de Tukey 5 %.

No mês de setembro encontraram-se valores médios de densidade de esporos menores em relação aos demais meses, no entanto houve diferença significativa somente com os meses de março e dezembro. Tais meses apresentaram valores superiores, dando destaque para o mês de março que verificou 97 esporos em uma amostra de 50 g de solo na rizosfera da Sapoteira do Solimões.

Quando se compara a densidade de esporos entre as espécies perenes avaliadas verifica-se que as rizosferas da Sapoteira do Solimões e da Andirobeira apresentaram as maiores médias (76,2 e 70,4 esporos.50 g de solo⁻¹), diferindo significativamente da densidade de esporos encontrada na rizosfera do Cupuaçuzeiro.

A densidade de esporos encontrada na rizosfera do Cupuaçuzeiro variou de 27-69 esporos.50 g de solo⁻¹, apresentando maiores esporulações nos meses de maior precipitação (março e dezembro). Em estudo semelhante, Oliveira e Oliveira (2003) encontraram em diferentes meses de coleta nos anos de 1996 e 1997 uma média de 135 esporos/30g de solo na rizosfera de plantas de cupuaçu, sendo os maiores valores encontrados nos meses de maiores precipitações.

Outros estudos que avaliaram a esporulação em solos rizosféricos de Cupuaçuzeiros em SAFs (Silva Jr. e Cardoso, 2006; Farias *et al.*, 2015) apresentaram variação de 47-120 e 55-1075 esporos por 50 g de solo, respectivamente.

O solo rizosférico da Sapoteira do Solimões mostrou um decréscimo na densidade de esporos no decorrer dos meses avaliados em 2018, tendo seu valor máximo no mês de março (97 esporos.50 g de solo⁻¹) e mínimo no mês de Setembro (19 esporos.50 g de solo⁻¹). Este fato pode estar relacionado com a precipitação nos meses de 2018, que foi superior nos meses de Março e Dezembro (Figura 04).

O aumento na densidade de esporos em meses de maiores precipitações também foi verificado por Nobre *et al.* (2010) em sistemas agroflorestais. De acordo com Oliveira e Oliveira (2003), a alta esporulação em espécies florestais e a ausência de variação do número de esporos pode ser um indicativo da importância do uso de sistemas agroflorestais, onde favorece a esporulação durante o ano todo por conta das diversidade de espécies em um mesmo espaço, o que não ocorre em um monocultivo.

Ao contrário da Sapoteira do Solimões, a Andirobeira teve um acréscimo na densidade de esporos no decorrer dos meses de avaliação em 2018. Foi observado um valor mínimo de densidade de esporos em março (19 esporos.50g de solo⁻¹) e máximo em setembro (86 esporos.50 g de solo⁻¹).

Segundo Maia *et al.* (2009) a umidade elevada do solo pode contribuir para a diminuição da esporulação de FMAs em meses chuvosos, pois favorece o desenvolvimento de hiperparasitas de esporos de FMAs.

Já Bonfim *et al.* (2010) afirmam que a restrição de disponibilidade hídrica nos meses de baixa precipitação induz nos microrganismos associados à planta, a ativação de mecanismos de adaptação, como a elevação da esporulação, o que corrobora com os resultados encontrados na rizosfera da Andirobeira.

O mesmo foi confirmado por Caproni *et al.* (2007) em uma área revegetada após o uso de mineração no interior do Pará, onde observaram que a densidade de esporos aumentou no mês de período seco (agosto) em cultivos com *Acacia holosericea* A. Cunn. ex G. Don e *Sesbania virgata* (Cav.) Pers.

Estudos sobre a ocorrência de esporos de FMAs em sistemas agroflorestais (Cardoso *et al.* 2003; Muleta *et al.* 2007) demonstram que a quantidade de esporos é maior nas camadas mais profundas do solo (20- 60 cm) do que nas camadas superficiais (0 - 15 cm), devido à presença de árvores no sistema. Assim maiores quantidades de raízes nas camadas mais profundas propicia o aumento das esporulações de FMAs nos níveis mais profundos do solo.

Existem muitos fatores que podem afetar a proliferação de esporos na rizosfera do hospedeiro e consequentemente os valores da densidade de esporos de FMAs. São considerados os fatores: a sazonalidade, os fatores edáficos, a dependência do hospedeiro, a idade das plantas hospedeiras, as habilidades de esporulação dos FMAs e os padrões de distribuição dos esporos de FMA nos solos (Gemma e Koske 1988; Abbott e Robson 1991; Zhao *et al.* 2001; Li *et al.* 2007).

3.2 Gêneros frequentes nas rizosferas

Os esporos de FMAs, também denominados de glomerosporos, foram identificados aa nível de gênero. A diversidade de gêneros de FMAs nas rizosferas das espécies perenes inclui cinco principais gêneros (*Acaulospora* spp., *Gigaspora* spp., *Glomus* spp., *Scutellospora* spp., *Entrophospora* spp.). Outros gêneros encontrados foram desconsiderados pelo irrisório número de esporos (*Archeospora* spp. e *Diversispora* spp.).

No total das amostras encontrou-se o maior número total de esporos a rizosfera da Andirobeira (1198) em relação às outras espécies perenes (Sapoteira do Solimões – 1075, Cupuaçuzeiro – 901) dando destaque para os gêneros *Acaulospora* spp. (392) e *Glomus* spp.(404), conforme a figura 09.

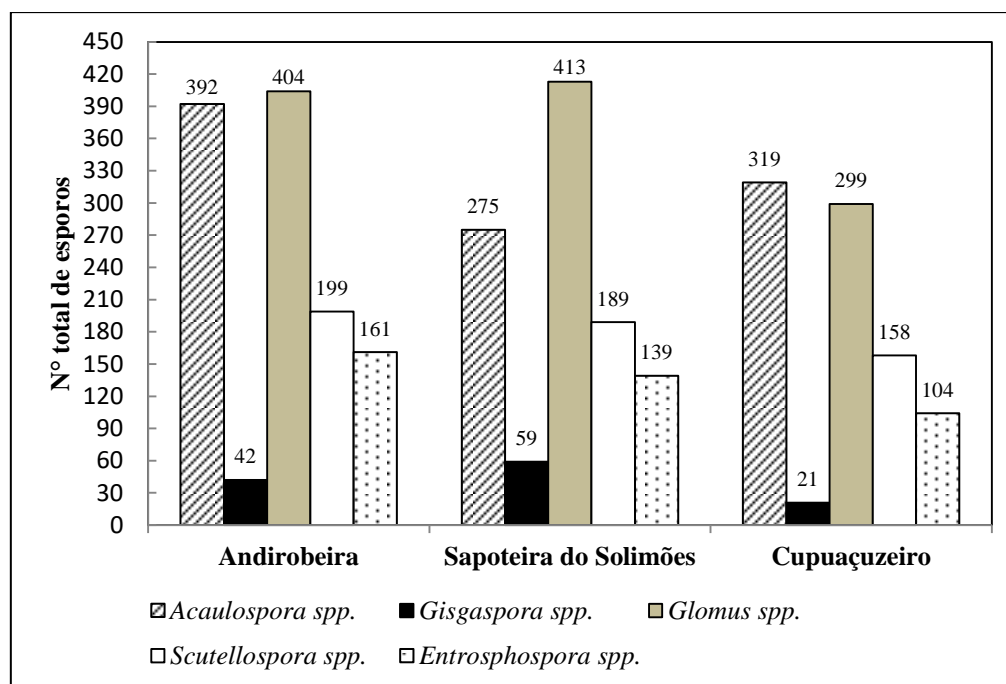


Figura 09 - Número total de esporos encontrados em todas as amostras das rizosferas das três espécies perenes estudadas, durante 2018.

Em estudo realizado na Amazônia em área de floresta nativa, Freitas *et al.* (2013) relataram que 44% do total dos gêneros identificados pertenciam aos gêneros *Acaulospora* spp. e *Glomus* spp..

Silva Jr. e Cardoso (2006) estudando as comunidades de FMAs associadas à pupunha e ao cupuaçu, em sistema agroflorestal e em monocultivo na Amazônia Central reportaram os gêneros *Acaulospora* spp. e *Glomus* spp. como os mais frequentes, confirmando os resultados encontrados neste estudo. De acordo com Loss *et al.* (2009) os gêneros *Acaulospora* spp. e *Glomus* spp. demonstram ser resistentes em áreas com perturbações ambientais.

A ocorrência destes gêneros pode estar condicionada a variáveis edáficas da área, como pH, teores de matéria orgânica e disponibilidade de P, Ca e Mg, os quais influenciam na sua ocorrência, germinação e colonização de plantas (Siqueira *et al.* 1988, 1990; Loss *et al.* 2009; Nobre *et al.* 2010).

A rizosfera da Sapoteira do Solimões apresentou 413 esporos do gênero *Glomus* spp. , nas amostras analisadas, sendo o gênero encontrado em maior quantidade, sugerindo uma alta afinidade fungo-plantas entre estes simbiontes nas condições edafoclimáticas locais.

O gênero *Gigaspora* spp. apresentou os menores números de esporos em relação aos demais gêneros de FMAs, nas rizosferas das três espécies vegetais perenes (Figura 09).

A abundância relativa dos gêneros de FMA mostraram que o *Glomus* spp. foi dominante nas rizosferas das plantas (43,1 %), seguido dos gêneros *Acaulospora* spp. (39,7 %), *Scutellospora* spp. (20,98 %), *Entrophospora* spp. (17,48 %) e *Gigaspora* spp. (10,04 %) (Tabela 03).

Nas rizosferas das três espécies o gênero *Gigaspora* spp. foi o que apresentou menores valores de abundância relativa, mostrando que esse gênero apresentou baixa esporulação no SAF estudado.

Tabela 03 - Abundância relativa (AR) e Frequência de ocorrência (FO) dos gêneros de FMAs encontrados na rizosfera de três espécies perenes em quatro épocas de coleta do ano de 2018.

Espécies	Meses de coleta	AR (%)				
		<i>Acaulospora</i> spp.	<i>Entrophospora</i> spp.	<i>Gigaspora</i> spp.	<i>Glomus</i> spp.	<i>Scutellospora</i> spp.
Andirobeira	Mar/2018	31,76	8,24	3,92	37,25	18,43
	Jun/2018	29,02	17,48	1,40	30,77	20,98
	Set/2018	38,31	12,34	1,95	30,52	16,56
	Dez/2018	31,25	14,77	6,25	36,08	11,65
Sapoteira do Solimões	Mar/2018	28,35	9,97	4,46	43,31	13,39
	Jun/2018	17,92	16,85	10,04	34,05	21,15
	Set/2018	30,06	11,04	1,84	39,26	17,79
	Dez/2018	26,77	14,17	4,33	35,04	19,69
Cupuaçuzeiro	Mar/2018	37,27	10,91	3,64	27,27	19,55
	Jun/2018	27,75	11,96	2,39	37,80	19,62
	Set/2018	39,70	13,07	1,51	28,64	17,09
	Dez/2018	35,84	10,39	1,79	36,92	14,34
FO (%)		100	100	76,7	100	100

O gênero *Acaulospora* spp. mostrou maior abundância no mês de setembro nas rizosferas das três espécies perenes, mês que se caracteriza com baixo índice pluviométrico na região de Manaus-AM. Já os gêneros *Scutellospora* spp. e *Entrophospora* spp. mostraram ser mais abundantes no mês de junho.

Stürmer e Siqueira (2010) estudando a distribuição de FMAs em distintos usos da terra na Amazônia relataram maiores índices de abundância relativa para o gênero *Acaulospora* spp. (55 %) em sistemas agroflorestais. Também na Amazônia, Miranda *et al.* (2010) avaliando comunidades de fungos micorrízicos arbusculares associados ao amendoim forrageiro observaram que a espécie *Glomus macrocarpum* foi a de maior abundância relativa nas duas estações avaliadas (71,3 % e 76 %).

Quanto à frequência de ocorrência (FO), quatro dos cinco gêneros de FMAs encontrados foram 100% frequentes nas amostras avaliadas, divergindo do restante somente o gênero *Gigaspora* spp. com 76,7 % de frequência de ocorrência.

Segundo Dandan e Zhiwei (2007), a frequência de ocorrência é definida como a porcentagem de amostras de solo em que um gênero ou espécie ocorreu, ou seja revela a extensão da distribuição deste em um ecossistema.

Em um estudo de uma área de plantio misto de espécies arbóreas na Amazônia Caproni *et al.* (2007) verificaram que as espécies do gênero *Glomus* spp. foram mais frequentes nos dois meses avaliados (agosto/1998 e abril/1999).

Segundo Corrêa *et al.* (2010) o gênero de FMAs *Glomus* spp. apresentou ampla adaptação à variação ambiental em ambos os sistemas de cultivo estudados (Monocultura e Sistemas Agroflorestais) na Amazônia. Silva Jr. (2004) confirma que o gênero *Glomus* spp. possui vasta distribuição na zona tropical.

3.3 Colonização micorrízica arbuscular

As taxas de colonização micorrízica arbuscular (%) foram calculadas com base na presença das estruturas das associações micorrízicas (hifas, vesículas, arbúsculos e esporos) nas raízes das espécies perenes Andirobeira, Sapoteira do Solimões e Cupuaçuzeiro em quatro períodos de coleta em 2018.

A análise de variância mostrou que houve diferença significativa entre as espécies, os valores médios de colonização micorrízica de Cupuaçuzeiro diferenciaram significativamente entre as demais espécies perenes em todos os meses de coleta, apresentando os menores valores de colonização micorrízica (16 – 26 %) (Tabela 04).

Tabela 04 - Colonização total (hifas, vesículas, esporos e arbúsculos) por FMAs em espécies perenes em quatro épocas de coleta do ano de 2018.

Espécies	Meses de coleta				Médias
	Março/ 2018	Junho/ 2018	Setembro/ 2018	Dezembro/ 2018	
Andirobeira	23 aA	42 aA	22 aA	43 aA	32,5 A
Sapoteira do Solimões	47 aA	40 aA	44 aA	22 aA	38,2 A
Cupuaçuzeiro	16 aB	22 aB	11 aB	26 aB	18,7 B
Médias	28,7 a	34,7 a	25,7 a	30,3 a	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúsculas nas colunas não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5 %.

A Sapoteira do Solimões foi a espécie mais colonizada por FMAs (38,25 %) no presente estudo, diferindo estatisticamente do Cupuaçuzeiro que teve a menor média (18,75 %).

