



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM AGROECOLOGIA

LAYLA GABRIELLE SILVA OLIVEIRA

ESTRATÉGIAS DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA E SUA INFLUÊNCIA
SOB A COMUNIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES
NATIVOS NA AMAZÔNIA ORIENTAL

São Luís - MA

2023

LAYLA GABRIELLE SILVA OLIVEIRA

Bióloga

ESTRATÉGIAS DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA E SUA INFLUÊNCIA
SOB A COMUNIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES
NATIVOS NA AMAZÔNIA ORIENTAL

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão para obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Guillaume Xavier Rousseau

São Luís - MA

2023

Oliveira, Layla Gabrielle Silva .

Estratégias de restauração ecológica e sua influência sob comunidade de fungos micorrízicos arbusculares nativos na Amazônia oriental / Layla Gabrielle Silva Oliveira. – São Luís, 2023.

53 f

Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Agroecologia) - Universidade Estadual do Maranhão, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Guillaume Xavier Rosseau.

LAYLA GABRIELLE SILVA OLIVEIRA

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão para obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Guillaume Xavier Rousseau

Aprovada em: 06 / 03 / 2023

Comissão Julgadora:



Prof. Dr. Guillaume Xavier Rousseau
UEMA



Prof. Dra. Camila Pinheiro Nobre
UEMA - Itapecuru



Prof. Dr. Orlando Carlos Huertas Tavares
UFRRJ

São Luís – MA
2023

Aos meus pais, Jadna e Valbete, que sempre me incentivaram e apoiaram meu crescimento. Ao meu irmão, Guilherme, pelas alegrias e meu namorado, João Carlos, pelo amor, dedico a eles.

AGRADECIMENTOS

Quando finalizamos mais uma etapa do nosso ciclo de vida, observamos que vários nomes contribuíram para que ele pudesse ser realizado. Sendo assim, vou tentar agradecer a todos aqueles que de alguma forma contribuíram e se fizeram presentes.

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado vida, capacidade e força de vontade de vencer.

A meus queridos e amados pais, Valbete e Jadna Silva Oliveira, pelos inúmeros conselhos, incentivos e por sempre acreditaram no meu potencial quando nem mesmo entendiam.

Ao meu querido irmão, Guilherme, por sempre estar ao meu lado e me alegrar.

A meu namorado, João Carlos, que sempre esteve ao meu lado e me suportou e apoiou quando nem mesmo eu me suportava e acreditava.

E toda minha família (avós, tias e tios) todo o cuidado e amor por todo apoio e confiança que depositaram em mim.

A Universidade Estadual do Maranhão e o Programa de Pós-Graduação em Agroecologia pelo valioso conhecimento disponibilizado.

A UEMA e ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo.

Agradecimento em especial aos meus orientadores Dr. Guillaume Xavier Rousseau e Camila Pinheiro Nobre pela oportunidade de trabalhar junto e por todo incentivo, ajuda e disposição para que eu pudesse concluir minha pesquisa.

À Luis Manuel Hernández García, por me ajudar durante o projeto, nas coletas, no laboratório, nas análises, na escrita e nas risadas.

Ao meu amigo, Ranney Ritchie, pelas conversas e incentivos.

Aos meus colegas do laboratório de Microbiologia do Solo, em especial Cintya, pelas conversas, risadas e ajuda imprescindível.

Aos meus colegas do curso de Agroecologia que sempre mantiveram o companheirismo, em especial Suzanne.

E a todos aqueles que de alguma forma me ajudaram na minha caminhada acadêmica.

Muito obrigada!

Mas se alguém tem falta de sabedoria, peça a Deus, e ele a dará porque é generoso e dá com bondade a todos.

Tiago 1:5

RESUMO

Os fungos micorrízicos arbusculares, pertencentes ao filo *Glomeromycota*, possuem papel chave nos ecossistemas, principalmente devido à associação realizada com maioria das plantas conhecidas, resultando em melhorias nutricionais e aumento de resistência a estresses bióticos e abióticos, auxiliando na recuperação de ambientes sob interferência humana. Este estudo teve por objetivo caracterizar a comunidade de FMA em diferentes estratégias de restauração na Fazenda Escola da UEMA, São Luís. Coletas de solo (0-10cm) foram realizadas no final do período seco (outubro e novembro/21), em áreas com diferentes tipos de restauração ecológica: Regeneração Natural (RN), Nucleação (Isl) e Sistema Agroflorestal (SAF). O delineamento foi em blocos inteiramente casualizado 3x6 (três restaurações x seis blocos) mais adição de 6 parcelas de floresta secundária com cinco amostras cada, para fins comparativos, com critério de proximidade ao núcleo ou ilha sendo três amostras dentro e três fora. Foi determinada a densidade de glomerosporos, a identificação morfológica das espécies de FMA presentes nas áreas de estudo e os teores de glomalina facilmente extraível e total. Os dados foram avaliados mediante modelos lineares generalizados e quando significativos submetidos ao teste de Tukey. A floresta secundária apresentou menor densidade de propágulos quando comparada aos demais sistemas de restauração, com relação positiva com a areia (38%). Foram identificadas 38 espécies de FMA distribuídas em sete famílias e 12 gêneros, sendo o gênero *Glomus* o mais representativo, com a maior riqueza observada na estratégia de regeneração natural. Os teores de glomalina facilmente extraível e total encontrados não diferiram significativamente entre os sistemas, com interação positiva com a areia fina e carbono total. Os sistemas de restauração afetam a densidade, riqueza e composição de FMA. Áreas menos perturbadas, como a floresta secundária, apresentam baixa esporulação e diversidade. Os teores de glomalina de ambas as frações não apresentaram diferença entre os sistemas estudados.

Palavras-chave: Micorrizas; uso do solo; indicadores de qualidade do solo.

ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizal fungi, belonging to the phylum Glomeromycota, have a key role in ecosystems, mainly due to their association with most known plants, resulting in nutritional improvements and increased resistance to biotic and abiotic stresses, assisting in the recovery of environments under human interference. This study aimed to characterize the AMF community in different restoration strategies at Fazenda Escola da UEMA, São Luís. Soil samples (0-10cm) were collected at the end of the dry season (October and November/21), in areas with different types of ecological restoration: Natural Regeneration (NR), Nucleation (IS) and Agroforestry System (AFS). The design was entirely randomized in a 3x6 factorial scheme (three restorations x six blocks) plus the addition of 6 secondary forest plots with five samples each, for comparative purposes, with a criterion of proximity to the nucleus or island being three samples inside and three outside. The density of glomerospores was determined, morphological identification of the AMF species present in the study areas and the contents of easily extractable and total glomalin. The data were evaluated using generalized linear models and, when significant, were submitted to Tukey's test. The secondary forest showed a lower density of propagules when compared to the other systems, with a positive relationship with sand. We identified 38 species of AMF distributed in 7 families and 12 genera, being the genus *Glomus* the most representative, with the highest richness observed in natural regeneration. The contents of easily extractable and total glomalin found did not differ significantly between the systems, with a positive interaction with fine sand and total carbon. Restoration systems affect the density, richness and composition of AMF. Less disturbed areas, such as secondary forest, show low sporulation and diversity. The glomalin contents of both fractions showed no difference between the systems studied.

Keywords: Mycorrhizae; use of the soil; soil quality indicators.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1:** Localização das parcelas amostradas na fazenda escola e áreas adjacentes.....22
- Figura 2:** Croqui da área de experimento da Fazenda Escola.....23
- Figura 3:** Visão das áreas de coleta na regeneração natural (A), nucleação (B) e sistema agroflorestal (C) na Fazenda Escola – UEMA.....23
- Figura 4:** Densidade de glomerosporos ($50\text{g}^{-1}\text{g}$ de solo) em diferentes sistemas de restauração e floresta secundária. RN: Restauração Natural; Ilhas: Nucleação; SAF: Sistema Agroflorestal; SF: Floresta Secundária.*Diferença significativa $p < 0,05$27
- Figura 5:** Densidade de glomerosporos em relação a percentagem de areia fina. RN: Restauração Natural; Isl: Nucleação; SAF: Sistema Agroflorestal; SF: Floresta Secundária.....28
- Figura 6:** Teores de glomalina facilmente extraível (mg.g solo^{-1}) em diferentes sistemas de restauração e floresta secundária. RN: Restauração Natural; Ilhas: Nucleação; SAF: Sistema Agroflorestal; SF: Floresta Secundária.....35
- Figura 7:** Teores de glomalina total (mg.g solo^{-1}) em diferentes sistemas de restauração e floresta secundária. RN: Restauração Natural; Ilhas: Nucleação; SAF: Sistema Agroflorestal; SF: Floresta Secundária.....35
- Figura 8:** Teores de glomalina total em relação a percentagem de areia fina. RN: Restauração Natural; Isl: Nucleação; SAF: Sistema Agroflorestal; SF: Floresta Secundária.....36
- Figura 9:** Teores de glomalina total em relação a percentagem de areia fina. RN: Restauração Natural; Isl: Nucleação; SAF: Sistema Agroflorestal; SF: Floresta Secundária.....37