Percebe-se que a colonização micorrízica arbuscular variou entre os meses de coleta, mesmo não diferindo significativamente entre si. No mês de dezembro a Andirobeira e Cupuaçuzeiro apresentaram suas taxas de colonização máximas (43 % e 26 %). Neste mesmo mês de coleta a Sapoteira do Solimões apresentou sua taxa mínima de colonização micorrízica (22%). Esses dados demonstram que cada espécie perene

tem um comportamento distinto de associação entre fungo e planta nas diferentes épocas do ano.

Oliveira e Oliveira (2005a) estudando a dinâmica sazonal dos FMAs em espécies de Cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) e Guaranazeiro (*Paullinia cupana*) em SAFs na Amazônia constataram valor máximo de colonização micorrízica de 28,4 % em Cupuaçuzeiro no mês de fevereiro.

Resultados semelhantes foram observados por Silva Jr. e Cardoso (2006) quando obtiveram uma maior taxa de colonização do Cupuaçuzeiro no período chuvoso (21,93%) em monocultivo, confirmando parcialmente ao encontrado no presente estudo para a mesma espécie perene (26%) no mês de dezembro que apresenta alta precipitação na região Amazônica.

O fato da alta colonização de micorrízica encontrada na Sapoteira do Solimões pode ser devido à maior quantidade de serapilheira na superfície do solo em relação às outras espécies, tendo conseqüentemente maiores teores de matéria orgânica, o que induz a atividade microbiana do solo.

Segundo Gryndler *et al.* (2001) os micélios de FMAs são influenciados pela decomposição da matéria orgânica, tanto por compostos liberados durante o processo de decomposição quanto por metabólitos secundários produzidos por microrganismos envolvidos na decomposição da matéria orgânica.

No mês de junho houve a maior média de colonização micorrízica (34,7 %), um mês de baixa pluviosidade. A maior colonização micorrízica em meses de baixa pluviosidade do ano foi relatada por vários autores (Oliveira e Oliveira 2005 b ; Nobre *et al.* 2010; Teixeira-Rios *et al.* 2018).

Visando a obtenção de maiores informações e uma melhor exposição dos dados, além da colonização micorrízica total, foram analisadas individualmente as estruturas presentes nas raízes: hifas, vesículas e arbúsculos nas raízes. O número de esporos presentes nas amostras de raízes foi baixo, sendo encontrado em poucas amostras, portanto não foi considerado nos gráficos (Figura 10).

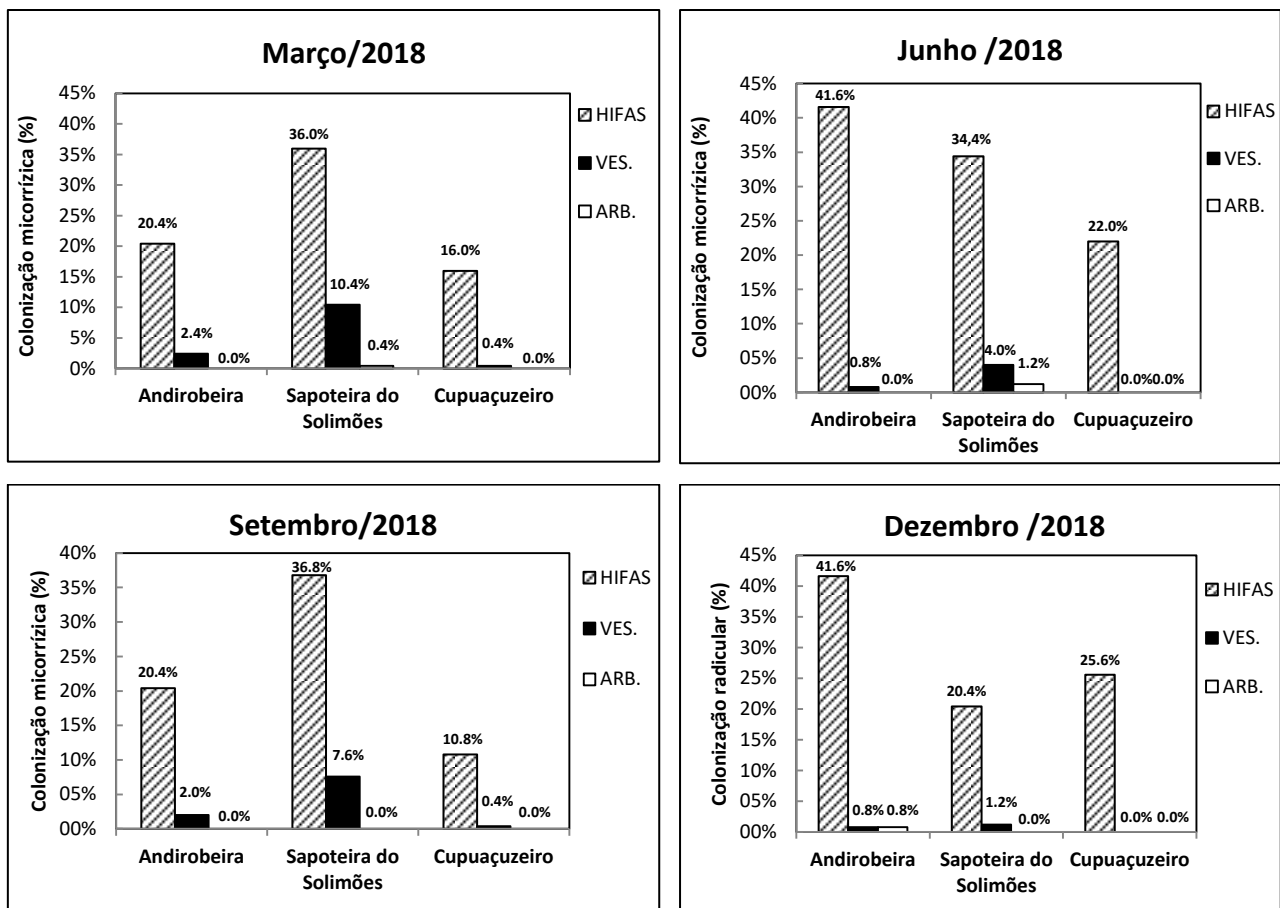


Figura 10 – Colonização micorrízica (%) por hifas, vesículas e arbúsculos observados nas rizosferas das três espécies perenes estudadas, durante os quatro meses de coleta em 2018.

Percebe-se facilmente que os maiores valores de colonização se referem às hifas, fundamentais para o estabelecimento das associações micorrízicas entre fungo e planta, sendo a estrutura micorrízica mais determinante na obtenção do valor da colonização total.

Em todos os meses de avaliação nas rizosferas das três espécies os valores de colonização por hifas se sobressaíram em relação aos de vesículas e arbúsculos, com o maior valor sendo encontrado na rizosfera da Andirobeira (41,6 %).

O resultado de alta colonização por hifas é um indicativo muito importante para a nutrição das plantas, pois a hifa é a estrutura responsável pela absorção de nutrientes e água para a associação micorrízica (Oliveira e Oliveira 2004; 2005 a,b; Siqueira *et al.* 2010).

Segundo Smith e Read (2008) as hifas dos FMAs são, geralmente, mais eficientes na obtenção e no transporte de certos nutrientes do solo até as raízes, como o P (fósforo), do que o próprio sistema radicular das plantas.

A colonização por vesículas foi maior na rizosfera da Sapoteira do Solimões (10,4 %), no mês de março (Figura 11). Sugere-se que a maior presença de vesículas na rizosfera da Sapoteira ocorreu pelo fato da dominância dos gêneros *Glomus* spp. e *Acaulospora* spp. na rizosfera da planta. De acordo com Siqueira (1996) esses gêneros normalmente formam vesículas, enquanto os *Scutellospora* spp. não apresentam este tipo de estrutura.

Alguns autores relatam as vesículas formadas nas raízes como potenciais propágulos para alguns fungos micorrízicos, evidenciando o gênero *Gigaspora* spp. (Abbott e Robson 1991).

Os arbúsculos, que são as estruturas intracelulares da associação, foram raramente encontrados nas rizosferas, sendo constatados com baixa ocorrência nas raízes da Sapoteira do Solimões (1,2 %) e Andirobeira (0,8 %).

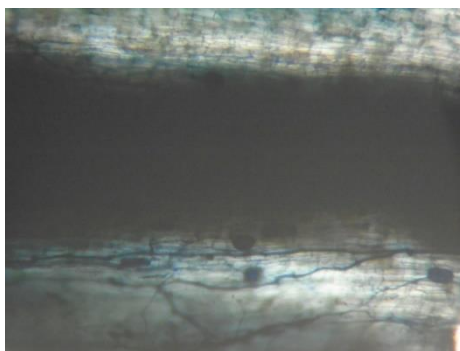


Figura 11 - Aspectos da colonização por fungos micorrízicos arbusculares (hifas e vesículas) em raiz de Sapoteira do Solimões coletada em março de 2018. Fotomicrografia da raiz visualizadas com aumento de 100x, após coloração com Tryphlan Blue.

Poucos estudos sobre ocorrência de Fungos micorrízicos arbusculares em espécies perenes na Amazônia Central foram realizados (Oliveira e Oliveira 2004; Oliveira e Oliveira 2005 b; Silva *et al.* 2009). Principalmente quando se trata da espécie Sapoteira do Solimões (*Quararibea cordata*), com a qual não há estudos recentes de associações micorrízicas na espécie, além do trabalho desenvolvido por St. John (1980) que registrou a espécie como micotrófica.

Sendo assim, o presente trabalho mostra dados inéditos de associações micorrízicas de três diferentes espécies perenes com importância econômica para a Região Amazônica (*Carapa guianensis*, *Quararibea cordata* e *Theobroma grandiflorum*), avaliadas em diferentes meses do ano (março, junho, setembro e Dezembro). Ou seja com diferentes variações abióticas e bióticas na área do SAF.

4. Conclusões

Diante dos resultados alcançados no estudo concluiu-se que há influência das rizosferas das espécies perenes e dos meses de coleta nas colonizações micorrízicas e presenças de esporos nas rizosferas das plantas.

A densidade de esporos de FMAs variou significativamente entre as espécies perenes e entre os meses de coleta em 2018.

Foram encontrados as maiores esporulações nas rizosferas de Andirobeira e Sapoteira do Solimões. As maiores de densidades de esporos foram nos meses de março e dezembro, típicos meses de maior precipitação na Amazônia.

Foi observada maior abundância relativa do gênero *Glomus* spp., dominante nas rizosferas das plantas estudadas.

O gênero que apresentou menor valor de abundância relativa foi o *Gigaspora* spp..

Dos cinco gêneros identificados somente o *Gigaspora* spp. não apresentou 100% de frequência de ocorrência nas amostras avaliadas.

Os valores de colonização micorrízica total demonstraram diferença significativa entre as espécies perenes, no qual o Cupuaçuzeiro diferiu das demais espécies, apresentando os menores valores de colonização.

Houve maior colonização por hifas, em relação às outras estruturas de colonização das raízes, sendo um importante indicativo para a nutrição das plantas, pois a hifa é a estrutura responsável pela absorção de nutrientes e água para a associação micorrízica.

Capítulo II: Fungos micorrízicos arbusculares e aspectos nutricionais rizosféricos e foliares de três espécies perenes de Sistema Agroflorestal em Manaus-AM.

1. Introdução

Na Amazônia predominam solos bem intemperizados, com acidez elevada e baixa capacidade de troca catiônica, resultando em uma reduzida fertilidade química, sendo que 78% dos solos amazônicos possuem essas características (Sanchez *et al.* 1982).

Nos ecossistemas amazônicos os microrganismos do solo possuem grande importância para a manutenção e ciclagem de nutrientes no solo (Santos e Crisi 1981; Oliveira e Oliveira 1999, 2004, 2005a, 2005b; Fanin *et al.* 2015). As condições edáficas, são fortes indicadores para o crescimento da vegetação e da dinâmica florestal através da Bacia Amazônica (Quesada *et al.* 2010).

A solução do solo é o compartimento de onde a raiz absorve e libera os elementos nutricionais através do gradiente de potencial hídrico. A absorção dos nutrientes se dá nos pelos radiculares, que são extensões de células epidérmicas (Malavolta 1980), sendo estes nutrientes divididos por aspectos puramente quantitativos em dois grupos, os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e os micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn).

Os nutrientes apresentam a sua deficiência ou excesso na solução do solo a partir das folhas das plantas (Malavolta 1989; Barker e Pilbeam 2015). Portanto a análise química foliar é uma ferramenta importante para a avaliação do estado nutricional de plantas e indicadora do estado nutricional do solo.

Os microrganismos do solo desempenham um papel importante na nutrição de plantas, como os fungos micorrízicos ou bactérias fixadoras de nitrogênio que fazem trocas simbióticas de nutrientes entre os microrganismos e as plantas, melhorando a nutrição mineral e conseqüentemente o desenvolvimento das plantas (Jacoby *et al.* 2017).

A importância desses microrganismos fica ainda mais relevante quando se trata de ecossistemas Amazônicos (Fracetto *et al.* 2012), pois trata-se de um bioma com solos naturalmente biodiversos onde predominam os latossolos e ultissolos de baixa fertilidade.

De acordo com Cardoso e Kuyper (2006) os fungos micorrízicos podem ser os mais importantes e menos compreendidos quando se refere à aquisição de nutrientes e

crescimento de plantas na agricultura. Eles levam a um aumento na produtividade do solo e, eventualmente, são benéficos para os agroecossistemas (Lin *et al.* 2012).

Em ecossistemas tropicais, a limitação pelo elemento P no solo é comum devido ao alto grau de intemperização em que se encontram os solos, tornando-o pouco disponível para as plantas (Novais e Smith 1999). A disponibilidade de certos nutrientes no solo, especialmente desse elemento, influenciam fortemente a simbiose micorrízica (Maia *et al.* 2015; Hailemariam *et al.* 2017).

Segundo Cardoso e Cuyper (2006) as associações micorrízicas permitem um melhor uso de reservas de fósforo solúvel, aumentando assim a eficiência de fertilizantes aplicados no solo. Podendo assim utilizar fungos micorrízicos arbusculares FMAs como inoculantes em cultivos a fim de aumentar a eficiência do uso dos nutrientes e água.

A dinâmica de outros nutrientes como Ca, K, Zn, Cu e S também é influenciada pela presença das associações micorrízicas na Amazônia (Oliveira *et al.* 1999; 2003; Oliveira e Oliveira 2004; 2005 a,b).

Em um estudo sobre os efeitos da inoculação de FMAs em mudas de *Euterpe oleracea*, Chu (1999) concluiu que as mudas quando inoculadas com alguma espécie eficiente de fungo micorrízico arbuscular teve um aumento significativo no crescimento e absorção de nutrientes, dando destaque aos elementos P e Ca que atingiram maiores níveis de incremento após a inoculação.

As Andirobeiras, Cupuaçuzeiros e a Sapoteiras do Solimões são espécies de origem amazônica, cujo cultivo em sistemas agroflorestais ou em áreas de monocultivo vem se intensificando. São consideradas espécies de interesse econômico pelo fato de produzirem frutos comercializáveis na região.

Apesar do registro da formação de micorrizas arbusculares nessas espécies (St. John 1980; Oliveira e Oliveira 1999; Silva Jr. e Cardoso 2006), dados de colonização micorrízica correlacionados com aspectos nutricionais (solo e foliares) são pouco conhecidos, sendo limitados no Brasil especialmente quando se trata de espécies perenes na Amazônia.

2. Material e Métodos

2.1 Localização e descrição da área estudada

As descrições da área de estudo são as mesmas apresentadas no capítulo I (item 2.1).

2.2 Histórico da fertilidade do solo da área de estudo

Segundo Scarazatti (2009) não existe registros precisos que descrevam as atividades realizadas na área do SAF do presente estudo, todavia os relatos das atividades foram feitos por funcionários da antiga Unidade Demonstrativa de Permacultura (UDP). Durante o período ativo de manejo do SAF foram adicionadas grandes quantidades de composto orgânico e folhas de castanheiras como cobertura do solo, foram adicionadas também podas de plantas leguminosas (*Leucaena leucocephala*) oriundas do manejo Agroflorestal.

As características de fertilidade do solo levanta das por Scarazatti (2009) nos mostra o incremento positivo de certos nutrientes (P, Zn e Mn), no decorrer de 10 anos, sendo elevado também o pH (H₂O) (Tabela 05).

Tabela 05- Resultados da análise química correspondente à área de SAF em Manaus-AM estudada por Scarazatti (2009).

Sistema/Ano	Prof. (cm)	pH (H ₂ O)	Ca -----	Mg <i>cmolc.Kg</i>	Al	K -----	P -----	Fe	Zn <i>mg.Kg</i>	Mn -----
SAF – 1998	0-20	4,72	2,92	0,94	1,05	0,03	34	159	1,25	4,61
SAF – 2008	0-20	5,38	2,22	0,43	0,40	0,04	85	148	6,69	5,10

Fonte: Adaptado de Scarazatti (2009).

2.3 Coleta das amostras

Foram selecionadas para o estudo três espécies vegetais do SAF nativas do bioma Amazônico e com importância no mercado consumidor, sendo elas: Andirobeira (*Carapa guianensis* Aubl.), Cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* K. Schum.) e Sapoteira-do-solimões (*Quararibea cordata* Vischer).

As coletas foram realizadas no decorrer do ano de 2018 em intervalos trimestrais, sendo coletadas amostras em quatro meses distintos: março, junho, setembro e dezembro. Nos seguintes dias do ano: 28/03/2018, 12/06/2018, 27/09/2018 e 03/12/2018.

O método de coleta do solo rizosférico e das raízes das espécies perenes estudadas são os mesmos descritos no capítulo I (item 2.2).

Para a coleta da parte aérea, realizou-se coletas das folhas dos quatro pontos cardeais da copa de cada indivíduo das espécies estudadas, formando uma amostra composta (Van Den Driessche 1974).

No caso dos cupuaçuzeiros, efetuou-se a coleta da 6ª folha a partir do ápice do ramo, classificada como folha intermediária. Em estudo de avaliação nutricional de cupuaçuzeiros, Figueredo *et al.* (2000) constataram que a maior estabilidade nos teores de nutrientes, em função da época das épocas de amostragem, foi observada nas folhas intermediárias, sendo portanto as folhas mais indicadas para o uso da diagnose foliar da espécie. Para as demais espécies também foram coletadas as folhas intermediárias.

As folhas coletadas por cada indivíduo foram devidamente acondicionadas em sacos de papel.

2.4 Análise nutricional do solo

A amostras simples coletadas conforme descrito no Capítulo I deram origem a uma amostra individual na qual se determinou os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e micronutrientes (Fe, Zn, Mn e Cu), de acordo com a metodologia proposta pela Embrapa (2011).

As análises do solo foram realizadas no Laboratório Temático de Solos e Plantas (LTSP) localizado no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) (Figura 12).



Figura 12 – Análises nutricionais do solo sendo realizadas no Laboratório Temático de Solos e Plantas (LTSP) no INPA. Fonte: Oliveira (2019). Registro: 19/11/2018.

As amostras de solo preparadas para esta análise foram secas ao ar e passadas em peneiras com malhas de 2 mm de espessura.

As determinações realizadas no LTSP foram:

- pH (água e KCl) - Acidez ativa (1: 2,5);
- Matéria orgânica (método Walkley & Black) – g/Kg;
- Ca trocável (KCl 1M) – cmolc/Kg;
- Mg trocável (KCl 1M) – cmolc/Kg;
- Al trocável (KCl 1M) – cmolc/Kg;
- K disponível (Mehlich-1) – cmolc/Kg e mg/Kg
- P disponível (Mehlich-1) – mg/Kg;
- N total (Kjeldahl) – g/Kg;
- Fe trocável (Mehlich-1) – mg/Kg;
- Zn trocável (Mehlich-1) – mg/Kg;
- Mn trocável (Mehlich-1) – mg/Kg;
- Cu trocável (Mehlich-1) – mg/Kg;

Os elementos Ca^{+2} , Mg^{+2} e Al^{+3} foram extraídos por KCl, onde Ca^{+2} e Mg^{+2} foram analisados por Espectrofotometria de Absorção Atômica (EAA) e o Al^{+3} por titulação com NaOH 0,025M.

Para os elementos P, K^+ , Fe, Zn, Mn e Cu a extração se deu com solução de Mehlich -1, onde o K^+ , Fe, Zn, Mn e Cu foram determinados por Espectrofotometria de Absorção Atômica (EAA) e o P foi determinado espectrofotometricamente (UV-Visível), por meio da leitura da intensidade da cor do complexo fosfomolibdico, produzido pela redução do molibdato com ácido ascórbico.

A solução extratora de Mehlich-1, também chamada de solução duplo-ácida, é constituída por uma mistura de HCl 0,5M + H₂SO₄ 0,125M. O emprego dessa solução como extratora de fósforo, potássio, sódio e micronutrientes do solo baseia-se na solubilização desses elementos pelo efeito de pH, entre 2-3, sendo o papel do Cl⁻ o de restringir o processo de readsorção dos fosfatos recém extraídos.

O Carbono orgânico (C) foi determinado por oxidação úmida em dicromato de potássio e o conteúdo de matéria orgânica (MO) estimada multiplicando o conteúdo de C por 1,724.

O N total foi determinado pelo método de Kjeldahl (digestão sulfúrica via úmida), através do qual a amostra foi digerida com ácido sulfúrico concentrado sob aquecimento, em presença de catalisadores que aceleram a oxidação da matéria orgânica e transforma todo o nitrogênio orgânico em íon amônio. Numa etapa subsequente, a solução obtida é alcalinizada com hidróxido de sódio concentrado e a amônia produzida nessa etapa é destilada e captada por uma solução de ácido bórico, que então é titulada com ácido padronizado.

O pH foi determinado através da medição do potencial eletronicamente por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo:líquido (H₂O e KCl), na proporção 1:2,5.

2.5 Análise nutricional foliar

As análises dos tecidos foliares foram feitas de acordo com a metodologia da Embrapa (2000) adaptada pelo LTSP do INPA, sendo determinados os seguintes macronutrientes: N, P, K, Ca e Mg; e os micronutrientes: Fe, Zn, Mn e Cu.

As folhas foram secas em estufas a 60° C até o peso constante (72 horas), sendo em seguida trituradas em moinho com 1 mm de malha e levadas para a análise química.

A análise química dos tecidos vegetais das amostras secas refere-se às operações efetuadas no laboratório e compreende a mineralização ou destruição da matéria orgânica e quantificação dos elementos químicos que a compõem. A Figura 13 resume os passos que as amostras percorrem nas análises laboratoriais.

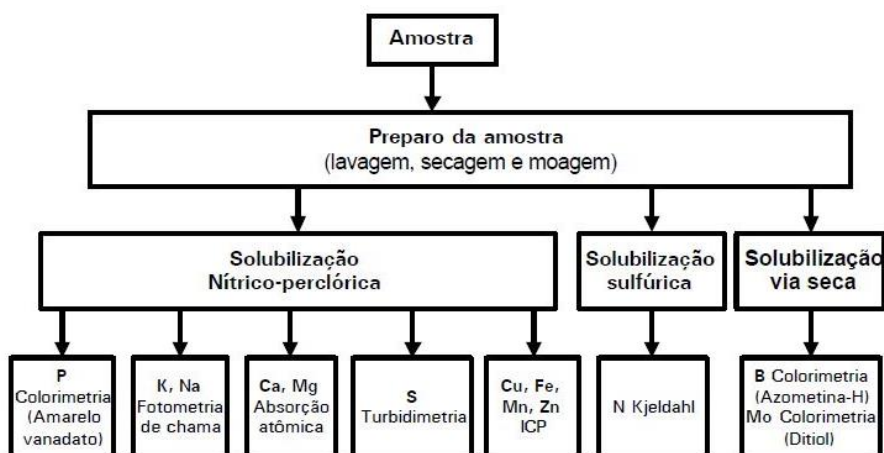


Figura 13 - Fluxograma de determinação analítica dos nutrientes do tecido vegetal no Laboratório Temático de Solos e Plantas (LTSP) do INPA. Fonte: EMBRAPA Solos (2000).

A análise de N total na amostra vegetal foi realizada pelo método de Kjeldahl, citado anteriormente.

O método Kjeldahl para determinação de nitrogênio total tem sido utilizado desde 1883. O método clássico Kjeldahl é satisfatório para a análise de N-total para a maioria dos compostos nitrogenados que ocorrem nos solos e plantas.

O método para análise do P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn e Cu foi realizada por via úmida, através da solubilização com ácidos nítrico e perclórico. A digestão nitroperclórica consiste em oxidar, em bloco digestor, e a uma temperatura controlada, a matéria orgânica da amostra, sob a ação conjunta dos ácidos nítrico e perclórico.

Os resultados de análises foliares, para a determinação de teores totais dos nutrientes P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn, e Cu foram expressos, no LTSP, em gramas por quilo (g/kg), para os macronutrientes e em miligrama por quilo (mg/kg), para os micronutrientes.

A determinação do P extraído se deu pela espectrofotometria (UV-Visível), por meio da leitura da intensidade da cor do complexo fosfomolibdico, produzido pela redução do molibdato com ácido ascórbico e a determinação dos outros elementos foi através da Espectrofotometria de Absorção Atômica (EAA).

2.6 Análise estatística dos dados

Adotou-se o delineamento fatorial 3x4, onde os fatores representaram três espécies de plantas (Andirobeira, Sapoteira do Solimões e Cupuaçuzeiro) e quatro épocas de coleta no ano de 2018 (mar/2018, jun/2018, set/2018 e dez/2018), com cinco repetições, totalizando 12 tratamentos e 60 unidades experimentais.

Os resultados das análises nutricionais (solo e foliar) foram submetidos à aplicação do teste de normalidade (teste de Shapiro-Wilk), avaliação da homocedasticidade (teste de Levene) e análise de variância empregando-se o teste F. Constada a diferença entre os tratamentos foi realizado um teste *post hoc* Tukey a 5% de probabilidade para comparação das médias dos tratamentos no programa estatístico SYSTAT 12.0.

Foi utilizada também a análise de correlação de Pearson, empregada para avaliar a existência de correlação entre a variação na colonização micorrizica e variáveis químicas dos solos rizosférico e dos tecidos foliares, seguindo Oliveira e Oliveira (2003).

Realizou-se uma correlação global entre as variáveis estudadas no solo, dispondo-se de catorze pontos de correlação, visando assim obter informações quanto à

influência positiva das características químicas do solo (0 - 10 cm), sobre a ocorrência natural dos fungos micorrízicos no Sistema Agroflorestal avaliado.

Para os teores de macro e micronutrientes das folhas foram realizadas correlações pontuais quanto às espécies perenes, dispondo de nove pontos de correlação para cada espécie, totalizando 27 correlações, objetivando obter informações quanto à influência positiva dos nutrientes das plantas sobre a ocorrência natural dos fungos micorrízicos.

3. Resultados e Discussão

3.1 Aspectos nutricionais dos solos rizosféricos

Na tabela 06 são apresentados os dados médios das características químicas das rizosferas (0 – 10 cm) das espécies perenes estudadas (Andirobeira, Sapoteira do Solimões e Cupuaçuzeiro), nos meses de março, junho, setembro e dezembro de 2018 em um SAF.

A análise de variância mostrou que alguns aspectos nutricionais (pH rizosférico, Ca, Fe e Mn) tiveram variação significativa entre meses de coleta e entre as espécies perenes ($p > 0,05$). Já o elemento K (potássio) não obteve variação significativa no solo rizosférico, em ambos os fatores avaliados.

Os valores de pH em H₂O e pH em KCl tiveram a mesma variação entre meses e espécies. Os métodos de determinação de pH avaliados diferem-se pelo efeito dos sais do solos, assim foram encontrados maiores valores de pH em água (6,2) nos meses de junho, setembro e dezembro na rizosfera da Sapoteira do Solimões.

A médias de pH (H₂O) diferiram significativamente entre os meses, o mês de março diferiu significativamente de setembro. Já entre as espécies, a Sapoteira diferiu significativamente das demais espécies.

Os valores referentes a pH (KCl) houveram diferença estatística, os meses Março e Junho diferiram significativamente dos meses de setembro e dezembro. Já entre as espécies, a Sapoteira de Solimões diferiu significativamente das demais espécies.

Tabela 06 - Características químicas dos solos rizosféricos de espécies perenes componentes de um Sistema Agroflorestal localizado em Manaus, AM.