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1:** Média e desvio padrão das propriedades físicas e químicas do solo em diferentes sistemas de restauração e floresta secundária. REST: restaurações; RN: Restauração Natural; Ilhas: Nucleação; SAF: Sistema Agroflorestal; SF: Floresta Secundária. Letras minúsculas distintas indicam diferenças estatísticas entre as restaurações.....25
- Tabela 2:** Diversidade, frequência relativa, dominância, valor indicador, significância de fungos micorrízicos arbusculares em diferentes sistemas de restauração e floresta secundária. RN: Restauração Natural; Ilhas: Nucleação; SAF: Sistema Agroflorestal; SF: Floresta Secundária. *Indica diferença significativa.....31
- Tabela 3:** Média e desvio padrão dos índices de diversidade de Shannon (H'), equitabilidade de Pielou (J') e Simpson (S') em diferentes sistemas de restauração e floresta secundária. RN: Restauração Natural; Ilhas: Nucleação; SAF: Sistema Agroflorestal; SF: Floresta Secundária.....34

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Aw – Clima tropical, com inverno seco

COT – Carbono Orgânico Total

Cu - Cobre

FESL – Fazenda Escola São Luís

FMA – Fungos Micorrízicos Arbusculares

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

K - Potássio

mm - milímetro

Mg.m – miligrama por grama

pH – Potencial Hidrogeniônico

RPM – Rotação Por Minuto

SAF – Sistema Agroflorestal

SF – Floresta Secundária

Zn - Zinco

μM - micrômetro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 –Bioma Amazônico.....	13
2.1.1 Amazônia Maranhense.....	13
2.2 – Restauração Ecológica.....	14
2.2.1 – Métodos de Restauração Ecológica.....	15
2.3 – Fungos Micorrízicos Arbusculares - FMA.....	17
2.3.1 – Fungos Micorrízicos Arbusculares na Amazônia.....	19
2.3.2 – Glomalina.....	19
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1 – Área amostral.....	21
3.2 –Desenho experimental.....	22
3.3 – Coleta de solo.....	24
3.4 – Análise de solo.....	24
3.5 – Extração e quantificação de glomerosporos	25
3.6 – Diversidade de FMA.....	25
3.7 – Extração e quantificação de glomalina.....	26
3.8 – Análises estatísticas.....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1 – Densidade de glomerosporos.....	27
4.2 – Composição e diversidade de espécies de FMA.....	28
4.3 – Teores de glomalina facilmente extraível (EE-BRSP) e glomalina total (BRSP)	35
5 CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS.....	39
APÊNDICE A – Espécies plantadas nos tratamentos de nucleação e sistemas agroflorestais.....	52
APÊNDICE B – Espécies de FMA detectadas nas áreas de restauração natural, nucleação, sistema agroflorestal e floresta secundária.....	53

1. INTRODUÇÃO

As florestas tropicais são um dos ecossistemas de maior biodiversidade do mundo e fundamentais para o equilíbrio climático e bem-estar da humanidade (DENNAN *et al.*, 2007; LEWIS *et al.*, 2009). Elas são as florestas mais produtivas, com maiores taxas de movimentação de carbono de todos os ecossistemas terrestres e fornecem serviços ecossistêmicos vitais, como o ciclo hidrológico, alimentos, energia, a regulação da qualidade do ar e do clima (ROSA, 2018; PAIXÃO, 2019).

Apesar de sua enorme importância e relevância a Floresta Amazônica, maior floresta tropical do planeta, vem sofrendo ao longo dos últimos anos com o aumento da exploração ilegal de madeira, desmatamento e conversão de áreas florestadas em manejadas, terras agrícolas e pastagens (LIMA, 2016). Dentro deste contexto, se torna necessário desenvolver estratégias de restauração ecológica que visam mitigar os impactos provenientes das ações antrópicas (ROTHMUND *et al.*, 2019).

A restauração ecológica é uma ciência aplicada com o objetivo de restabelecer as interações equilibradas entre componentes abióticos e bióticos de áreas degradadas após um certo período de intervenções humanas, permitindo adaptações às mudanças locais e globais, bem como a persistência e evolução de suas espécies componentes (ROSENFELD; MÜLLER, 2020; BUSS *et al.*, 2021). Vale ressaltar que o processo de restauração de uma área vai muito além da reconstituição florística, é necessário que o sistema como um todo se torne autossuficiente com relações ecológicas que ajudem em sua recuperação e estabilidade, dentre essas relações estão as associações micorrízicas (BERUDE *et al.*, 2015).

Uma vez que os Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) são simbioses obrigatórios, sendo capazes de formar uma associação mutualística, denominada micorriza arbuscular, com a grande maioria das espécies de plantas conhecidas (SMITH; READ, 2008; BRUNDRETT *et al.*, 2009; DAVISON *et al.*, 2015). Esta simbiose beneficia diretamente o estado nutricional das plantas porque os FMA permitem a disponibilização do fósforo para as raízes das plantas e contribuem com aquisição de água (SILVA, 2013; ELHINDI *et al.*, 2017). Os FMA, assim, incentivam a produção de biomassa vegetal, na manutenção da comunidade vegetal e conferem resistência às plantas a estresses bióticos e abióticos, tornando sua presença importante no processo de recuperação de áreas degradadas (TANG *et al.*, 2009; LAURINDO *et al.*, 2020).

Este trabalho teve por hipótese que as comunidades de FMA respondem de modo diferente às diversas estratégias de restauração ecológica. Como objetivo principal buscou-se caracterizar

e verificar a resposta das comunidades dos fungos micorrízicos arbusculares em função da estratégia de restauração ecológica utilizada.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Bioma Amazônico

A Floresta Amazônica é a maior floresta tropical e representa 45% do total de florestas tropicais do mundo (IBGE, 2011). Ela ocupa aproximadamente 6,5 milhões de km² e estende-se por oito países na América do Sul, sendo aproximadamente 59% do território total da floresta amazônica pertencentes ao Brasil (ROCHA *et al.*, 2015).

Devido ao seu clima quente e úmido, com chuvas o ano todo, maior bacia hidrográfica do mundo, solos com baixa fertilidade natural e troca de cátions, além de elevada acidez, a Amazônia apresenta grande diversidade de fisionomias, deixando de lado o conceito da homogeneidade definida para uma grande floresta tropical úmida (MOREIRA, 2009). Ela é conhecida como abrigo da maior biodiversidade do mundo, tendo um papel imprescindível na manutenção de serviços ecológicos, pois nela podem ser encontradas milhares de espécies animais, vegetais e microrganismos (DELAZERI, 2016).

Por causa dessas e outras características o bioma Amazônia é de grande importância para o equilíbrio da Terra, uma vez que 20% das reservas de água doce do planeta vem dos seus rios e ela abriga toneladas de carbono. Além disso sua massa vegetal libera anualmente trilhões de toneladas de água para a atmosfera graças ao processo de evapotranspiração das suas árvores (MAURY, 2002; IBGE, 2011; DELAZERI, 2016).

O governo brasileiro, em 1953, como forma de estimular o desenvolvimento e conservação desse bioma criou a Região da Amazônia Brasileira composta pelos Estados do Pará, Acre, Amapá e Rio Branco, e partes dos Estados de Mato Grosso, Goiás e Maranhão, e a região de Guaporé (MARTHA JÚNIOR *et al.*, 2011).

No ano de 1966, o território da Amazônia brasileira possuía 4,2 milhões de km² e subdivido em duas regiões: Amazônia Oriental, que abrange os Estados do Pará, Maranhão, Amapá, Tocantins e Mato Grosso; e Amazônia Ocidental, que é composta pelos Estados do Amazonas, Acre, Rondônia e Roraima (SERRA; FERNANDEZ, 2004; REYES *et al.*, 2018).

2.1.1 Amazônia Maranhense

No Brasil, o bioma amazônico ocupa 4,2 km², uma área que se estende por nove estados incluindo parte do Maranhão. O Maranhão está situado na porção mais oriental da Amazônia brasileira, conhecida como Amazônia Maranhense, e possui 110,4 mil km², o que representa 27,6% do território do Estado (CELENTANO *et al.*, 2017).

A Amazônia Maranhense é considerada top 10 nos *hotspot* da restauração, ocupando o terceiro lugar quanto à biodiversidade na Área de Proteção Ambiental (APA) da

Baixada Maranhense e sétimo em Ecorregiões na floresta de babaçu (BRANCALION *et al.*, 2019). Sendo os babaçuais destaque no percentual de área de cobertura vegetal que compõe o território do bioma Amazônia no Maranhão (PAIXÃO, 2019; ROCHA *et al.*, 2019).

Situada na região conhecida como “Arco do Desmatamento”, que começa no Acre e se estende até o oeste do Maranhão, a Amazônia Maranhense sofre com um processo contínuo de desmatamento causando perdas significativas na biodiversidade para fornecer espaço para agricultura e pecuária (BRITO; ILKIU-BORGES, 2014; CELENTANO *et al.*, 2017).

No Maranhão apenas 25% da cobertura vegetal do bioma amazônico é preservada, sendo o estado que possui o menor grau de ocupação do espaço com áreas protegidas, apresentando alto grau de desmatamento e fragmentação florestal e um dos menores índices de desenvolvimento humano do país (BRITO; ILKIU-BORGES, 2014; REYES *et al.*, 2018).

2.2 Restauração Ecológica

Através da Lei 9.985 de 18/07/2000 a recuperação de áreas degradadas é definida como a “restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original”. E a restauração como “restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada o mais próximo possível da sua condição original” (BRASIL, 2000).