Espécies	Meses de Coleta	Macronutrientes					Micronutrientes					pH H ₂ O	pH KCl	Al	
		N	P	Ca	Mg	K	Fe	Zn	Mn	Cu	C				MO
		g/Kg	mg/Kg	----- cmolc/Kg -----	----- cmolc/Kg -----	----- cmolc/Kg -----	----- mg/Kg -----	----- mg/Kg -----	----- mg/Kg -----	----- mg/Kg -----	----- g/Kg -----				----- g/Kg -----
Andirobeira	Março/2018	0,8 aA	12,9 aA	1,7 abA	0,2 aA	0,1 aA	73,6 aA	3,3 aA	5,0 aA	0,2 aA	5,6 aA	9,6 aA	4,7 aA	4,0 aA	0,3 aA
	Junho/2018	0,9 aA	12,6 aA	1,6 aA	0,2 aA	0,1 aA	92,2 aA	2,4 aA	4,0 aA	0,1 aA	7,5 aA	12,9 aA	4,7 abA	4,0 aA	0,5 aA
	Setembro/2018	0,8 aA	13,0 aA	1,3 bA	0,2 aA	0,1 aA	63,1 bA	1,5 aA	1,5 bA	0,2 abA	7,0 aA	12,0 aA	5,2 bA	4,7 bA	0,3 aA
	Dezembro/2018	0,7 aA	9,7 aA	0,8 bA	0,2 aA	0,1 aA	67,1 abA	1,2 aA	1,3 abA	0,3 bA	5,1 aA	8,8 aA	4,8 abA	4,6 bA	0,4 aA
Sapoteira	Março/2018	1,7 aB	47,5 aB	7,9 abB	1,1 aB	0,1 aA	50,8 aB	10,4 aB	23,7 aB	0,2 aB	18,1 aB	19,5 aB	5,7 aB	5,2 aB	0,1 aB
do Solimões	Junho/2018	2,5 aB	108,0 aB	11,5 aB	1,6 aB	0,2 aA	51,4 aB	12,3 aB	33,5 aB	0,2 aB	20,8 aB	35,9 aB	6,2 abB	5,7 aB	0,0 aB
	Setembro/2018	1,3 aB	58,2 aB	4,5 bB	0,8 aB	0,2 aA	44,3 bB	7,3 aB	12,0 bB	0,8 abB	10,5 aB	18,1 aB	6,2 bB	5,8 bB	0,0 aB
	Dezembro/2018	1,6 aB	233,8 aB	5,5 bB	0,8 aB	0,2 aA	34,7 abB	9,6 aB	16,4 abB	1,1 bB	11,7 aB	20,1 aB	6,2 abB	6,2 bB	0,0 aB
Cupuaçuzeiro	Março/2018	1,8 aB	117,3 aB	4,6 abC	0,5 aA	0,1 aA	126,4 aC	12,9 aB	21,4 aB	0,6 aC	17,0 aAB	22,4 aAB	4,8 aA	4,2 aA	0,3 aA
	Junho/2018	1,8 aB	178,9 aB	5,9 aC	0,5 aA	0,1 aA	125,2 aC	17,9 aB	23,3 aB	0,6 aC	14,2 aAB	24,5 aAB	5,0 abA	4,3 aA	0,3 aA
	Setembro/2018	1,3 aB	134,9 aB	3,2 bC	0,5 aA	0,1 aA	77,3 bC	9,3 aB	9,9 bB	1,3 abC	12,4 aAB	21,4 aAB	5,3 aA	4,9 bA	0,3 aA
	Dezembro/2018	1,6 aB	109,0 aB	2,9 bC	0,4 aA	0,1 aA	98,5 abC	7,8 aB	7,7 abB	1,7 bC	11,3 aAB	19,5 aAB	5,0 abA	4,8 bA	0,2 aA
	Média	1,4	86,3	4,3	0,6	0,1	75,4	8,0	13,3	0,6	11,8	18,7	5,3	4,9	0,2

Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre os meses do ano, pelo Teste de Tukey considerando o valor nominal de significância de 5 %; Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem entre as espécies perenes, pelo Teste de Tukey com o valor nominal de 5 % de probabilidade.

O fato dos valores de pH não terem uma grande variação entre valor mínimo e máximo (4,7 – 6,2) se dá pelo histórico de atividades de manejo do solo no SAF no decorrer dos anos, o que favoreceram o aumento do pH. Naturalmente solos amazônicos de terra firme da região de Manaus-AM possuem pH baixo, característico de solos ácidos (Plácido Jr. 2007).

Os teores de Al variaram entre meses e espécies, no entanto não houve diferença significativa entre os meses, somente entre as espécies perenes.

A Sapoteira de Solimões diferiu significativamente das demais espécies quanto ao teor de Al, com baixos teores chegando ao valor 0,0 em algumas amostras (junho, setembro e dezembro). Isso mostra que o solo rizosférico desta espécie perene se encontra com pH próximo ao neutro.

Em relação aos teores de carbono orgânico (C) e matéria orgânica (MO) as médias das variáveis não mostraram diferença significativa entre os meses, somente entre as espécies, onde a Sapoteira diferiu significativamente da Andirobeira para as duas variáveis avaliadas.

Os maiores valores de matéria orgânica foram observados nos solos rizosféricos da Sapoteira do Solimões (35,9 g/Kg) seguido do Cupuaçuzeiro (24,5 g/Kg), sendo classificados como teores alto e médio respectivamente de MO no solo (Ribeiro *et al.* 1999; Plácido Jr. 2007; Sobral *et al.* 2015). Já os solos rizosféricos da Andirobeira demonstraram teores baixos de MO (8,8 – 12,9 g/Kg).

O maior teor de MO na rizosfera de Sapoteira do Solimões pode estar relacionado ao fato da espécie ter uma grande desfolha natural no mês de setembro, pois foi observado em campo uma espessa camada de folhas na superfície do solo do SAF, o que contribuiu com o aumento dos teores de matéria orgânica e carbono orgânico.

Dentre os macronutrientes do solo houve variação significativa do nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio. Somente os teores de potássio não mostraram variações significativas em ambos os fatores avaliados.

Observou-se que para o N ocorreu diferença significativa entre as espécies perenes, sendo que a Andirobeira diferiu das demais, apresentando os menores valores do elemento (0,7 – 0,8 g/Kg). Não houve diferenças significativas entre os meses de coleta.

Os resultados encontrados para o fósforo mostram uma variação significativa entre as espécies perenes. O solo rizosférico da Andirobeira obteve valores discrepantes em relação aos solos da Sapoteira do Solimões e do Cupuaçuzeiro (9,7 –

13,0 mg/Kg para Andirobeira, 47,5 – 233,8 mg/Kg para a Sapoteira, 109,0 – 178,9 mg/Kg para Cupuaçuzeiro).

Os altos teores de fósforo disponível encontrados nas rizosferas de Sapoteira do Solimões e Cupuaçuzeiro, sugerem que a área foi fertilizada com adubos no passado. Vendo que o teor médio de P disponível em Latossolos da Amazônia é 34,5 mg/Kg (Quesada *et al.* 2010).

Os valores de Ca (Cálcio) tiveram variação entre os meses de coleta, sendo que o mês de junho diferiu dos meses de setembro e dezembro, apresentando o maior teor de Ca encontrado (11,5 cmolc/Kg) na rizosfera de Sapoteira do Solimões. Entre as espécies houve diferenças estatísticas entre todas as espécies, com amplas variações de Ca nas rizosferas (0,8 – 1,7 cmolc/Kg em Adirobeiras, 4,5 – 11,5 cmolc/Kg em Sapoteiras e 2,9 – 5,9 em Cupuaçuzeiros).

Os teores de Ca possuem forte ligação com o pH rizosférico, devido o Ca ser um cátion básico que quando em maior quantidade no solo eleva o seu pH. Vendo que foram observados os maiores valores de Ca e pH próximo de neutro nas rizosferas de Sapoteira do Solimões.

O macronutriente magnésio (Mg) diferiu estatisticamente entre as espécies perenes avaliadas. Os valores da rizosfera da Sapoteira do Solimões diferiram das demais espécies, sendo observados os maiores valores (0,8 – 1,6 cmolc/Kg).

Segundo Sobral *et al.* (2015) os teores de Mg encontrados na rizosfera da Sapoteira são classificados como teores médios, enquanto os encontrados nas demais espécies se classificam como baixos teores de Mg. O resultado é confirmado ao observar o valor de pH nas rizosferas, sabendo que o pH mais elevado aumenta a disponibilidade de certos nutrientes no solo, como o magnésio (Cantarutti *et al.* 2007).

Quando se trata dos micronutrientes observa-se que todos eles (Fe, Zn, Mn e Cu) diferiram estatisticamente entre espécies perenes. Já para o fator meses de coleta, o microelemento Zn não mostrou diferença significativa, ao contrário dos demais micronutrientes avaliados.

Para o elemento Fe, percebe-se que as rizosferas das três espécies perenes estudadas diferiram de forma significativa, mostrando maiores valores na rizosfera do Cupuaçuzeiro (77,3 – 126,4 mg/Kg) e menores em Sapoteira do Solimões (34,7 – 51,4 mg/Kg). Os solos da Amazônia, por serem considerados solos antigos, são naturalmente ricos em Fe, devido a presença dos óxidos de Fe no solo.

Quanto aos meses de coleta o elemento Fe apresentou diferenças significativas dos meses março e junho em relação aos outros meses de coleta. Alcançando os maiores valores de Fe nos meses referidos.

O micronutriente Zn apresentou menores teores na rizosfera da Andirobeira (1,2 – 3,3 mg/Kg), a qual diferiu significativamente das demais espécies perenes.

Houve diferenças estatísticas também para o microelemento Mn, que apresentou teores altos nas rizosferas de Cupuaçuzeiro (23,3 mg/Kg) e Sapoteira do Solimões (33,5 mg/Kg), segundo Prezotti e Guarçoni (2013), diferindo da Andirobeira que mostrou teores baixos de Mn (1,3 mg/Kg).

Entre os meses de coleta o mês de setembro diferiu dos demais meses, pois apresentou valores superiores de Manganês quando comparado aos outros meses de amostragem.

Quanto o micronutriente Cobre (Cu), apesar de ser considerado um elemento de baixa mobilidade no solo (Prezotti e Guarçoni 2013), apresentou diferenças significativas em seus teores quando comparados entre as espécies perenes e entre os meses de coleta.

Os maiores teores de Cu foram encontrados na rizosfera dos Cupuaçuzeiros (0,6 – 1,7 mg/Kg) sendo que houve diferenças estatísticas entre todas as espécies perenes. Entre os meses de coleta, dezembro foi o que apresentou o maior teor de Cu, diferindo dos demais meses. Segundo Alfaia e Falcão (1993) o elemento Cu não é um elemento limitante nos solos da Amazônia Central.

3.2 Análise nutricional foliar

Os dados nutricionais coletados a partir das folhas das espécies perenes apresentaram variações nos macronutrientes e micronutrientes. Somente o microelemento Fe não mostrou variações estatísticas (Tabela 07).

Foi observado para o macroelemento Ca diferenças significativas entre todas as espécies, sendo que os maiores teores foram vistos nas folhas de Sapoteira do Solimões (28,9 – 41,4 g/Kg), seguido da Andirobeira (12,5 – 18,6 g/Kg) e do Cupuaçuzeiro (9,3 – 12,8 g/Kg). Entre os meses de coleta houve diferenças entre o mês de dezembro com os meses de março e junho, menores valores foram encontrados no mês de dezembro.

Segundo Wadt *et al.* (2012) o valor adequado de Ca nas folhas de Cupuaçuzeiro para o seu estado nutricional é 7,22 g/Kg, ou seja os teores encontrados no presente trabalho foram superiores aos sugeridos pela literatura.

O teor foliar de Mg variou entre as espécies e apesar da baixa amplitude dos teores nas espécies perenes todas elas diferiram significativamente entre si, sendo observados os maiores valores nas folhas da Sapoteira do Solimões (3,2 – 3,6 g/Kg).

Tabela 07 - Nutrientes foliares das espécies perenes componentes de um Sistema Agroflorestal localizado no IFAM, Zona Leste de Manaus-AM.

Espécies	Data da coleta	Macronutrientes					Micronutrientes			
		Ca	Mg	N	P	K	Fe	Zn	Mn	Cu
		----- g/kg -----					----- mg/kg -----			
Andirobeira	1° Março/2018	18,6 aA	2,0 aA	14,2 aA	1,4 aA	4,5 abA	43,7 aA	15,0 aA	15,3 aA	4,3 aA
	2° Junho/2018	18,2 aA	2,0 aA	14,2 aA	1,4 aA	4,2 aA	36,4 aA	15,5 aA	17,9 aA	3,1 aA
	3° Setembro/2018	12,5 abA	1,8 aA	16,0 aA	1,5 aA	5,8 bA	61,9 aA	15,5 aA	14,9 aA	4,0 aA
	4° Dezembro/2018	14,7 bA	1,8 aA	16,1 aA	1,3 aA	4,9 bA	76,7 aA	14,1 aA	15,2 aA	2,2 aA
Sapoteira do Solimões	1° Março/2018	38,1 aB	3,5 aB	26,4 aB	3,2 aB	9,2 abB	60,9 aA	11,4 aB	59,7 aB	7,7 aB
	2° Junho/2018	41,4 aB	3,6 aB	26,0 aB	3,2 aB	7,4 aB	68,1 aA	10,7 aB	66,2 aB	6,1 aB
	3° Setembro/2018	34,9 abB	3,2 aB	25,5 aB	3,0 aB	9,2 bB	79,8 aA	10,6 aB	47,8 aB	5,8 aB
	4° Dezembro/2018	28,9 bB	3,2 aB	27,0 aB	2,5 aB	10,6 bB	57,7 aA	11,3 aB	46,8 aB	4,2 aB
Cupuaçuzeiro	1° Março/2018	12,8 aC	2,4 aC	17,9 aC	1,2 aA	4,7 abA	71,2 aA	16,7 aA	83,3 aB	3,6 aA
	2° Junho/2018	11,8 aC	2,4 aC	18,8 aC	1,4 aA	4,7 aA	63,9 aA	15,9 aA	80,7 aB	3,2 aA
	3° Setembro/2018	9,6 abC	2,2 aC	17,5 aC	1,3 aA	5,4 bA	54,7 aA	15,9 aA	65,5 aB	2,4 aA
	4° Dezembro/2018	9,3 bC	2,4 aC	18,6 aC	1,2 aA	4,7 bA	73,8 aA	17,8 aA	73,8 aB	4,4 aA
Médias		20,9	2,5	19,8	1,9	6,3	62,4	14,2	48,9	4,2

Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre os meses do ano, pelo Teste de Tukey considerando o valor nominal de significância de 5 %; Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem entre as espécies perenes, pelo Teste de Tukey com o valor nominal de 5 % de probabilidade.

Em relação ao nitrogênio (N) todas as espécies diferiram entre si estatisticamente. Os maiores teores de N foram observados na Sapoteira do Solimões (25,5 – 27,0 g/Kg) seguidos dos encontrados nos Cupuaçuzeiros (17,5 – 18,8 g/Kg) e da Andirobeira (14,2 – 16,1 g/Kg). Não houve diferença significativa entre os meses de coleta.

Os valores de N encontrados nas folhas dos Cupuaçuzeiros estão de acordo com os valores adequados sugeridos por Wadt *et al.* (2012).

Os níveis de fósforo encontrados nas folhas das espécies perenes tiveram diferenças significativas, sendo que a Sapoteira do Solimões mostrou os maiores níveis diferindo estatisticamente das demais espécies (2,5 – 3,2 g/Kg). Não houve diferença significativa entre os meses de coleta.

Sugere-se que a Sapoteira do Solimões possui absorções mais eficientes de P disponível no solo, devido ao fato de se destacar das outras espécies em relação aos níveis desse elemento.

Magalhães e Blum (1999) estudando a concentração de nutrientes nas folhas de Andirobeira (*Carapa guianensis*) na Amazônia ocidental observaram teores foliares de fósforo variando entre 0,7 a 1,1 g/Kg, valores inferiores ao encontrados no presente trabalho (1,3 – 1,5 g/Kg).

Os teores de potássio avaliados apresentaram diferenças estatísticas entre as espécies perenes e entre os meses de coleta. A Sapoteira do Solimões apresentou os maiores teores de K (7,4 – 10,6 g/Kg), diferindo significativamente das demais espécies.

Houve variação estatística dos teores desse elemento ao se analisar os meses de coletas, com os encontrados no mês de junho diferindo de setembro e dezembro apresentando os menores valores de K entre os meses de amostragem (4,2 – 4,7 g/Kg).

Os micronutrientes não apresentaram variações significativas em seus teores quando comparado entre os meses de coleta.

O microelemento Zn apresentou menores teores nas folhas da Sapoteira do Solimões (10,6 – 11,4 mg/Kg) e maiores nas folhas de Cupuaçuzeiro (15,9 – 17,8 mg/Kg). Os baixos teores de Zn nas folhas das Sapoteiras diferiram dos valores encontrados nas demais espécies perenes.

O valor ótimo de concentração de Zn nas folhas de Cupuaçuzeiros sugerido por Wadt *et al.* (2012) é em torno de 19 mg/Kg, valor superior ao encontrado para a mesma espécie no presente estudo.

A análise foliar mostrou que os teores foliares do microelemento Mn diferiu estatisticamente entre as espécies perenes, sendo encontrados os maiores valores nas espécies de Cupuaçuzeiro (65,5 – 83,3 mg/Kg) e Sapoteira do Solimões (46,8 – 66,2 mg/Kg), as quais diferiram da Andirobeira que apresentou valores significativamente menores de Mn (14,9 – 17,9 mg/Kg).

Foram relatados valores de concentração de Mn nas folhas de Andirobeira (*Carapa guianensis*) na Amazônia ocidental (Magalhães e Blum 1999) inferiores (2 - 4 mg/Kg) ao encontrados no presente trabalho.

O Cu apresentou variação significativa para os valores encontrados nas folhas da Sapoteira do Solimões (4,2 – 7,7 mg/Kg), em relação às outras espécies perenes. Entre os meses de coleta não houve diferenças estatísticas.

Segundo Oliveira *et al.* (1999) as diferenças entre as espécies quanto aos teores de nutrientes nas folhas sugerem que elas apresentam diferentes habilidades para absorver estes nutrientes do solo ou que apresentam variações nas eficiências de uso interno destes elementos.

Quando se compara as concentrações dos macronutrientes nas folhas observa-se que a Sapoteira do Solimões e o Cupuaçuzeiro acumulam nutrientes na ordem $Ca > N > K > Mg > P$. Já a Andirobeira segue a ordem $N > Ca > K > Mg > P$, sugerindo que a espécie possui maiores demandas de Nitrogênio em relação aos outros macronutrientes.

Quanto à relação das concentrações de micronutrientes no tecido foliar das três espécies segue a seguinte ordem $Fe > Mn > Zn > Cu$.

Houve diferença da condição fisiológica das concentrações de micronutrientes em Andirobeira observada por Oliveira *et al.* (1999), os quais relataram maiores teores de Zn em relação ao Mn.

De acordo com Oliveira *et al.* (1999) estas sequências de concentrações de macro e micronutrientes podem ser muito importantes para uma possível indicação de espécies para SAFs, pois aquelas que apresentarem sequências semelhantes poderão competir mais entre si ao serem colocadas na mesma área de solo, o que não seria o mais apropriado.

3.3 Correlações lineares

3.3.1 Correlações entre a colonização micorrízica e as características químicas do solo rizosférico

Ao se relacionar as colonizações radiculares com FMAs e as características químicas do solo (Figura 14), observa-se que não houve qualquer correlação significativa, como os valores r sendo bastante pequenos, variando de 0,043 a 0,196. Os valores de r foram positivos para algumas variáveis do solo, indicando que seus teores no solo não interferem negativamente as colonizações micorrízicas.

Essas correlações globais lineares envolveram o conjunto total dos dados das colonizações radiculares dos FMA, e as características químicas (N, P, Ca, Mg, K, Fe, Zn, Mg, Cu, Al, pH (H₂O e KCl), C e MO) das rizosferas das espécies estudadas em ambas as estações de coleta.

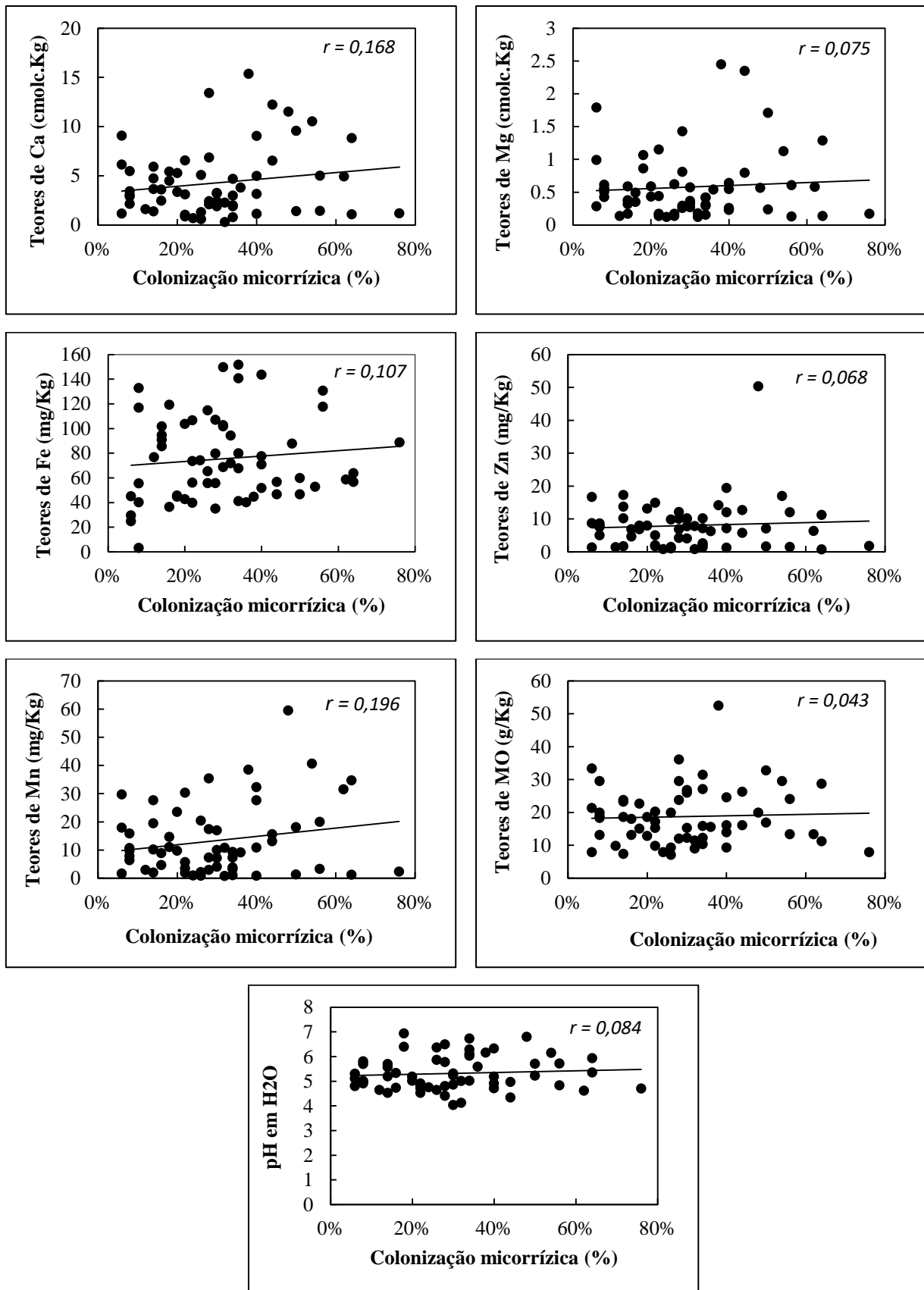


Figura 14 – Correlações globais lineares de Pearson positivas entre as taxas de colonização por FMA e características químicas nas rizosferas das espécies estudadas.

Oliveira e Oliveira (2003) estudando rizosféricos de Cupuaçuzeiro e Guaranazeiro em um SAF encontraram correlações significativas e positivas entre a colonização micorrízica e os teores de Ca e Mg em solos rizosféricos. Foi relatado por alguns autores que o efeito da calagem pode estimular a formação e o estabelecimento das associações micorrízicas (Siqueira e Franco 1988; Abbott e Robson 1991; Schneider *et al.* 2011).

Ao contrário do que foi encontrado neste estudo, outras pesquisas mostram correlações significativas negativas entre o Fe e a colonização micorrízica em solos rizosféricos da Amazônia (Oliveira *et al.* 1999; Oliveira e Oliveira 2003).

Apesar de ter encontrado baixo valor de r na correlação com a matéria orgânica, essa característica demonstrou ser positiva. A matéria orgânica é um fator essencial para a manutenção da microbiota do solo, pois é fonte de carbono para os microrganismos, o que faz da matéria orgânica importante parâmetro nos estudos dos FMA (Araújo *et al.* 2004).

Os fungos micorrízicos arbusculares podem associar-se às partículas de matéria orgânica do solo utilizando-as como fonte de energia (St. John *et al.* 1983). Segundo Jøner & Jakobsen (1995), o aumento no desenvolvimento das hifas dos FMAs pode estar relacionado à alta concentração da matéria orgânica.

O pH rizosférico (H_2O) demonstrou uma baixa tendência em aumentar de acordo com o aumento da colonização micorrízica, apresentando valor positivo de r ($r = 0,084$) para correlação linear entre as variáveis, no entanto trata-se de uma correlação fraca (Figura 14).

O pH do solo é considerado por alguns autores como um dos fatores mais influenciadores na colonização micorrízica (Graw 1979; Abbott e Robson 1991; Entry *et al.* 2002), o qual influencia na disponibilidade de macro e micronutrientes.

Oliveira e Oliveira (2005a) estudando a dinâmica dos FMAs em solos rizosféricos em um SAF na Amazônia relataram correlações positivas ($r = 0,5$) entre o pH rizosférico e a colonização micorrízica nas espécies estudadas.

É importante frisar que as colonizações micorrízicas podem ser estimuladas numa faixa de pH do solo específica para cada espécie de FMA. De acordo com Mosse *et al.* (1982) o gênero *Acaulospora* spp. não coloniza em solos neutros ou alcalinos, ao passo que o gênero *Glomus* spp. não coloniza hospedeiros em solos com pH inferior a 5,6.

3.3.2 Correlações entre a colonização micorrízica e as características químicas foliares

Realizou-se correlações pontuais dos teores de nutrientes (macro e micronutrientes) nas espécies perenes estudadas e a colonização micorrízica (%) em suas raízes (Figuras 15, 16 e 17).

Foram consideradas as correlações positivas entre as variáveis, pois neste caso ambas as variáveis correlacionadas tendem a aumentar ou diminuir em conjunto, sendo que o estudo busca a influência positiva da colonização micorrízica na nutrição de plantas.

A figura 15 apresenta as correlações positivas entre os teores foliares da Andirobeira e a colonização micorrízica dos FMAs em suas raízes. De nove correlações três se apresentaram positivas, sendo para os elementos Ca, Fe e Mn. No entanto, os valores r são baixos, indicando que os dados não são facilmente previsíveis por uma equação linear, uma vez que apenas 4,0 % dos teores de Ca, 2,8 % de Fe e 5,5 % de Mn se ajustam às respectivas equações lineares, conforme seus valores de r^2

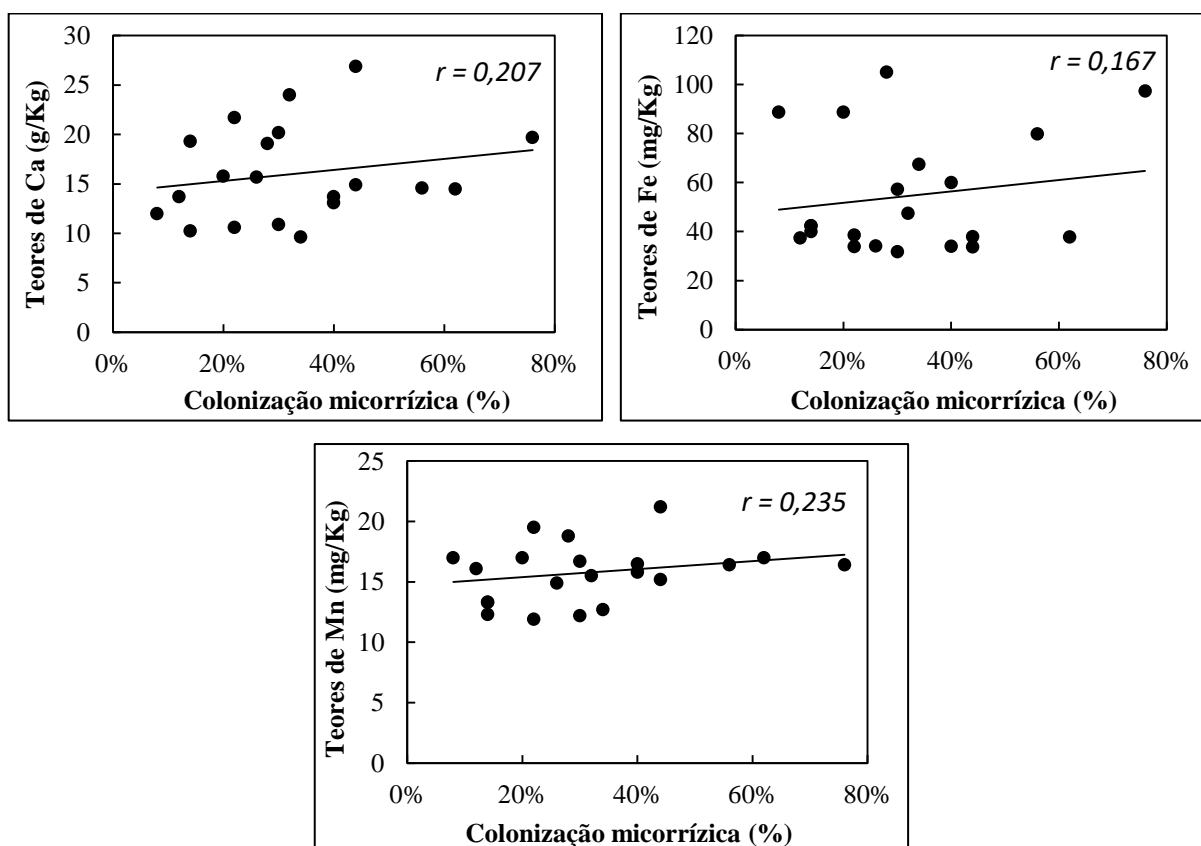


Figura 15 – Correlações lineares de Pearson positivas entre as taxas de colonização por FMA e características químicas foliares da Andirobeira (*Carapa guianensis*).