O conceito de restauração ecológica vem amadurecendo e se tornando mais diversos ao decorrer do tempo devido às mudanças tecnológicas e aprimoramento das técnicas. Entretanto um dos conceitos mais aceito é definido pela Sociedade de Restauração Ecológica (SERI, 2004) como “o processo de auxiliar a recuperação de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído”, com intuito de recuperar suas funções ecológicas, estruturais e composição para garantir o retorno de processos fundamentais ao funcionamento do novo ecossistema, criando um novo hábitat para microrganismos do solo que são de grande importância para a formação e manutenção de comunidades de plantas (FONSECA *et al.*, 2017).

Diferentes são as abordagens, no que se refere às metodologias de restauração, que vão desde aquelas que priorizam a recuperação natural do ecossistema (restauração passiva ou ativa), passando por aquelas mais intensivas que tem por objetivo acelerar o processo por meio da intervenção humana (restauração ativa) (DELLASALA *et al.*, 2003). A escolha entre o tipo de restauração deve passar por uma análise que leva em consideração não só o potencial natural de regeneração, mas também o grau de degradação do ecossistema a ser restaurado e seu entorno, além dos custos e benefícios socioambientais envolvidos nesse processo (DURIGAN *et al.*, 2010; DURIGAN; ENGEL, 2015; TRENTIN, 2018).

2.2.1 Métodos de Restauração Ecológica

- Restauração Passiva

É o método mais simples de restauração e consiste em remover a fonte de perturbação, tendo o cuidado para proteger a área de perturbações externas como fogo e gado. Esse método permite que o ecossistema se recupere espontaneamente através da sucessão natural não necessitando de intervenção humana, sendo o mais indicado quando os recursos financeiros são escassos (LAMB; GILMOUR, 2003; CELENTANO *et al.*, 2011).

O sucesso da restauração passiva ocorre, geralmente, em áreas que antes foram utilizadas na agricultura e pastagem, e onde a colonização e o crescimento da vegetação não são limitados por nenhum fator, ou ainda áreas relativamente pequenas e com presença de fragmentos de vegetação original próximos (TRENTIN, 2018).

- Restauração Ativa

Em locais onde não há presença de regeneração natural é preciso um esforço para iniciar o processo de restauração chamado de restauração ativa. A restauração ativa é aquela que exige uma ação humana direta tendo por finalidade conduzir, favorecer, direcionar, facilitar e acelerar o processo natural da sucessão ecológica, utilizando espécies nativas nas áreas que sofreram algum tipo de degradação ambiental – degradação do solo provocada pela erosão e a perda da camada superficial, colonização inadequada de espécies ocasionada por pouca dispersão, ou o predomínio de plantas invasoras – e que não tem resiliência para voltarem sozinhas através da sucessão (RODRIGUES; GANDOLFI; BRANCALION, 2015; ANDRADE *et al.*, 2018).

Um ponto chave nesse tipo de restauração, se tratando da recomposição florística, é a escolha das espécies a serem utilizadas priorizando aquelas que geram benefícios ecológicos e, até mesmo, econômicos dando prioridade as espécies nativas pela facilidade de acelerar a regeneração natural. Outro ponto importante é o método a ser implantado, dentre os quais se encontram reflorestamento ou plantio de mudas, nucleação, o resgate de plântulas oriundas da regeneração natural, a semeadura direta e galharias, sendo o reflorestamento ou plantio de mudas em alta densidade o mais comum e a nucleação o menos dispendioso (CELENTANO *et al.*, 2011; ANDRADE *et al.*, 2018).

Nucleação

Segundo Anderson (1953), este método é baseado em dois princípios fundamentais: o primeiro considera que a unidade de plantio deve consistir em um grupo de árvores e o segundo que estas unidades devem ficar espaçadas sobre a área. Em resumo, essa técnica consiste na criação de pequenos habitats/nichos na área degradada por meios de grupos densos ou unidades

de plantios de várias composições e estruturas, com o intuito de induzir a heterogeneidade ambiental mediante intervenções pontuais (WWF - BRASIL, 2017; PAIXÃO, 2019).

Esses grupos ficam espalhados estrategicamente por toda a área se expandindo naturalmente, sempre respeitando os processos sucessionais e ecológicos e, assim, garantindo o fluxo gênico das espécies entre a área degradada e os fragmentos próximos mais preservados com o objetivo de promover os processos de dispersão e regeneração. Além de acelerar o restabelecimento de processos como a ciclagem de nutrientes e o sequestro de carbono (CELENTANO *et al.*, 2011; WWF - BRASIL, 2017).

Um ponto essencial para garantir o êxito desse tipo de intervenção é a existência de fragmentos remanescentes no entorno da área que está sendo restaurada visando promover a conectividade da paisagem e o restabelecimento dos fluxos biológicos, uma vez que esses remanescentes podem reduzir a competição e estimular a regeneração natural (COUTINHO *et al.*, 2019; PAIXÃO, 2019).

Sistemas agroflorestais (SAFs)

Os Sistemas Agroflorestais são sistemas produtivos onde há integração de mudas de espécies arbóreas nativas com culturas agrícolas e/ou pastoreio formando um sistema de produção contínuo e sustentável em uma mesma área, sendo uma opção para proporcionar retorno econômico e criando espaço na restauração na paisagem agrícola. Há diversos tipos de SAFs, que vão desde sistemas simplificados, com poucas espécies e baixa intensidade de manejo, passando por sistemas altamente complexos, com alta biodiversidade e alta intensidade de manejo conforme os aspectos funcionais e estruturais (MICOLLIS *et al.*, 2016; CELENTANO *et al.*, 2017).

Sua principal caracterização varia de sistemas silviagrícolas (combinação de uma ou mais espécies florestais com culturas agrícolas anuais ou perenes), sistemas silvipastoris (combinação de pastagens e animais com uma ou mais espécies arbóreas), sistemas agrossilvipastoris (associação de animais, geralmente de pequeno porte, com cultivos agrícolas e árvores ou arbustos em uma mesma área) e quintais agroflorestais (combinação de árvores com espécies agrícolas e/ou animais, medicinais e outras de uso doméstico) (PALUDO; COSTABEBER, 2012; MICOLLIS *et al.*, 2016).

A versatilidade dos SAFs permite-lhes o cumprimento de diversas funções, como produção alimentar com fontes de sumidouros do gás carbônico atmosférico (CO₂), estratégia para a redução de desmatamentos, restabelecer a ciclagem de nutrientes, mitigar as mudanças climáticas. Além disso proporciona o estímulo das atividades microbiológicas através da melhoria das propriedades físicas e químicas (PAIXÃO, 2019; CELENTANO *et al.*, 2020).

Os SAFs são a alternativa mais atrativa e viável para o Maranhão, pois aliam a restauração de processos ecológicos e a segurança alimentar para os pequenos agricultores, com o objetivo de erradicar a pobreza e indicadores socioeconômicos desfavoráveis visando o aumento da qualidade de vida (CELENTANO *et al.*, 2017). Isso só foi possível porque a Lei Federal nº 12.651 de 2012 admite a exploração agroflorestal em Área de Preservação Permanente (APP) ou Reserva Legal (RL) quando realizada por agricultores familiares e por meio de SAFs, tendo sempre o cuidado de não ultrapassar a taxa de 50% de espécies exóticas permitidas (CELENTANO *et al.*, 2020).

2.3 Fungos Micorrízicos Arbusculares – FMA

Os seres vivos mais antigos são os microrganismos, cuja origem data de bilhões de anos atrás. Ao longo do processo evolutivo adquiriram características e adaptações para coexistir com outros seres vivos, mantendo relações diversas em forma e função. São conhecidas inúmeras relações biológicas entre os seres vivos, dentre as quais pode-se destacar as simbioses entre plantas e microrganismos heterotróficos, como as micorrizas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

O termo micorriza vem do grego *mykes* = (fungo) e *rhizae* = (raiz) e foi utilizado pela primeira vez por Frank em 1885 (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006) para se referir as associações simbióticas mutualísticas entre os fungos e as raízes das plantas. Muitos pesquisadores acreditam que devido a essa associação as plantas obtiveram maior sucesso ao colonizar o habitat terrestre (SELOSSE; LE TACON, 1998).

Nesta associação há uma conexão entre as raízes das plantas e os fungos, onde a planta repassa para o fungo fotoassimilados que vão auxiliar na manutenção e desenvolvimento de novas estruturas morfológicas (SMITH; READ, 1997), enquanto o fungo aumenta a produtividade da planta melhorando seu estado nutricional, ampliando sua superfície de contato com o solo como extensão da raiz e otimizando a absorção de água e nutrientes, principalmente dos que são considerados pouco móveis (SILVA, 2013; MOURA *et al.*, 2019).

As micorrizas arbusculares são importantes não só por promoverem a interface entre a planta e o ambiente físico, mas também com o ambiente biológico, conferindo às plantas maior resistência ao ataque de patógenos e tolerância a estresses bióticos e abióticos, além de influenciar a diversidade vegetal (LAURINDO *et al.*, 2020; MILLER; KLING, 2000).

Os Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA), pertencentes ao filo *Glomeromycota* (TEDERSOO *et al.*, 2018), são cosmopolitas e apresentam biotrofia obrigatória, isto é, apenas completam seu ciclo de vida na presença de uma planta hospedeira (BEDINI *et al.*, 2007;

SOUZA *et al.*, 2011). São relacionados por possuírem baixa especificidade de hospedeiro, podendo colonizar diversas espécies de plantas pertencentes a vários grupos (briófitas, pteridófitas, gimnospermas e angiospermas), em diferentes ecossistemas terrestres que abrangem desde os trópicos até o ártico (SMITH; READ, 2008; STÜRMER; SIQUEIRA, 2013).

O principal papel dos FMA está associado à nutrição das plantas, sendo o fósforo o principal nutriente disponibilizado por este grupo de fungos (SMITH; SMITH, 2011; CARRILLO-SAUCEDO *et al.*, 2018). Os FMA são capazes de absorver nitrogênio além de outros elementos como K, Cu e Zn e água graças a rede de micélio presente no solo que tem por função aumentar a área de absorção e transferir esses elementos e água para as raízes fazendo com que uma maior parte do solo seja explorada pelas plantas favorecendo assim seu estabelecimento e desenvolvimento (SAGGIN-JÚNIOR *et al.*, 1994; TEKAYA *et al.*, 2017).

A função dos FMA não se resume somente à nutrição vegetal, mas também está associada a uma diversidade de espécies vegetais maior e ao equilíbrio dos ecossistemas auxiliando na resistência a estresses ambientais e contra ações de patógenos (BERBARA *et al.*, 2006; LENOIR *et al.*, 2016; ATAKAN; OZKAYA, 2021). Os FMA também melhoram a estrutura física e aumentam a agregação do solo, além de possuir uma alta capacidade de reter metais graças a glomalina (MARSHALL, 1962; PEREIRA *et al.*, 2014; LEHMANN *et al.*, 2017).

Os FMA podem abrandar a limitação existente no crescimento das plantas causada por uma oferta imprópria de nutrientes (NOURI *et al.*, 2014), promovendo assim diversos efeitos na comunidade vegetal, contribuindo para a manutenção das comunidades de plantas (TAWARAYA *et al.*, 2003), afetando a composição da comunidade vegetal por sua influência na estruturação vegetal possibilitando uma maior competitividade e sucesso da vegetação contribuindo para a reabilitação de áreas degradadas (MELLONI *et al.*, 2003; KLIRONOMOS *et al.*, 2011).

Sendo assim, a diversidade e a atividade dos FMA representam um mecanismo chave ao funcionamento dos ecossistemas, principalmente pelo aumento da produtividade da biomassa vegetal e pelo incremento na dinâmica e aporte de nutrientes ao solo via serapilheira, estimulando a cadeia trófica no ecossistema determinando o padrão na estruturação e sucessão da comunidade vegetal evidenciando o potencial biorrecuperador destes fungos (CARNEIRO *et al.*, 2012; COLODETE *et al.*, 2014).

2.3.1 Fungos Micorrízicos Arbusculares na Amazônia

Atualmente são conhecidas cerca de 352 espécies de FMA a nível global (GOTO; JOBIM, 2020), sendo 263 com ocorrência no Brasil (SILVA *et al.*, 2014), 97 reportadas para a região amazônica (CAPRONI *et al.* 2003; LEAL *et al.*, 2009, 2013; AZEVEDO *et al.*, 2014) e 70 espécies registradas para o estado do Maranhão (NOBRE *et al.*, 2010 – 2018; REYES *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2020).

Apesar da região amazônica possuir a maior área de floresta tropical do mundo, pouco se conhece da diversidade dos FMA nessa região e seus efeitos no crescimento de plantas. Leal *et al.* (2009) revelam uma abundância na comunidade de FMA em solos em diferentes usos no Alto dos Solimões-Amazônia. Estudos abordando aspectos funcionais das comunidades de FMA revelam a existência de comunidades de fungos com elevada eficiência simbiótica, sendo esta característica influenciada pela origem da comunidade de plantas (SILVA, 2009).

O estado do Maranhão apresenta poucos estudos sobre FMA sendo todos os resultados disponíveis concentrados na região do bioma amazônico. Nobre *et al.* (2010) verificaram que o sistema em aléias aumentou o potencial de infectividade dos FMA nativos dependendo da espécie de leguminosa arbórea associada, estação de coleta e distância das árvores. Outro trabalho realizado por Nobre *et al.* (2018) estudando a palmeira babaçu, na periferia oriental da Amazônia, investigaram o FMA como uma possível explicação para o excelente sucesso ecológico desta palmeira. O estudo apontou para uma forte associação micorrízica do babaçu como um mecanismo potencial para seu sucesso ecológico em terras degradadas.

Reyes *et al.* (2018) sugerem que a composição de espécies de FMA, ao longo da sucessão de florestas secundárias na periferia oriental da Amazônia, foi impulsionada principalmente pela sazonalidade e apenas marginalmente pela sucessão. Lima *et al.* (2020) concluíram que a sazonalidade, cobertura vegetal e nível de perturbação afetam a densidade de glomerosporos, a riqueza, atividade e composição da comunidade de FMA.

2.3.2 Glomalina

A glomalina é uma glicoproteína resultante da degradação das hifas e esporos de FMA, que se acumula no solo e tem por principal finalidade a proteção e sobrevivência dos fungos (LEHMANN *et al.*, 2017). É considerada uma proteína estável, persistente e abundante no solo, de natureza hidrofóbica, recalcitrante e resistente à degradação pelo calor que garante sua função agregadora forte e correlação com a estabilidade de agregados (RILLIG *et al.*, 2003; PRASAD *et al.*, 2018).

Dentre as principais funções desta proteína estão o auxílio na proteção das hifas quanto à dessecação e palatabilidade, na aderência das hifas nas superfícies e na agregação das partículas minerais e orgânicas presentes no solo, cuja contribuição é importante na sustentabilidade dos ecossistemas (LUTGEN *et al.*, 2003; PENG *et al.*, 2013; SOUSA *et al.*, 2012). Além disso, a quantificação da glomalina é um indicador do uso do solo já que é bastante sensível às alterações, sendo considerada um meio rápido e objetivo de demonstrar eventuais mudanças do manejo do solo (PURIN; RILLIG, 2007; RILLIG *et al.*, 2003; SANTOS *et al.*, 2018).

É notório a contribuição da glomalina para a estocagem de carbono nos solos e estima-se que contribua com 37% de carbono e 4% de nitrogênio em solos tropicais, além de ser um importante componente da matéria orgânica do solo e auxiliar na retenção de água, sendo, portanto, uma determinante chave da qualidade do solo (ATAKAN; ÖZKAYA, 2021; NOBRE *et al.*, 2015).

Usualmente, essa proteína é definida em duas frações, com base na sua facilidade de extração: fração 1, ou facilmente extraível (GFE); e fração 2, ou total (GT) (WRIGHT; UPADHYAYA, 1996). A primeira fração se refere à glomalina recentemente depositada pelos fungos e que não sofreu transformações bioquímicas no solo; enquanto que a segunda seria o resultado do acúmulo da primeira ao longo do tempo, sendo mais recalcitrante e fixada em partículas de solo, especialmente nas argilas, e exposto às ações de intemperismo (WRIGHT; UPADHYAYA, 1996; SOUSA *et al.*, 2012).

Logo, a glomalina é um bom indicador da qualidade e recuperação de solos degradados pois contribui para o desenvolvimento da vegetação melhorando a produtividade de forma sustentável melhorando as características do solo graças a sua forte ligação com as variáveis físico-químicas e também na sua participação nos processos biológicos que acontecem no solo (PURIN; RILLIG, 2007; REYES *et al.*, 2018).

Assim, a adoção de agroecossistemas diversificados, com suas práticas de manejo que aumentam a diversidade vegetal e reduzem os distúrbios na estrutura do solo podem contribuir para a produção e manutenção dos estoques de glomalina, principalmente por beneficiar os FMA. Além disso esses agroecossistemas têm a capacidade de potencializar a síntese da proteína da glomalina aumentando os estoques de carbono no solo, a ciclagem e a biodiversidade na área, tornando esse ambiente mais sustentável sendo um meio promissor na conservação de áreas degradadas (MORALES *et al.*, 2005; TAVARES, 2011).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

O estudo foi realizado nos municípios de São Luís e São José de Ribamar. As áreas de restauração encontram-se localizadas na Fazenda Escola (FESL), nas dependências da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), em São Luís (2°35'27.1"S, 44°12'33.8"W). Remanescentes de florestas secundárias avançadas encontram-se tanto na Fazenda Escola quanto no Sítio Aguahy. Este último é propriedade da Companhia Farmacêutica Quercegen Agronegócios I Ltda (02°29'26"S, 44°19'17"W), localizado no município de São José de Ribamar.

A região da Fazenda Escola apresentava vegetação de floresta amazônica, porém a área sofreu com ações antrópicas e hoje possui um mosaico de usos do solo onde lavouras convencionais e pastagens se misturam com plantações de árvores frutíferas e dendezeiros junto com florestas secundárias entre um e 51 anos (CELENTANO *et al.*, 2020). No Sítio Aguahy há cerca de 400 hectares com cobertura vegetal de transição, possuindo diversas fitofisionomias como matas ciliares, capoeiras em diversos graus de sucessão, restinga e mangue. Além de áreas abertas e de cultivo. Esse grande mosaico é uma das áreas mais conservadas da Ilha resultando em uma grande oferta de micro-habitat (AGUIAR *et al.*, 2013; SERRA *et al.*, 2016).