Em um estudo sobre a concentrações dos nutrientes foliares de espécies florestais Magalhães e Blum (1999) encontraram baixas concentrações de Mn nas folhas de Andirobeira, não atingindo 10 mg/Kg, valores estes inferiores ao encontrados no presente estudo (17,9 mg/Kg). Comprovando a importância das associações simbióticas para espécie *Carapa guianensis* (Andirobeira) quando se refere a nutrição do microelemento Mn.

A Sapoteira do Solimões (*Quararibea cordata*) apresentou dados de correlações interessantes, tendo quatro correlações positivas de nove avaliadas (Figura 16). Contudo estudos sobre associações micorrízicas em Sapoteiras do Solimões são praticamente inexistentes, o que dificulta a discussão dos resultados encontrados para espécie.

No entanto, pela plotagem dos dados na Figura 16 e seus respectivos valores r , verifica-se que as correlações são mais evidentes com os teores de P e Cu. Mesmo assim, os r^2 são muito baixos, indicando respectivamente. Que apenas 8,2% dos dados de P, 0,1 % de Ca, 0,6 % de Mn e 15,5 % se encaixam dentro das equações lineares desses elementos em relação às colonizações micorrízicas radiculares por FMAs.

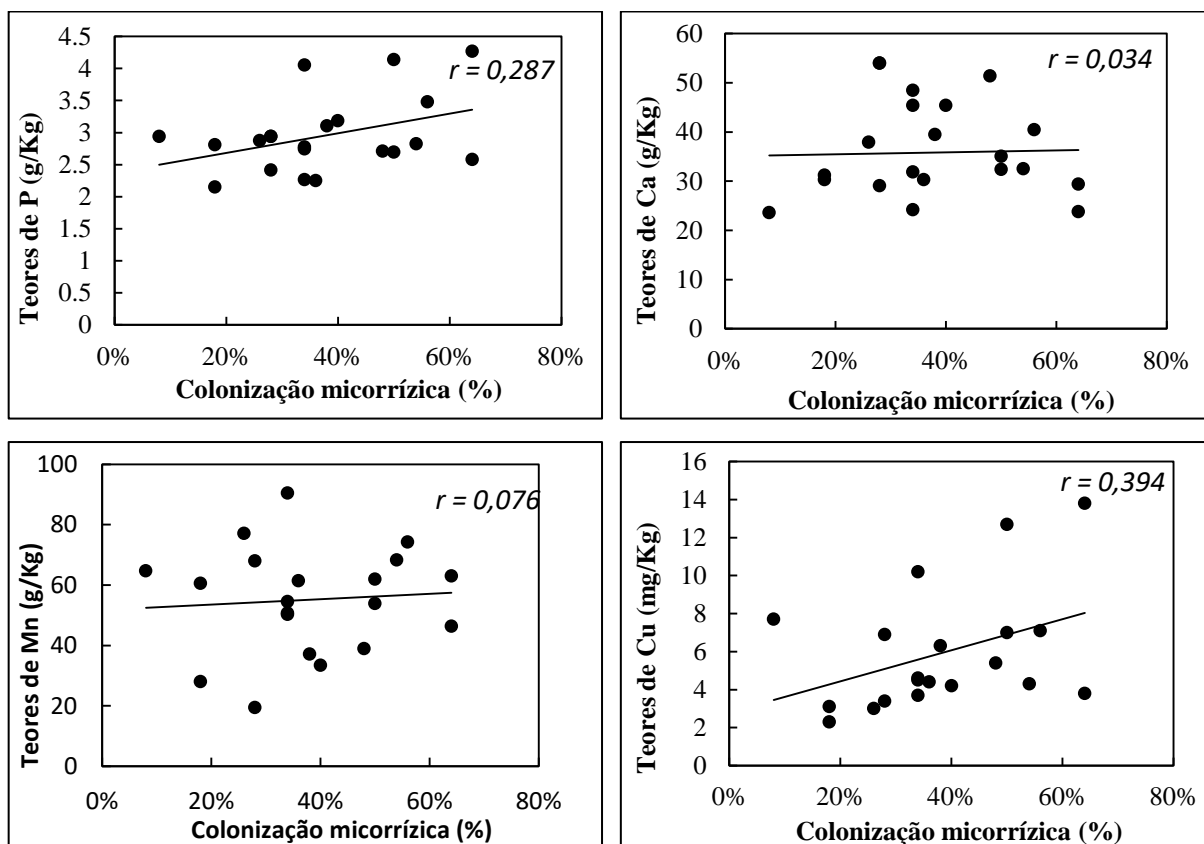


Figura 16 – Correlações lineares de Pearson positivas entre as taxas de colonização por FMA e características químicas foliares da Sapoteira do Solimões (*Quararibea cordata*).

Quando o P se encontra com teor elevado no solo, normalmente induz a uma baixa colonização micorrízica (Abbott e Robson, 1991; Brundrett, 1991; Saggin Jr. *et al.*, 1994), ou seja observa-se a dependência micorrízica em condições de reduzidas quantidades de P no solo (Costa *et al.* 2005).

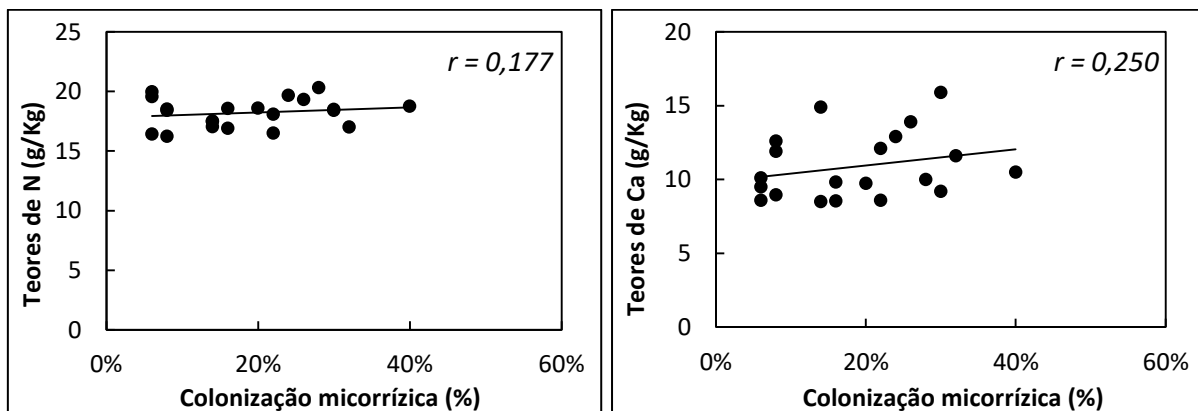
Segundo Siqueira (1994) a quantidade de P requerida para inibir a colonização depende da capacidade de absorção e translocação pela espécie vegetal.

O Cu demonstra influenciar a colonização micorrízica em outros estudos realizados com diferentes espécies cultivadas na Amazônia (Oliveira *et al.* 1999; Oliveira *et al.* 2003; Oliveira e Oliveira 2004).

A figura 17 apresenta as correlações positivas entre os teores de alguns nutrientes foliares dos Cupuaçuzeiros e a colonização micorrízica dos FMAs em suas raízes.

Desses, se observa uma correlação positiva e significativa entes os teores de Ca, Fe e Mg com as colonizações micorrízicas com valores r respectivos de 0,250, 0,513 e 0,312. Isso significa (valores r^2) que cerca de apenas 6,2 %, 26,3 % e 9,7 % dos dados são explicados por sus respectivas equações lineares.

Todos esses valores indicam que é pouca a influência das colonizações radiculares por FMAs na nutrição dessas espécies, talvez porque seus crescimentos lentos são supridos adequadamente pelos teores de macro e micronutrientes encontrados no solo.



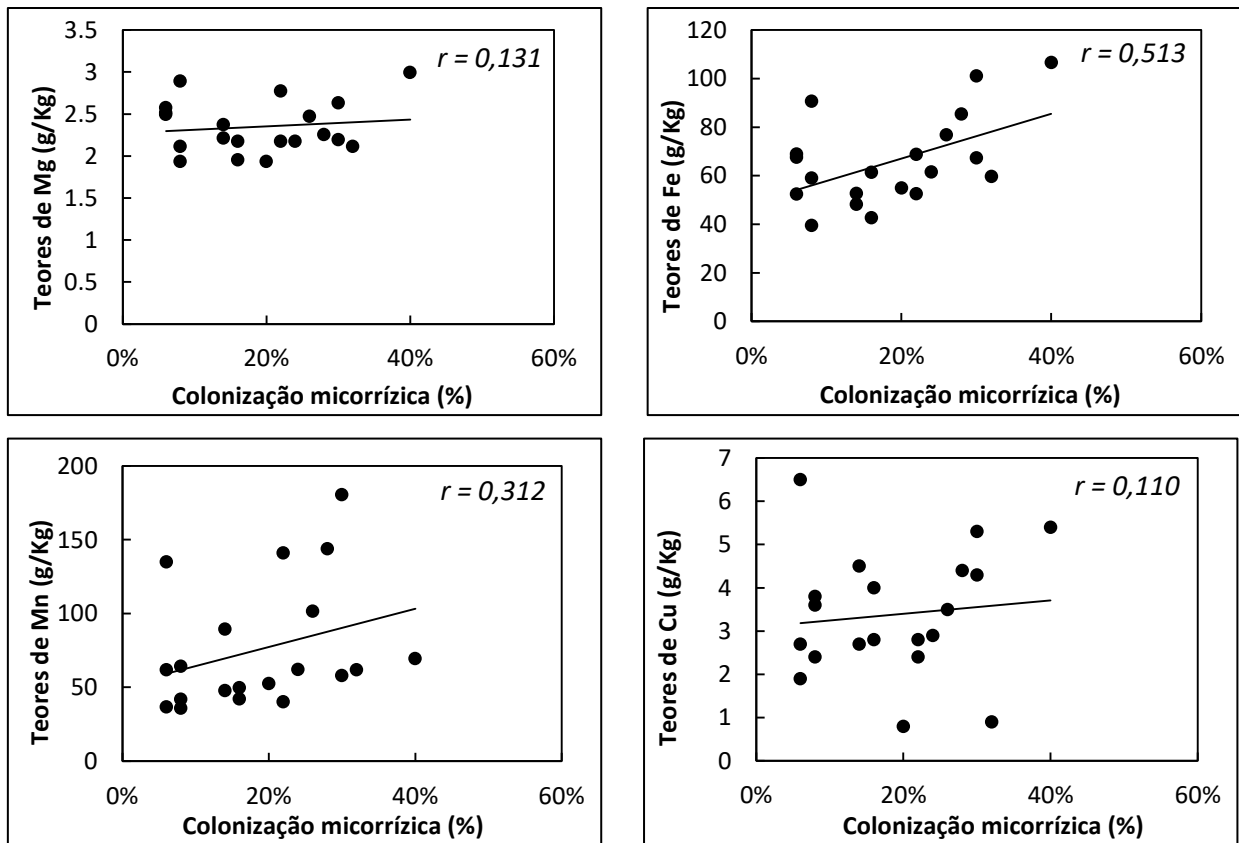


Figura 17 – Correlações lineares de Pearson positivas entre as taxas de colonização por FMA e características químicas foliares da Cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*).

De nove correlações seis se apresentaram positivas, sendo influenciadas pela concentração dos elementos N, Ca, Mg, Fe, Mn e Cu.

A contribuição das micorrizas para o aumento da absorção do N é explicada na literatura pela capacidade das hifas extracelulares de crescerem além da zona rizoférica que se forma próximo à superfície das raízes absorventes, tendo maior acesso ao nutriente disponível no solo (Siqueira *et al.*, 1996).

O estudo de Oliveira e Oliveira (2004) relatou correlações positivas entre os macronutrientes Ca e Mg foliares e a colonização micorrízica em Cupuaçuzeiros, apresentando valores de r superiores ao encontrado no presente estudo ($r = 0,649$ para o Ca; $r = 0,816$ para Mg).

Para os micronutrientes, somente o Zn não correlacionou de forma positiva com a colonização micorrízica em Cupuaçuzeiros, as concentrações dos demais micronutrientes (Fe, Mn e Cu) apresentaram equivalência aos dados de colonização, apresentando valores de r positivos.

O maior valor de r encontrado para correlação com o Fe ($r = 0,513$), mostra que a colonização micorrízica possui correlação moderada os seus teores foliares. O excesso

de Fe na rizosfera do Cupuaçuzeiro (Tabela 06) provavelmente não afetou a colonização radicular, ao contrário de outros estudos que demonstram o efeito tóxico do Fe nas raízes (Cardoso 1994; Costa 2010).

A absorção de Mn foi favorecida pela colonização micorrízica em Cupuaçuzeiros, apresentando valor de $r = 0,312$. Tal resultado contraria a afirmação relatada por Oliveira e Oliveira (2004), os quais observaram correlação negativa entre esse elemento e a colonização micorrízica em Cupuaçuzeiros de um SAF.

A correlação entre o Cu e a colonização radicular apresentou valor de r considerado baixo ($r = 0,110$). Conforme Colozzi Filho e Balota (1994), o Cu, por ser um elemento de baixo coeficiente de difusão, tem sua absorção geralmente favorecida pela associação micorrízica.

Como o presente estudo foi realizado em condições naturais de campo com a população autóctone de FMAs, é de se presumir que as raízes das espécies perenes tenham sido colonizadas por diferentes FMAs, o que resulta diferentes eficiências de absorção.