O clima é do tipo Aw de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES *et al.*, 2013), com temperaturas que variam de 22°C a 32°C, com duas estações bem definidas: uma estação chuvosa compreendida entre os meses de janeiro e junho, e uma estação de estiagem, entre julho e dezembro (ALVARES *et al.*, 2013; SANTANA; BERNUCCI, 2016).

O solo é de baixa fertilidade natural sendo oriundo da formação Itapecuru, e é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo, Distrófico Arênico (EMBRAPA, 2006).



Figura 1: Localização das parcelas amostradas na fazenda escola e áreas adjacentes. Fonte: GARCÍA., 2022.

3.2 Desenho experimental

A área do experimento é delineada por 18 parcelas permanentes de 30x30m, implantadas em 6 blocos (BI; BII; BIII; BIV; BV; BIV) com 3 tratamentos cada (Figura 2). Os tratamentos correspondem a três modelos de restauração ecológica, sendo a Regeneração Natural que consiste em restauração passiva (R1), restauração florestal através da Nucleação (R2), onde foram plantadas quatro ilhas de facilitação de 3x3m com uma diversidade de espécies de árvores (Apêndice A) e restauração produtiva, representada por um sistema agroflorestal (R3) sucessional biodiverso (Apêndice A) apresentadas na Figura 3.

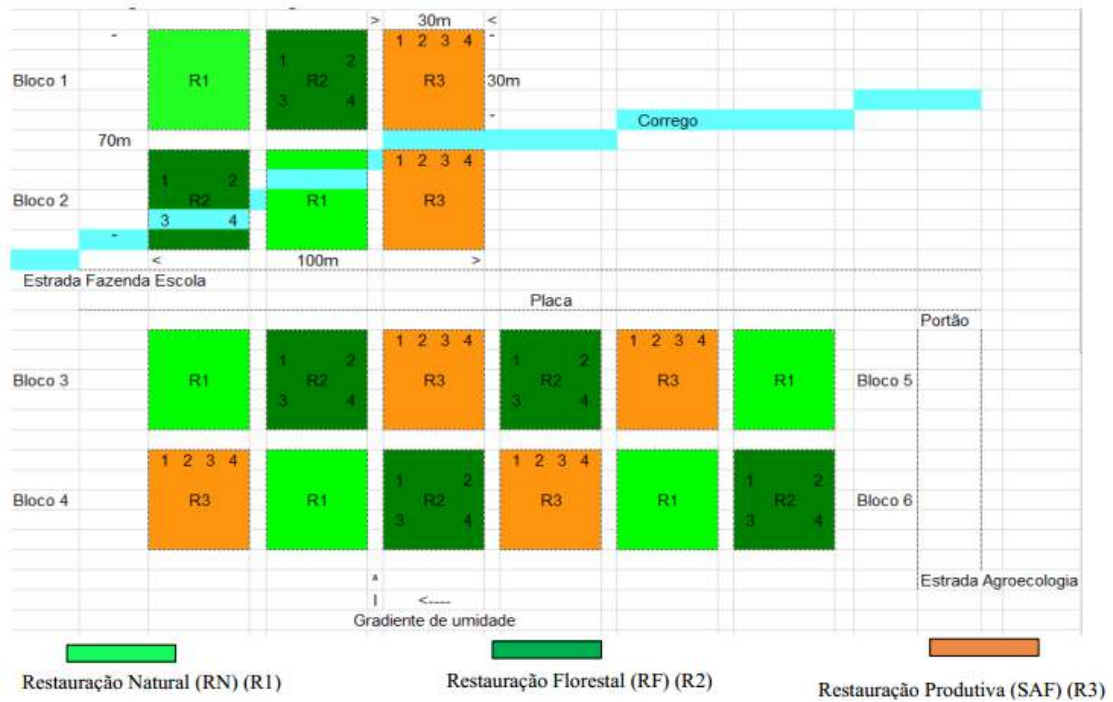


Figura 2: Croqui da área de experimento da Fazenda Escola. Fonte: ROUSSEAU, 2017.

Nos tratamentos de restauração florestal em ilhas de facilitação e de Sistemas Agroflorestais foi realizado o plantio de mudas, entretanto no ano de 2014 as parcelas foram atingidas por queimada, sendo necessário o replantio. Já no tratamento de Regeneração Natural foi mantida a vegetação original em toda a extensão das parcelas, não havendo qualquer intervenção no período de instalação do experimento. Foram aplicadas técnicas de manejo nos Sistemas Agroflorestais e sistemas de Nucleação, resumindo-se basicamente a podas de cobertura, deposição sobre o solo do material orgânico resultante da poda e capina para evitar a competição por luz, água, espaço e nutrientes nos primeiros anos. No entorno de todas as parcelas permanentes foram realizadas a construção e manutenção de aceiros para controlar o acesso do gado.





Figura 3: Visão das áreas de coleta na regeneração natural (A), nucleação (B) e sistema agroflorestal (C) na Fazenda Escola – UEMA. Fonte: OLIVEIRA, 2022.

3.3 Coleta de solo

Em cada parcela de restauração permanente foram coletadas seis amostras de solo com critério de proximidade ao núcleo ou Ilha com três amostras dentro e três fora da ilha. Para os outros sistemas também foi considerado este arranjo sendo considerado o cajueiro como planta base para o critério. Amostras de solos foram coletadas também em seis parcelas representadas por florestas secundárias avançadas da região para fins comparativos. Em cada parcela foram coletadas cinco amostras de solo.

As coletas foram realizadas no final da época seca (outubro e novembro/2021). Amostras compostas de solo (duplicata) foram coletadas com cilindros metálicos de 6cm de diâmetro e 10 cm de altura.

3.4 Análises de solo

A umidade do solo (%) foi estimada por diferença de peso após secagem por 72h na estufa a 105°C. A densidade aparente foi estimada pela relação entre peso seco do solo contido no volume dos cilindros e expressa em g/cm^3 . O solo para análises microbiológicas foi conservado mantendo a estrutura íntegra, enquanto que a porção para estimação dos parâmetros físico-químicos foi seco ao ar, peneirado a 2mm e guardado para realização das análises de pH em água e determinação do carbono orgânico total (COT) através da digestão de Walkley-Black (EMBRAPA, 2017).

Tabela 1: Média e desvio padrão das propriedades físicas e químicas do solo em diferentes sistemas de restauração e floresta secundária. REST: restaurações; RN: Restauração Natural; Ilhas: Nucleação; SAF: Sistema Agroflorestal; SF: Floresta Secundária. Letras minúsculas distintas indicam diferenças estatísticas entre as restaurações.

REST.	Umidade	Dens. Ap.	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	COT	pH em água
RN	3.76 ± 4.02	1.4 ± 0.05 a	24.02 ± 11.23	49.14 ± 23.06	16.09 ± 28.03	10.67 ± 5.6	16.29 ± 20.66	3.57 ± 0.37 a
Ilhas	5.34 ± 5.97	1.41 ± 0.1 a	27.9 ± 4.39	52.52 ± 13.24	8.65 ± 10.12	10.89 ± 5.2	12.71 ± 9.75	3.64 ± 0.52 a
SAF	8.17 ± 11.4	1.36 ± 0.25 b	29.16 ± 4.83	53.44 ± 8.99	8.24 ± 4.61	9.17 ± 1.26	12.25 ± 4.05	4.01 ± 0.34 a
SF	4.51 ± 1.7	1.35 ± 0.06 b	23.77 ± 6.87	58.5 ± 8.62	7.78 ± 5.64	9.87 ± 2.37	12.69 ± 3.39	3.35 ± 0.29 b

3.5 Extração e quantificação de glomerosporos

Os glomerosporos dos fungos micorrízicos arbusculares foram extraídos de amostras de 50g de solo segundo metodologia de peneiramento úmido (GEDERMANN; NICOLSON, 1963) e centrifugação com sacarose (JENKINS, 1964). Os esporos viáveis foram contados em placa canaleta com auxílio de lupa esteriomicroscópio, montados em lâminas sob resina polivinil álcool glicerol (PVLG) e PVLG+Reagente de Melzer (2:1). Posteriormente suas características morfológicas como a forma, tipo e número de paredes, presença ou ausência de cicatrizes e hifas de sustentação, presença e forma do bulbo suspensor, número de hifas no glomerosporos, estruturas de germinação (placas germinativas e orbs) e reação ao Melzer foram avaliadas para sua identificação. A identificação foi realizada segundo a classificação proposta por (OEHL et al., 2011) complementando com os novos táxons descritos posteriormente.

3.6 Diversidade de FMA

A estrutura da comunidade de FMA foi analisada por índices que mensuram riqueza de espécies e diversidade. A frequência de ocorrência (FO) das espécies foi calculada pela equação: $F_i = J_i/k$, onde F_i = frequência de ocorrência da espécie i , J_i = número de amostras onde a espécie i ocorreu e k = número total de amostras. As espécies foram classificadas de acordo com a frequência de ocorrência pela classificação proposta por ZHANG et al. (2004) em dominantes ($FO > 0,50$), muito comum ($0,50 < FO < 0,31$), comum ($0,30 < FO < 0,10$) e rara ($FO < 0,10$). As espécies também foram classificadas de acordo com o índice de frequência em generalistas (ocorrência em todas as áreas), intermediárias (presentes em duas áreas) e exclusivas (presentes em apenas uma área) (STÜRMER; SIQUEIRA, 2011).

O índice de diversidade de Shannon (H') foi calculado de acordo com a equação: $H' = -\sum p_i \cdot \ln p_i$, em que p_i é o número de esporos de cada espécie em 50 g de solo/número total de esporos de todas as espécies. A equitabilidade de Pielou foi obtida pela equação $J' = H'/\text{Log}(S)$ em que H' é o valor obtido pelo índice de Shannon e S é o número total de espécies. E o de Simpson (S') que é calculado $S' = \sum p_i^2$ onde p_i : proporção de cada espécie, para i variando de 1 a S (Riqueza), e p_i : frequência da espécie i .

3.7 Extração e quantificação de glomalina

A glomalina foi quantificada tanto na fração facilmente extraível (EE-BRSP, i.e Easy Extratable Bradford Reactive Soil Proteins) quanto na fração total (BRSP, i.e Bradford Reactive Soil Proteins) (WRIGHT et al., 1996). Para obtenção da EE-BRSP foram pesados 200 mg de solo e adicionou-se 1,6 ml de citrato de sódio (20 μM a pH 7,0), seguidamente, a amostra foi aquecida a 120°C durante 30 minutos, resfriada e centrifugada a 5000 rpm durante 15 min para obter o sobrenadante. Para a BRSP também foram pesados 200 mg de solo e adicionado 1,6 ml de citrato de sódio (50 μM a pH 8,0), logo após a amostra foi aquecida a 120°C durante 1 hora, resfriada e centrifugada por 10 min a 5000 rpm, o extrato foi coletado e o processo foi repetido no pellet até obtenção da cor amarelo claro no extrato. O volume total do extrato da fração total consistiu na soma dos volumes dos extratos coletados por amostra. Finalmente, o teor de glomalina foi quantificado como o equivalente em teor de proteína estimados a partir do método de Bradford (BRADFORD, 1976) com uso de espectrofotômetro e a curva padrão será construída com albumina bovina (BSA – Sigma Aldrich®).

3.8 Análises Estatísticas

Os dados obtidos foram avaliados mediante modelos lineares generalizados (GLM) usando a distribuição mais recomendada segundo a natureza dos dados e priorizando a diminuição da variância residual do modelo (ZUUR 2009). Inicialmente foi avaliada a interação entre a condição dentro e fora e o tipo de sistema de restauração (sem as florestas secundárias de referência). Devido à ausência de interação para as variáveis densidade de glomerosporos, BRSP e EE-BRSP foi usado um modelo mais simples onde os tipos de restauração (RN, Nucleação e SAF) foram contrastados com o as florestas secundárias. Quando significativo, foi realizado um teste de HSD-Tukey para comparação de médias com nível de significância de 5%. As relações entre variáveis ambientais e as variáveis microbiológicas foram avaliadas mediante análises exploratórias de correlação seguida de regressão com modelo aditivo generalizado (GAM) para aquelas com maior ajuste e significância. As análises foram realizadas usando o pacote MGCV (WOOD 2017) e foi conduzido no R Studio versão 4.2.1 (R Core Team 2022).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Densidade de glomerosporos

A densidade de glomerosporos variou acentuadamente. A densidade de glomerosporos na floresta secundária foi menor que nas áreas de restauração, com a área de SAF apresentando menor número de propágulos de FMA, $p < 0.05$ (Figura 4).

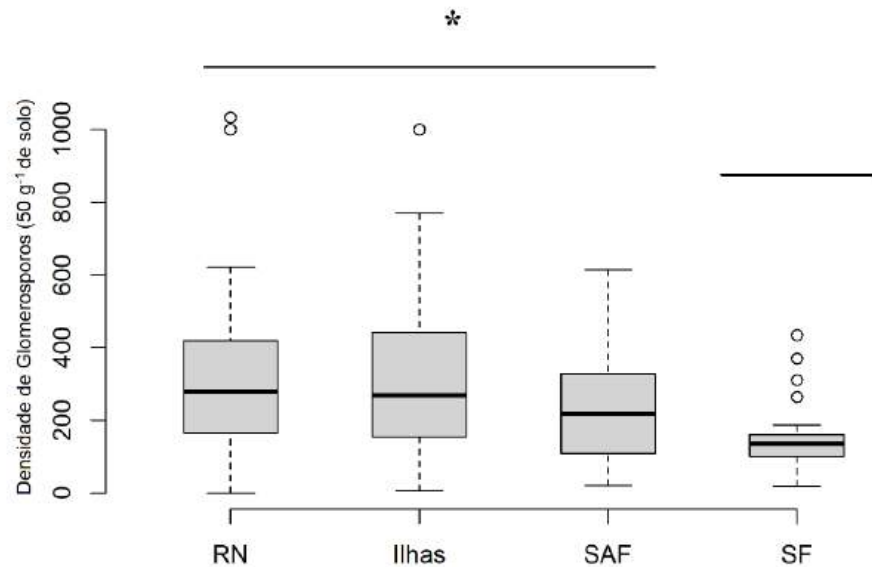


Figura 4: Densidade de glomerosporos ($50\text{g}^{-1}\text{g}$ de solo) em diferentes sistemas de restauração e floresta secundária. RN: Restauração Natural; Ilhas: Nucleação; SAF: Sistema Agroflorestal; SF: Floresta Secundária.* Diferença significativa $p < 0,05$.

O fato de que as áreas de restauração apresentaram maior densidade de esporos mostra que o uso e histórico da terra influenciou a densidade de esporos, uma vez que as maiores quantidades foram encontradas nessas áreas, mostrando que a densidade de esporos diminui progressivamente durante a sucessão ecológica (ZANGARO *et al.*, 2012). Acrescido a esse fato temos que florestas secundárias são um ambiente mais estável e menos perturbado, com presença constante de hospedeiros e ausência de variações bruscas na fertilidade do solo garantindo a sobrevivência de espécies (STÜRMER; SIQUEIRA, 2011).

Esse resultado também pode ser explicado porque a floresta secundária é dominada por espécies clímax, ou seja, exigem baixo grau de micotrofia em contraste com as pioneiras ou espécies sucessionais (STÜRMER; SIQUEIRA, 2011). E a comunidade de fungos micorrízicos ser composta de espécies mais adaptadas aquele ambiente possuindo estratégias distintas e menor grau de competição por nichos sendo sua garantia assegurada com baixa produção de esporos ou que tenham baixa capacidade de resistência (CAPRONI *et al.*, 2003; GOMIDE *et*

al., 2014). O resultado encontrado nesta pesquisa está entre as médias reportadas por Leal e seus colaboradores (2009), Stürmer e Siqueira (2011), Lima *et al.*, 2020 que notaram a baixa densidade de esporos em ecossistema de mata nativa.

A percentagem de areia explicou 38% da variabilidade observada na densidade de glomerosporos com relação positiva, $p < 0.001$, (Fig. 5). A análise mostrou que houve uma interação significativa ($p < 0.05$) quando desdobrado entre sistema, coincidindo com o mostrado para a análises por tratamento onde menores densidades de glomerosporos ocorrem principalmente na floresta secundária.

As características físicas do solo influenciam na densidade de esporos que se relacionam com a forma com que os esporos se agregam no solo. Segundo Souza e colaboradores (2003) e Miranda, Vilela e Miranda (2005) a menor densidade de FMA pode estar relacionada com a textura do solo, com os solos mais arenosos apresentando menores densidades.

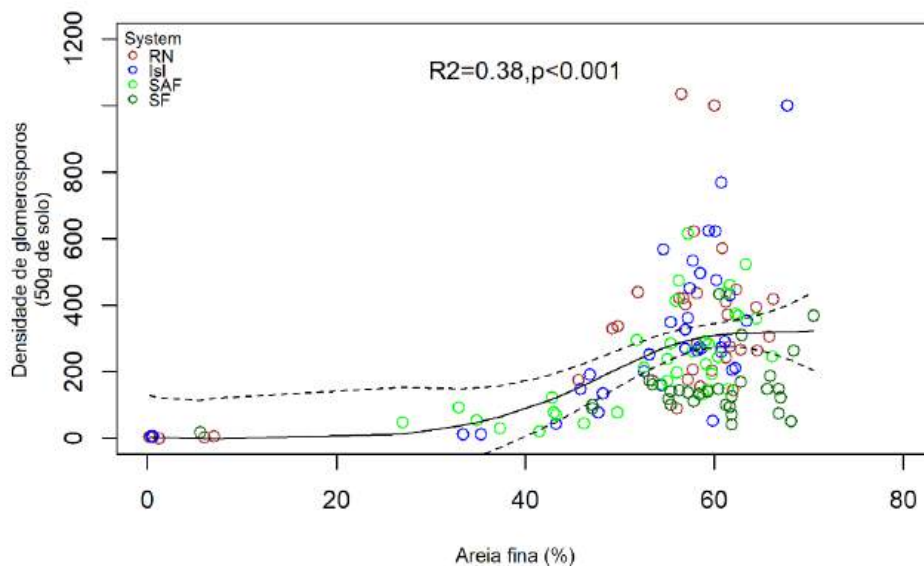


Figura 5: Densidade de glomerosporos em relação a percentagem de areia fina em diferentes sistemas de restauração e floresta secundária. RN: Restauração Natural; Isl: Nucleação; SAF: Sistema Agroflorestal; SF: Floresta Secundária.