4. Conclusões

Diante do exposto concluiu-se que os aspectos nutricionais do solo rizosférico das espécies perenes estudadas foram influenciados tanto pelo fator espécie como também pelo fator mês de coleta.

Os meses de avaliação diferiram estatisticamente entre os macro e micronutrientes do solo, no entanto cada mês apresentou uma disponibilidade específica entre os nutrientes. Foram encontrados valores nutricionais interessantes para Sapoteira do Solimões, sugerindo um aprofundamento dos estudos nutricionais da espécie.

Os dados nutricionais coletados a partir das folhas das espécies perenes apresentaram variações estatísticas nos macro e micronutrientes entre as espécies. Somente o microelemento Fe não mostrou variações estatísticas entre as espécies estudadas.

As correlações entre as colonizações radiculares por FMAs e as características químicas do solo rizosféricos mostraram ser positivas para as variáveis Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, MO e pH (H₂O). No entanto apresentaram valores relativamente baixos de r , evidenciando correlações fracas.

Dentre as espécies, o Cupuaçuzeiro apresentou o maior número de correlações entre nutrientes foliares e a colonização micorrízica, mostrando a importância da associação simbiótica para a espécie.

CONCLUSÕES GERAIS

O estudo apresentou resultados que comprovam baixa eficiência das associações micorrízicas com plantas de hábito perene em sistemas agroflorestais na Amazônia. Dentre os FMAs encontrados, os gêneros *Glomus* spp. e *Acaulospora* spp. foram dominantes nas rizosferas estudadas, comprovando resultados já encontrados por outros autores na mesma região.

A Sapoteira do Solimões mostrou-se promissora em absorção de nutrientes, apresentando os valores mais adequados de macro e micronutrientes foliares dentre as três as espécies estudadas.

Apesar dos baixos valores de r encontrados nas correlações, houve correlações positivas entre a associação simbiótica dos FMAs e o teor de nutrientes das espécies perenes do SAF.

O Cupuaçuzeiro mostrou mais correlações positivas entre os nutrientes e a colonização micorrízica, dentre as espécies, mostrando a importância da associação simbiótica para a sobrevivência da espécie.

Estudos mais pontuais sobre a ocorrência de fungos micorrízicos na Amazônia e suas associações devem ser realizados, a fim de levantar mais informações dos benefícios desses fungos simbióticos tão pouco estudados para o desenvolvimento vegetal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbott, L.K.; Robson, A.D. 1991. Factors influencing the occurrence of vesicular arbuscular mycorrhizas. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 35:121-150.
- Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.deM.; Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22: 711-728.
- Alfaia, S.S.; Ayres, M.I.C. 2004. Efeito de doses de nitrogênio, fósforo e potássio em duas cultivares de cupuaçuzeiros, com e sem sementes na região da Amazônia Central. *Rev. Bras. Frutic.*, 26: 320-325.
- Alfaia, S. S., Falcão, N. D. P. 1993. Estudo da dinâmica de nutrientes em solo de várzea da Ilha do Careiro no Estado do Amazonas. *Amazoniana: Limnologia et Oecologia Regionalis Systematis Fluminis Amazonas*, 12(3/4), 485-493.
- Araújo, C. V.; Alves, L. D. J.; Santos, O. M.; Alves, J. M. 2004. Micorriza arbuscular em plantações de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell no litoral norte da Bahia, Brasil. *Acta Botânica Brasileira*, 18(3), 513-520.
- Babikova, Z.; Gilbert L.; Bruce, T.J.A.; Birkett, M.; Caulfield, J.C.; Woodcock, C.; Pickett, J.A.; Johnson, D. 2013. Underground signals carried through common mycelial networks warn neighbouring plants of aphid attack. *Ecology letters*, 16: 835-843.
- Bagyaraj D.J. 2014. Mycorrhizal fungi. *Proc Indian Natinal Science Academy*, 80: 415-428.
- Barker, A. V., & Pilbeam, D. J. (2015). *Handbook of plant nutrition*. CRC press.
- Bastos, T.X. 1982. O clima da Amazônia Brasileira segundo Köppen. *Centro de Pesquisa Agropecuaria do Trópico Úmido - EMBRAPA*, 87: 4p.
- Berude, M.C. et al. 2015. Micorrizas e sua importância agroecológica. *Enciclopédia Biosfera*, v. 11, n. 22, p. 132.
- Bezerra, T.E. 2007. *Efeito da adubação na nutrição e na colonização radicular por fungos micorrízicos arbusculares do camucamuzeiro (Myrciariadubia (h.b.k.) mcvaugh) e da aceroleira (Malphigiapunicifolia l.) em um Latossolo da Amazônia central*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 132 f.
- Bonfim, J.A., Matsumoto, S.N., Lima, J.M., César, F.R.C.F., Santos, M.A.F. 2010. Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e aspectos fisiológicos em cafeeiros cultivados em sistema agroflorestal e a pleno sol. v.69, n.1, p.201-206,
- Bukovská, P.; Bonkowski, M.; Konvalinková, T.; Beskid, O.; Hujslová, M. Püschel, D.; Řezáčová, V.; Gutiérrez-Núñez, M.S.; Gryndler, M.; Jansa, J. 2018. Utilization of organic nitrogen by arbuscular mycorrhizal fungi - is there a specific role for protists and ammonia oxidizers?. *Mycorrhiza*. 28:269–283.

Braga, L.F.; Sousa, M.P.; Campos, S.C.B.; Isepon, J. Dos S.; Marinho, H.A.; Castro, J. S. 2003. Caracterização físico-química da sapota-do-solimões. *Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais*. 2: 32-39.

Brower, J.E.; ZAR, J.H.; VON ENDE, C. N. 1984. Field and laboratory methods for general ecology. William C. Brown, Dubuque, Iowa.

Brundrett, M.C. 2004. Diversity and classification of mycorrhizal associations. *Biological Reviews*, 79: 473-495.

Brundrett, M.C.; Tedersoo, L. 2017. Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. *New Phytologist*. doi: 10.1111/nph.14976.

Caproni, A.L., Franco, A.A., Granha, J.D.O., & Souchie, E. L. 2007. Ocorrência de Fungos Micorrízicos Arbusculares em resíduo da mineração de bauxita revegetado com espécies arbóreas. *Acta botanica brasílica*, 21(1), 99-106.

Cantarutti, R. B., Barros, N. D., Martinez, H. E. P., Novais, R. F. 2007. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. *Fertilidade do solo*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 769-850.

Cardoso, E.J.B.N.; Andreote, F.D. 2016. *Microbiologia do solo*. 2.ed. ESALQ, Piracicaba, 221p.

Cardoso, I.M.; Boddington, C.; Janssen, B.H.; Oenema, O.; Kuyper, T.W. 2003. Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coffee systems in Brazil. *Agroforestry Systems*, 58(1), 33-43.

Cardoso, I.M.; Kuyper, T.W. 2006. Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agriculture, ecosystems & environment*, 116(1-2), 72-84.

Cardoso, E.J.B.N. 1994. Interaction of mycorrhiza, phosphate and manganese in soybean. In: Azcón-aguilar, C.; Barea, J. M. (Ed.). *Mycorrhizas in integrated systems: from genesto plant development*. In: European symposium on mycorrhizas, 4.Granada. Proceedings... Luxembourg: European Commission Report. p. 304-306.1996.

Castro, A.P. de; Fraxe, T.de J. P.; Santiago, J.L.; Matos, R.B.; Pinto, I.C. 2009. Os sistemas agrofloretais como alternativa de sustentabilidade em ecossistemas de várzea no Amazonas. *Acta Amazonica*, 39: 279–288.

Cevallos, B. R. Z. 2017. Diversidad fúngica asociada a raíces de tres especies de árboles del género matisia, que presentan distintos patrones de agregación en el parque nacional yasuní. Dissertação de Licenciatura em Ciências Biológicas, Pontificia Universidad Católica Del Ecuador, Quito, 71 f.

Chu, E. Y. 1999. The effects of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on *Euterpe oleracea* mart.(açai) seedlings. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 34: 1018-1024.

Colozzi-Filho, A.; Balota, E.L. 1994. Micorrizas arbusculares. In: Hungria, M.; Araújo, R.S. (Eds.). *Manual de métodos empregados em estudos em Microbiologia Agrícola*. EMBRAPA, Brasília. p. 383-418.

- Condé, T.M.; Lima, M. L.M. de; Lima Neto, E.M. de; Tonini, H. 2013. Morfometria de quatro espécies florestais em sistemas agroflorestais no município de Porto Velho, Rondônia. *Revista Agro@ambiente On-line*. 7: 18-27.
- Corrêa, H. de S.; Knoechelmann, C. M.; Mello H. de, A., Pereira, F. D., Michelotti, F., & Maneschy, r. q. 2013. Fungos micorrízicos arbusculares associados às culturas cultivadas em sistemas agroflorestais e em monoculturas em projetos de assentamento do sudeste paraense. *Revista Agroecossistemas*, 2(1), 13-17.
- Costa, J. R.; Morais, R.R. 2013. *Carapa guianensis* Aubl. (andirobeira) em sistemas agroflorestais. *Embrapa Amazônia Ocidental-Documentos*. EMBRAPA, Manaus, 28 p.
- Costa, R.S.C. 2010. *Micorrizas arbusculares em sistemas agroflorestais em duas comunidades rurais do Amazonas*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Amazonas, Manaus. 140 f.
- Costa, C. M. C., Cavalcante, U. M. T., Goto, B. T., dos Santos, V. F., & Maia, L. C. 2005. Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada em mudas de mangabeira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40(3), 225-232.
- Chagas Jr, A.F.; Oliveira, L.A. de; Oliveira, A.N.de; Willerding, A.L. 2010. Capacidade de solubilização de fosfatos e eficiência simbiótica de rizóbios isolados de solos da Amazônia. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 32: 359-366.
- Chagnon, P.L.; Bradley, R.L.; Maherali, H.; Klironomo, J.N. 2013. A trait-based framework to understand life history of mycorrhizal fungi. *Trends in Plant Science*. 18: 484-491.
- Dandan, Z.; Zhiwei, Z.. 2007. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the hot-dry valley of the Jinsha River, southwest China. *Applied Soil Ecology*, v. 37, n. 1-2, p. 118-128.
- EMBRAPA. 2011. Manual de métodos de análise de solo. *Embrapa Solos - Documentos*. 2. ed. Rio de Janeiro, 230 p.
- EMBRAPA. 2000. Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos. *Embrapa Solos - Circular Técnica*. 1. ed. Rio de Janeiro, 41 p.
- Entry, J. A., Rygielwicz, P. T., Watrud, L. S., & Donnelly, P. K. 2002. Influence of adverse soil conditions on the formation and function of arbuscular mycorrhizas. *Advances in Environmental Research*, 7(1), 123-138.
- Fanin, N., Hattenschwiler, S.; Schimann, H.; Fromin, N. 2015. Interactive effects of C, N and P fertilization on soil microbial community structure and function in an Amazonian rain forest. *Functional Ecology*. 29: 140-150.

Farias, E. et al. 2015. Densidade e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em solos próximos a raízes de cupuaçuzeiro em um sistema agroflorestal de Roraima. In: Embrapa Roraima-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: *Congresso brasileiro de Ciência do solo*, 35, 2015, Natal. O solo e suas múltiplas funções: anais. Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

Fracetto, G. G., Azevedo, L. C., Fracetto, F. J., Andreote, F. D., Lambais, M. R., & Pfenning, L. H. 2013. Impact of Amazon land use on the community of soil fungi. *Scientia Agricola*, 70(2), 59-67.

Freitas, R. O.; Carrenho, R. 2013. *Guia Digital de Fungos Micorrízicos Arbusculares da Reserva Florestal Adolpho Ducke e Reserva do PDBFF*. Manaus, 52p.

Figueredo, N.N.; Macêdo, J.L.V.de; Cravo, M.daS. 2000. Avaliação do estado nutricional do cupuaçuzeiro (*Theobromagrandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum.) em um sistema agroflorestal na Amazônia Central. In: *Anais, III Congresso Brasileiro De Sistemas Agroflorestais*. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, p.48-50.

Gemma, J. N., & Koske, R. E. 1988. Seasonal variation in spore abundance and dormancy of *Gigaspora gigantea* and in mycorrhizal inoculum potential of a dune soil. *Mycologia*, 80(2), 211-216.

Gerdemann, J.W.; Nicolson, T.H. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decating. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 46: 235-244.

Gianinazzi, Silvio et al. 2010. Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza*, v. 20, n. 8, p. 519-530.

Giovannetti, M.; Mosse, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, 84: 489-500.

Gorzalak, M.A.; Asay, A.K.; Pickles, B.J.; Simard, S.W. 2015. Inter-plant communication through mycorrhizal networks mediates complex adaptive behaviour in plant communities. *AoB Plants*, 7: 1-13.

Goto, B.T. 2018. Checklist Global de classificação do filo Glomeromycota. Disponível em: <<http://glomeromycota.wixsite.com/lbmicorrizas/cpia>>. Acesso em: 10 de Julho de 2018, 18:52.

Gotsch, E. 1995. *Homem e Natureza, Cultura na Agricultura*. 2.ed. Centro Sabiá, Recife-PE, 12 p.

Graw, D. 1979. The influence of soil pH on the efficiency of vesicular-arbuscular mycorrhiza. *New Phytologist*, 82(3), 687-695.

Gryndler, M., Hřselová, H., Vosatka, M., Votruba, J., & Klir, J. 2001. Organic fertilization changes the response of mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi and their sporulation to mineral NPK supply. *Folia microbiologica*, 46(6), 540-542.

Harley J.L., Smith S.E. 1983. *Mycorrhizal symbiosis*. London, New York: Academic Press.

Hailemariam, M.; Birhane, E.; Gebresamuel, G.; Gebrekiros, A.; Desta, Y.; Alemayehu, A.; Muruts, H.; Araya, T.; Norgrove, L. 2017. Arbuscular mycorrhiza effects on *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. growth under varying soil water and phosphorus levels in Northern Ethiopia. *Agroforestry Systems*, 92:485-498.

Harrison, M.J. 2005. Signaling in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Annu. Rev. Microbiol.* v. 59, p. 19-42.

INVAM- International Culture Collection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi, 2018. Disponível em: <<http://www.invam.caf.wvu.edu/index.html>>.

Iwata, B. D.; Leite, L.F.C.; Araújo, A.S.F.; Nunes, L.A.P.L.; Gehring, C.; Campos, L.P. 2012. Agroforestry systems and its effects on chemical attributes of an Ultisol in the “Cerrado” of Piauí State, Brazil. *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola e Ambiental*. 16: 730–738.