Autores relacionam baixas densidades de esporos com condições de estresse que as plantas hospedeiras suportam em solos arenosos e, conseqüentemente, a vulnerabilidade desses solos a perturbações que facilitam sua suscetibilidade a agentes dispersores (SIEVERDING, 1991; FREITAS *et al.*, 2014).

4.2 Composição e diversidade de espécies de FMA

Um total de 38 espécies de FMA foram identificadas, distribuídas em sete famílias (Acaulosporaceae, Ambisporaceae, Destiscutataceae, Gigasporaceae, Glomeraceae, Racocetraceae e Scutellosporaceae) e 12 gêneros (*Acaulospora*, *Ambispora*, *Cetraspora*,

Dentiscutata, *Funneliformis*, *Fuscutata*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Orbispora*, *Racocetra*, *Rhizoglomus* e *Scutelospora*). Todos os gêneros ocorreram nas áreas de restauração, apenas o gênero *Ambispora* não foi encontrado na floresta secundária. As famílias Ambisporaceae e Gigasporaceae só apresentaram uma representante.

Dos gêneros registrados, os mais representativos em relação ao número de espécies, foram *Glomus* e *Acaulospora* com 16 e nove espécies, respectivamente. A dominância desses gêneros está relacionada com o fato das suas espécies apresentarem maior adaptabilidade e apresentar bastante resistência a perturbações ambientais (BEZERRA, 2017). Ambos os gêneros dominantes são comumente representados e possuem ocorrência generalizada em diversos ambientes terrestres (STÜRMER; SIQUEIRA, 2011; SILVA *et al.*, 2014; CAPRONI *et al.*, 2017; REYES *et al.*, 2019).

O domínio de *Glomus*, por exemplo, indica a alta capacidade de esporulação do gênero, a adaptabilidade à região, às situações iniciais de sucessão. Além de se apresentar bastante resistente a perturbações ambientais e possuir estratégia do tipo *r* produzindo muitos esporos (SILVA, 2009). Em alguns ambientes a dominância de um ou mais gêneros de FMA pode ser atribuída à interação dos fatores ambientais, como características físicas e químicas do solo, morfológicas e fisiológicas das plantas (WINAGRASKI *et al.*, 2019).

Oehl e colaboradores (2017) afirmam que nas condições gerais de fertilidade do solo o pH é um dos elementos mais influente afetando a ocorrência das espécies e comunidade de FMA. O solo estudado apresentou pH muito ácido mostrando a dominância de indivíduos dos gêneros *Glomus* e *Acaulospora*, reconhecidos por sua ampla faixa de adaptação e pela preferência por solos ácidos (CAPRONI *et al.*, 2003).

A dominância desses gêneros no estudo corrobora com os obtidos por Reyes *et al* (2018) e Da Silva *et al* (2021) ao avaliar a comunidade de FMA em florestas secundárias e pastagem e sistemas agroflorestais análogos, respectivamente. Esses autores discutem que, por possuírem esporos pequenos e em grande quantidade, os gêneros *Glomus* e *Acaulospora*, tendem a ter uma maior adaptação ao estresse hídrico, além de serem os gêneros mais descritos.

A área de regeneração natural foi a que apresentou maior diversidade com 34 espécies, seguida do sistema agroflorestal (31), ilhas (29) e, por último, a floresta secundária (19) como pode ser observado (Tabela 2).

Ao todo 17 espécies tiveram ocorrência generalizada. Entre elas podemos destacar as mais abundantes: *Glomus glomerulatum*, *Glomus macrocarpum*, *Glomus sp ambisporum*, *Funneliformis geosporum* e *Acaulospora morrowiae*. Souza *et al.* (2010), afirma que *G. macrocarpum* possui distribuição geográfica em todo país, estando presente na maioria dos

estados. É de fundamental importância conhecer mais detalhadamente a ecologia deste gênero, pois ela apresenta grande potencial para o uso em programas de recuperação de áreas degradadas (CAPRONI *et al.*, 2003).

A frequência de ocorrência indica o quanto uma espécie é distribuída na área amostral (GOMIDE *et al.*, 2014), determinando seu grau de especificidade, indicando se ela é rara ou comum dentro de um ecossistema, expressando quão adaptada a espécie está às várias condições ambientais e de solo (STÜRMER; SIQUEIRA, 2008). No presente estudo, *Fuscutata heterogama* e *Glomus taiwanensis* foram exclusivas da regeneração natural. Enquanto *Acaulospora excavata*, *Cetraspora* sp e *Glomus clavisporum* do sistema agroflorestral e, *Glomus* sp *pachyscaule* da floresta secundária. Apenas o sistema em ilhas não apresentou espécie exclusiva.

Das 38 espécies de FMA, *G. glomerulatum* e *G. macrocarpum* foram dominantes em todos os sistemas estudados. Enquanto que *A. rehmi*, *D. scutata*, *G. spinuliferum*, *G. rubiforme*, *Rhizoglomus* sp *clarum*, *Sclerocystis sinuosa* e *R. gregaria* foram classificadas como comum. As demais espécies tiveram frequência de ocorrência variando entre dominante, comum e muito comum de acordo com o ambiente em que foi encontrada.

Tabela 2: Diversidade, frequência relativa, dominância, valor indicador, significância de fungos micorrízicos arbusculares em diferentes sistemas de restauração e floresta secundária. RN: Restauração Natural; Ilhas: Nucleação; SAF: Sistema Agroflorestral; SF: Floresta Secundária. * Indica diferença significativa.

Espécies	Frequência Relativa				Dominância				Valor Indicador				Significância		Indicador
	RN	ILHA	SAF	SF	RN	ILHA	SAF	SF	RN	ILHA	SAF	SF	p	Sig	Ind
Acaulosporaceae															
<i>A. excavata</i>	0	0	0,22	0	-	-	c	-	0	0	0,222	0	0,001	***	SAF
<i>A. foveata</i>	0,42	0,31	0,39	0,03	mc	c	mc	c	0,148	0,08	0,143	0,001	0,201	-	-
<i>A. herrerae</i>	0,11	0,14	0,14	0	c	c	c	-	0,032	0,037	0,061	0	0,512	-	-
<i>A. mellea</i>	0,03	0,06	0	0	c	c	-	-	0,009	0,037	0	0	0,493	-	-
<i>A. morrowiae</i>	0,36	0,44	0,31	0,07	mc	mc	c	c	0,14	0,132	0,09	0,001	0,321	-	-
<i>A. reducta</i>	0,06	0,03	0,06	0	c	c	c	-	0,012	0,003	0,037	0	0,499	-	-
<i>A. rehmi</i>	0,08	0,08	0,14	0,03	c	c	c	c	0,021	0,021	0,06	0,002	0,337	-	-
<i>A. scrobiculata</i>	0,28	0,39	0,75	0,03	c	mc	d	c	0,023	0,046	0,596	0	0,001	***	SAF
<i>A. spinosa</i>	0,19	0,11	0,03	0	c	c	c	-	0,072	0,063	0,002	0	0,314	-	-
Ambisporaceae															
<i>A. appendicula</i>	0,14	0,08	0,14	0	c	c	c	-	0,06	0,011	0,06	0	0,422	-	-
Dentiscutataceae															
<i>D. scutata</i>	0,08	0,03	0,14	0,27	c	c	c	c	0,008	0,001	0,032	0,17	0,004	**	SF
<i>F. heterogama</i>	0,03	0	0	0	c	-	-	-	0,028	0	0	0	1	-	-
<i>F. rubra</i>	0,11	0,19	0,19	0	c	c	c	-	0,035	0,046	0,087	0	0,261	-	-
<i>F. savannicola</i>	0,11	0,06	0,03	0	c	c	c	-	0,074	0,012	0,003	0	0,109	-	-
Gigasporaceae															
<i>G. decipiens</i>	0,33	0,33	0,33	0,13	mc	mc	mc	c	0,116	0,089	0,087	0,016	0,572	-	-
Glomeraceae															
<i>F. geosporum</i>	0,33	0,33	0,19	0,07	mc	mc	c	c	0,089	0,177	0,035	0,001	0,038	*	Ilha
<i>F. halonatum</i>	0,03	0,06	0	0	c	c	-	-	0,009	0,037	0	0	0,483	-	-
<i>G. clavisporum</i>	0	0	0,03	0	-	-	c	-	0	0	0,028	0	1	-	-
<i>G. glomerulatum</i>	0,89	1	1	0,8	d	d	d	d	0,299	0,327	0,239	0,078	0,022	*	RN,SAF,ILHA
<i>G. macrocarpum</i>	0,64	0,67	0,64	0,93	d	d	d	d	0,159	0,232	0,099	0,231	0,404	-	-
<i>G. spinuliferum</i>	0,14	0,17	0,03	0,1	c	c	c	c	0,04	0,04	0,001	0,043	0,895	-	-
<i>G. taiwanensis</i>	0,06	0	0	0	c	-	-	-	0,056	0	0	0	0,22	-	-
<i>G. trufemi</i>	0,36	0,28	0,31	0,07	mc	c	c	c	0,127	0,08	0,094	0,004	0,32	-	-
<i>G. ambisporum</i>	0,31	0,33	0,28	0,73	c	mc	c	d	0,062	0,05	0,033	0,389	0,001	***	SF