Jacoby, R., Peukert, M., Succurro, A., Koprivova, A., & Kopriva, S. 2017. The role of soil microorganisms in plant mineral nutrition—current knowledge and future directions. *Frontiers in plant science*, 8: 1617.

Jenkins, W.R. 1964. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant disease reporter*, n. 9. 48: 692.

Joner, E.J.; Jakobsen, I. 1995. Growth and extracellular phosphatase activity of arbuscular mycorrhizal hyphae as influenced by soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, 27(9), 1153-1159.

Kiriachek, S.G.; Azevedo L.C.B. de; Peres L.E.P.; Lambais M.R. 2009. Regulation of arbuscular mycorrhizae development. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33: 1-16.

Kormanick, P.P.; Bryan, W.C.; Schultz, R.C. 1980. Procedures and equipment for staining large numbers of plant root samples for endomycorrhizal assay. *Can. J. Microbiol.*, 26:536-538.

Lambais, M.R.; Ramos, A.C. 2010. Sinalização e transdução de sinais em micorrizas arbusculares. *Micorrizas*, 30: 119-132.

Lambais, M. R. 1996. Aspectos bioquímicos e moleculares da relação fungo-planta em micorrizas arbusculares. *Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas*. Lavras: UFLA-DCS E DCF, p. 5-38.

Lenoir, I.; Fontaine, J.; Sahraoui, A.L.-H. 2016. Arbuscular mycorrhizal fungal responses to abiotic stresses: A review. *Phytochemistry*. 123: 4–15.

Loss, A., Angelini, G. A. R., Pereira, A. C. C., Lã, O. R., Magalhães, M. O. L., da Silva, E. M. R., & Junior, O. J. S. (2009). Atributos químicos do solo e ocorrência de fungos micorrízicos sob áreas de pastagem e sistema agroflorestal, Brasil. *Acta Agronômica*, 58(2), 91-95.

- Li, L.F., Zhang, Y., & Zhao, Z. W. 2007. Arbuscular mycorrhizal colonization and spore density across different land-use types in a hot and arid ecosystem, Southwest China. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170(3), 419-425.
- Lin, X., Feng, Y., Zhang, H., Chen, R., Wang, J., Zhang, J., & Chu, H. 2012. Long-term balanced fertilization decreases arbuscular mycorrhizal fungal diversity in an arable soil in North China revealed by 454 pyrosequencing. *Environmental science & technology*, 46(11), 5764-5771.
- Magalhães, L. M. S.; Blum, W. E. H. 1999. Concentração e distribuição de nutrientes nas folhas de espécies florestais, na Amazônia Ocidental. *Floresta e Ambiente*, 6(1), 127-137.
- Malavolta, E. 1980. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. Editora Ceres. São Paulo. p.254.
- Malavolta, E., Malavolta, M. L. (1989). Diagnose foliar: princípios e aplicações. *BULL, LT, ROSOLEM, CA Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação. Botucatu, Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista*, 227-308.
- Magurran, A. E. 2004. Measuring biological diversity blackwell science. *Biological Diversity: Frontiers in Measurement and Assessment. Oxford*, v. 105.
- Maia, R. da S. et al. 2009. Fungos micorrízicos arbusculares como indicadores biológicos de alteração do solo na agricultura de derruba e queima e derruba sem queima na Amazônia. In: Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: *Congresso brasileiro de ciência do solo*, 32, 2009, Fortaleza. O solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios. Fortaleza: SBCS.
- Miranda, J.C.C. de; Vilela, L.; Miranda, L.N.de. 2005. Dinâmica e contribuição da micorriza arbuscular em sistemas de produção com rotação de culturas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40: 1005-1014.
- Miranda, de E.M.; da Silva, E. M. R.; Saggin Jr., O.J. 2010. Comunidades de fungos micorrízicos arbusculares associados ao amendoim forrageiro em pastagens consorciadas no Estado do Acre, Brasil. *Embrapa Acre-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.
- Moreira, F.M.S.; Siqueira, J.O. 2006. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Ed. UFPA, Lavras, 626 p.
- Moreira, M.; Baretta, D.; Tsai, S.M.; Costa, S.M.G.da; Cardoso, E.J.B.N. 2007. Biodiversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in Araucaria forest. *Scientia Agricola*, Piracicaba, 64: 393-399.
- Moreira, F. W.; Oliveira, L. A.; Becker, P. 1997. Ausência de micorrizas vesículo-arbusculares efetivas em Lecythidaceas numa área de floresta primária da Amazônia central. *Acta Amazonica*. , v.27:3 – 7.

Mosse, B., Warner, A.; Clarke, C.A. 1982. Plant growth response to vesicular–arbuscularmycorrhiza. XIII. Spread of an introduced VA endophyte in the field and residual growth effects of inoculation in the second year, *New Phytopathology*, 90: 521–531.

Muleta, D., Assefa, F., Nemomissa, S., & Granhall, U. 2008. Distribution of arbuscular mycorrhizal fungi spores in soils of smallholder agroforestry and monocultural coffee systems in southwestern Ethiopia. *Biology and fertility of soils*, 44(4), 653-659.

Nobre, C.P., Júnior, A.S.D.L.F., Goto, B.T., Berbara, R.L.L., Nogueira, M.D.C. 2010. Fungos micorrízicos arbusculares em sistema de aléias no Estado do Maranhão, Brasil. *Acta Amazonica*, v. 40: 4.

Novais, C. B.; Borges, W. L.; Sbrana, C.; Giovannetti, G.; Saggin Júnior, O. J.; Siqueira, J.O. 2017. *Técnicas Básicas em Micorrizas Arbusculares*. 1^a ed. Editora UFLA, Lavras, 130 p.

Novais, R.F., Smith, T.J. 1999. *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Viçosa: UFV, DPS, 399 p.

Siqueira, J. O.; Franco, A. A. 1988. *Bioteχνologia do solo: fundamentos e perspectivas*. Brasília: MEC. ABEAS/ESAL/FAEPE, 1988. 236p.

Oliveira, A. N.de; Oliveira, L.A. 2004. Associação micorrízica e teores de nutrientes nas folhas de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) e guaranazeiro (*Paullinia cupana*) de um sistema agroflorestal em Manaus, Amazonas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 28: 1063 – 1068.

Oliveira, A.N.de; Oliveira, L. A. 2005 a. Colonização por fungos micorrízicos arbusculares e teores de nutrientes em cinco cultivares de bananeiras em um latossolo da Amazônia. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. , 29: 481 – 488.

Oliveira, A.N.; Oliveira, L.A. 2005 b. Seasonal dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi in plants of *Theobroma grandiflorum* Schumand *Paullinia cupana* Mart. Of an agroforestry system in Central Amazonia, Amazonas state, Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology*, 36: 262-270.

Oliveira, A.N.; Oliveira, L.A. 2010. Micorrízicas Arbusculares no Bioma Amazônia. In: Siqueira, J. O.; Souza, F.A.; Cardoso, E.J.B.N.; Tsai, S.M. *Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil*. Lavras, Editora UFLA, p. 251-278.

Oliveira, A.N.de; Oliveira, L.A. 2003. Sazonalidade, colonização radicular e esporulação de fungos micorrízicos arbusculares em plantas de cupuaçuzeiro e de pupunheira na Amazônia Central. *Revista Ciências Agrárias*, 40:145 – 154.

Oliveira, L.A.; Guitton, T.L.; Moreira, F.W. 1999. Relações entre as colonizações por fungos micorrízicos arbusculares e teores de nutrientes foliares em oito espécies florestais da Amazônia. *Acta Amazonica*, 29: 183-193.

Oliveira, A.N.; Oliveira, L.A.; Figueiredo, A.H. 2003. Colonização micorrízica e concentração de nutrientes em três cultivares de bananeiras em um Latossolo Amarelo da Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 33: 345-352.

Peneireiro, F.M. 1999. *Sistemas Agroflorestais Dirigidos pela Sucessão Natural: Um Estudo de Caso*. Dissertação de mestrado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo. 149p.

Plácido Jr, C. G. 2007. Distribuição e caracterização química da fertilidade dos solos do Estado do Amazonas. *Embrapa Amazônia Ocidental-Tese/dissertação*.

Prezotti, L. C., Guarçoni, A. 2013. Guia de interpretações de análise de solo e foliar. 104 p.

Raymond, J.; Siefert, J.L.; Staples, C.R.; Blankenship, R.E. 2004. The natural history of nitrogen fixation. *Molecular Biology and Evolution*, Chicago, 21: 541–554.

Ribeiro, M.deN.G. 1976. Aspectos climatológicos de Manaus. *Acta amazonica*, 6: 229-233.

Saggin Jr., O.J.; Borges, W.L.; Novais, C.B.de; Silva, E.M.R.da. 2011. *Manual de curadores de germoplasma-micro-organismos: fungos micorrízicos arbusculares*. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia-Documents (INFOTECA-E), Brasília-DF, 21p.

Sanchez, P.A.; Bandy, D.E.; Villachica, J.H.; Nicholaidis, J.J. 1982. Amazon Basin soils: management for continuous crop production. *Science*, 216: 821-827.

Santos, O.M.; Crisi, O.M. 1981. Efeitos do desmatamento nas atividades dos microorganismos de solo de terra firme na Amazônia. *Acta Amazônica*. 11:97- 102.

Selle, G.L. 2007. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. *Biosci. J.* 23: 29-39.

Scarazatti, B. 2011. *Sistema Agroflorestal como alternativa de uso da terra: um estudo de caso na Unidade Demonstrativa de Permacultura (UDP) de Manaus- AM*. Dissertação de Mestrado, INPA, Manaus, Amazonas, 151f.

Schenck, N.C.; Perez, Y. 1988. Manual for identification of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. *Gainesville, INVAM*.

Schneider, J.; Klauberg Filho, O.; Fontoura, S. M. V.; Alves, M. V. 2011. Influência de diferentes sistemas de manejo e calagem em experimento de longa duração sobre fungos micorrízicos arbusculares. *Ciência e Agrotecnologia*, 35, 701-709.

Smith, S. E.; Read, D. J. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. ed.3. Elsevier, Great Britain. 804p.

Shapiro, S. S. and Wilk, M. B. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52, 591–611.

- Sieverding, E. 1991. *Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems*. Friedland Bremer, Eschborn, 371 p.
- Simard, S.W.; Perry, D.A.; Jones, M.D.; Myrold, D.D.; Durall, D.M.; Molina, R. 1997. Net transfer of carbon between ectomycorrhizal tree species in the field. *Nature*, 388: 579-582.
- Silva Jr., J.P.; Cardoso, E.J.B.N. 2006. Micorrizaarbuscular em cupuaçu e pupunha cultivados em sistema agroflorestal e em monocultivo na Amazônia Central. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41: 819-825.
- Silva, G.; Siqueira, J.O.; Stürmer, S.L. 2009. Eficiência de fungos micorrízicos arbusculares isolados de solos sob diferentes sistemas de uso na região do Alto Solimões na Amazônia. *Acta Amazônica*, 39:477-488.
- Siqueira, J.O.; Souza, F. A.; Cardoso, E. J. B. N.; Tsai, S. M. 2010. *Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil*. UFLA. Lavras, 716p.
- Siqueira, J.O. 1996. *Avanço em Fundamentos e Aplicações de Micorrizas*. Lavras: Universidade Federal de Lavras/DCS e DCF, 290p.
- Siqueira, J. O.; Franco, A. A. 1988. *Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas*. Brasília: MEC. ABEAS/ESAL/FAEPE, 1988. 236p.
- Sobral, L. F., Barreto, M. D. V., Silva, A.J.da, Dos Anjos, J. L. 2015. Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos. *Embrapa Tabuleiros Costeiros- Documentos (INFOTECA-E)*.
- Stürmer, S.L.; Siqueira, J.O. 2011. Species richness and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi across distinct land uses in Western Brazilian Amazon. *Mycorrhiza*, 21(4), 255-267.
- St John, T.V. 1980. A survey of micorrhizal infection in an Amazonian rain forest. *Acta amazonica*, (3), 527-533.
- St. John, T.V.; Coleman, D.C.; Reid, C.P.P. 1983. Association of vesicular-arbuscular mycorrhizal hyphae with soil organic particles. *Ecology* 64(4): 957-958.
- Tedersoo, L.; Ramírez, S.S.; Kõljalg, U.; Bahram, M.; Doring, M.; Schigel, D.; May, T.; Ryberg, M.; Abarenkov, K. 2018. High-level classification of the Fungi and a tool for evolutionary ecological analyses. *Fungal Diversity*, 90: 135-159.
- Teixeira-Rios, T., da Silva, D. K. A., Goto, B. T., & Yano-Melo, A. M. 2018. Seasonal differences in arbuscular mycorrhizal fungal communities in two woody species dominating semiarid caatinga forests. *Folia geobotanica*, 53(2), 191-200.
- Quesada, C.A.; Lloyd, J.; Schwarz, M.; Patiño, S.; Baker, T. R.; Czimczik, C.; Fyllas, N. M.; Martinelli, L.; Nardoto, G.B.; Schmerler, J.; Santos, A.J.B.; Hodnett, M.G.; Herrera, R.; Luiãao, F.J.; Arneith, A.; Lloyd, G.; Dezzio, N.; Hilke, I.; Kuhlmann, I.; Raessler, M.; Brand, W.A.; Geilmann, H.; Moraes Filho, J.O.; Carvalho, F.P.; Araujo

Filho, R.N.; Chaves, J.E.; Cruz Junior, O.F.; Pimentel, T.P.; Paiva, R. 2010. Variations in chemical and physical properties of Amazon forest soils in relation to their genesis. *Biogeosciences*, 7:1515–1541.

Van den Driessche, R. 1974. Prediction of mineral nutrient status of trees by foliar analysis. *The Botanical Review*, 40(3), 347-394.

Venturi, V., Keel, C., 2016. Signaling in the rhizosphere. *Trends Plant Sci.* 21, 187–198.

Villani, F.T.; Ribeiro, G.A.A.; Villani, E.M.de A.; Teixeira, W.G.; Moreira, F.M.de S.; Miller, R.; Alfaia, S.S. 2017. Microbial Carbon, Mineral-N and Soil Nutrients in Indigenous Agroforestry Systems and Other Land Use in the upper Solimões Region, Western Amazonas State, Brazil. *Agricultural Sciences*, 8:657–674.

Wadt, P. G. S., Dias, J. R. M., Perez, D. V., & de Oliveira Lemos, C. 2012. Interpretação de índices DRIS para a cultura do cupuaçu. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36(1), 125-135.