<i>G. pachyscaule</i>	0	0	0	0,03	-	-	-	c	0	0	0	0,033	0,234	-	-
<i>G. rubiforme</i>	0,03	0,08	0,03	0,03	c	c	c	c	0,018	0,018	0,002	0,003	0,957	-	-
<i>Glomus</i> sp1	0,03	0	0,11	0	c	-	c	-	0,001	0	0,108	0	0,018	*	SAF
<i>Glomus</i> sp2	0,06	0	0,03	0	c	-	c	-	0,037	0	0,009	0	0,525	-	-
<i>Glomus</i> sp3	0,14	0,11	0,06	0	c	c	c	-	0,116	0,017	0,001	0	0,069	-	-
<i>Rhizoglomus</i> sp <i>clarum</i>	0,17	0,11	0,08	0,13	c	c	c	c	0,037	0,036	0,012	0,04	0,962	-	-
<i>Sclerocystis</i> <i>sinuosa</i>	0,06	0,06	0,31	0,03	c	c	c	c	0,003	0,003	0,265	0,001	0,001	***	SAF
Racocetraceae															
<i>Cetraspora</i> <i>pellucida</i>	0,08	0	0,17	0,03	c	-	c	c	0,015	0	0,112	0,005	0,048	*	SAF
<i>Cetraspora. sp</i>	0	0	0,03	0	-	-	c	-	0	0	0,028	0	1	-	-
<i>Racocetra</i> <i>gregaria</i>	0,03	0,06	0,19	0,03	c	c	c	c	0,001	0,005	0,158	0,002	0,01	**	SAF
<i>Racocetra sp</i>	0,06	0,06	0,06	0	c	c	c	-	0,021	0,014	0,021	0	0,821	-	-
Scutellosporaceae															
<i>Orbispora.</i> <i>pernambucana</i>	0,03	0,06	0	0,43	c	c	-	mc	0,001	0,003	0	0,398	0,001	***	SF
<i>Scutellospora</i> <i>calospora</i>	0,03	0,14	0,39	0	c	c	mc	-	0,001	0,014	0,341	0	0,001	***	SAF
<i>Scutellospora sp</i>	0,03	0,06	0	0	c	c	-	-	0,006	0,044	0	0	0,371	-	-

Con. Tabela 2: Diversidade, frequência relativa, dominância, valor indicador, significância de fungos micorrízicos arbusculares em diferentes sistemas de restauração e floresta secundária. RN: Restauração Natural; Ilhas: Nucleação; SAF: Sistema Agroflorestal; SF: Floresta Secundária. * Indica diferença significativa.

Os índices de diversidade ecológica são utilizados para avaliar a estrutura das comunidades. Onde índice de Shannon (H'), que é uma medida de equidade, diz que quanto maior o valor de H' , maior a diversidade da área em estudo, sendo ideal quando se tem o objetivo de estudar os efeitos das perturbações nos ecossistemas, atribuindo maior peso às espécies raras, as quais são as primeiras a sentir os efeitos dos impactos. O índice de equitabilidade de Pielou deriva do índice de diversidade de Shannon e, por meio dele, é possível representar a uniformidade da distribuição dos indivíduos entre as espécies existentes. Já o índice de Simpson (S') fornece a ideia de se coletar aleatoriamente dois indivíduos da mesma espécie na mesma comunidade (GOMIDE *et al.*, 2006).

Assim, o índice H' mostra que as áreas de restauração natural apresentaram maior perturbação, com as áreas do sistema agroflorestal apresentando uma comunidade mais uniforme. Em relação a riqueza, o SAF foi o ambiente com maior riqueza e a floresta secundária o menor, corroborando com Nobre *et al* (2010) e Lima *et al* (2020) que verificaram que o SAF foi área que apresentou maior riqueza. Essa alta diversidade pode ser devido à alta diversidade de espécies vegetais (SOUZA *et al.*, 2010). Já para os índices J' e S' não foram observadas diferenças entre as áreas estudadas. (Tabela 3).

Tabela 3: Média e desvio padrão dos índices de diversidade de Shannon (H'), equitabilidade de Pielou (J') e Simpson (S') em diferentes sistemas de restauração e floresta secundária. RN: Restauração Natural; Ilhas: Nucleação; SAF: Sistema Agroflorestal; SF: Floresta Secundária. Letras minúsculas distintas indicam diferenças estatísticas entre as restaurações.

Tratamento	Shannon	Riqueza	Simpson	Pielou
RN	0.86 ± 0.09 b	5.81 ± 0.63 ab	0.47 ± 0.04 a	0.46 ± 0.03 a
Ilhas	0.95 ± 0.09 ab	5.81 ± 0.63 ab	0.51 ± 0.04 a	0.52 ± 0.03 a
SAF	1.11 ± 0.09 a	6.78 ± 0.63 a	0.53 ± 0.04 a	0.53 ± 0.03 a
SF	0.96 ± 0.09 ab	4 ± 0.64 b	0.54 ± 0.04 a	0.6 ± 0.04 a

4.3 Teores de glomalina facilmente extraível (EE-BRSP) e glomalina total (BRSP)

Os teores de glomalina facilmente extraível e total encontrados no presente estudo possuíram comportamento semelhante não diferindo significativamente mesmo entre sistemas diferentes. (Fig. 6 e 7). A quantidade de glomalina facilmente extraível e de glomalina total foram superiores às observadas por Lima *et al* (2020) em diferentes coberturas vegetais.

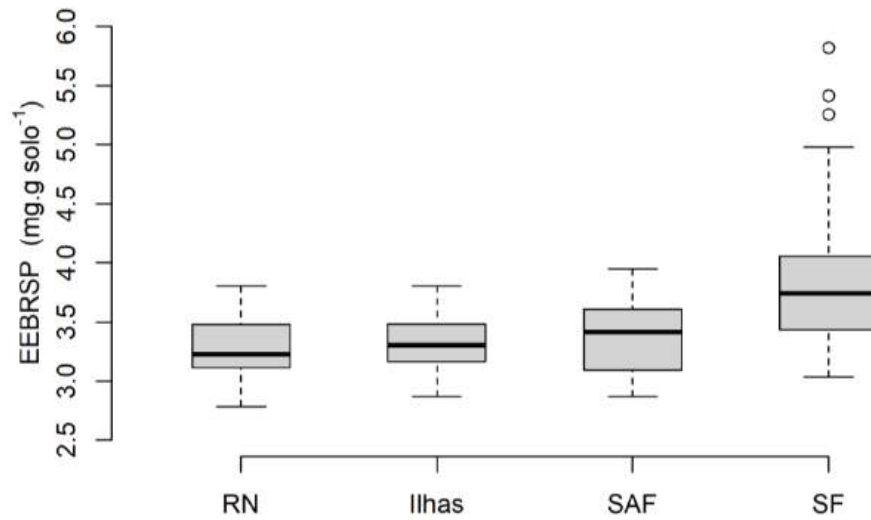


Figura 6: Teores de glomalina facilmente extraível (mg.g solo^{-1}) em diferentes sistemas de restauração e floresta secundária. RN: Restauração Natural; Ilhas: Nucleação; SAF: Sistema Agroflorestal; SF: Floresta Secundária.

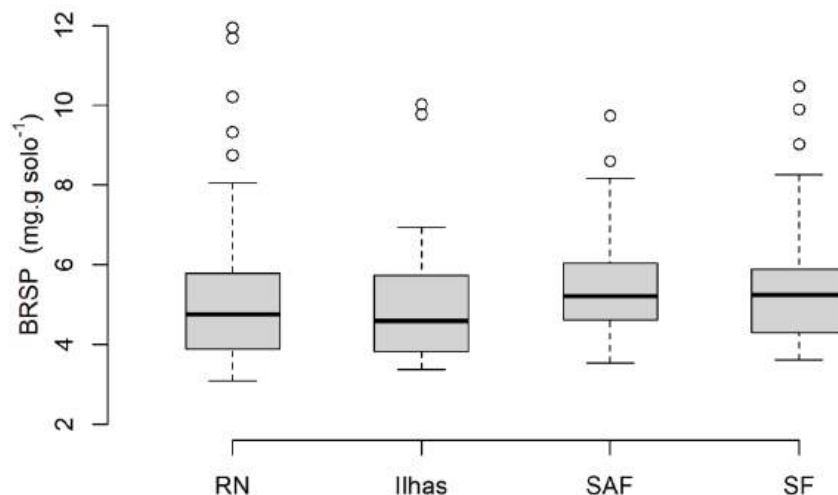


Figura 7: Teores de glomalina total (mg.g solo^{-1}) em diferentes sistemas de restauração e floresta secundária. RN: Restauração Natural; Ilhas: Nucleação; SAF: Sistema Agroflorestal; SF: Floresta Secundária.

O conteúdo de glomalina total foi correlacionado com os fatores físico-químicos do solo, onde a percentagem de areia fina explicou 56% da variabilidade no teor de glomalina total estimada ($p < 0.001$), mas neste caso sem interação entre os sistemas estudados. A tendência indica que solos com maior percentagem de areia fina tem menor teor de glomalina total (Fig. 8). Essa baixa concentração pode ser em decorrência de uma menor ligação da glomalina à superfície da areia, resultando em um acúmulo menor no substrato arenoso e menor proteção física no interior dos agregados (WU *et al.*, 2014).

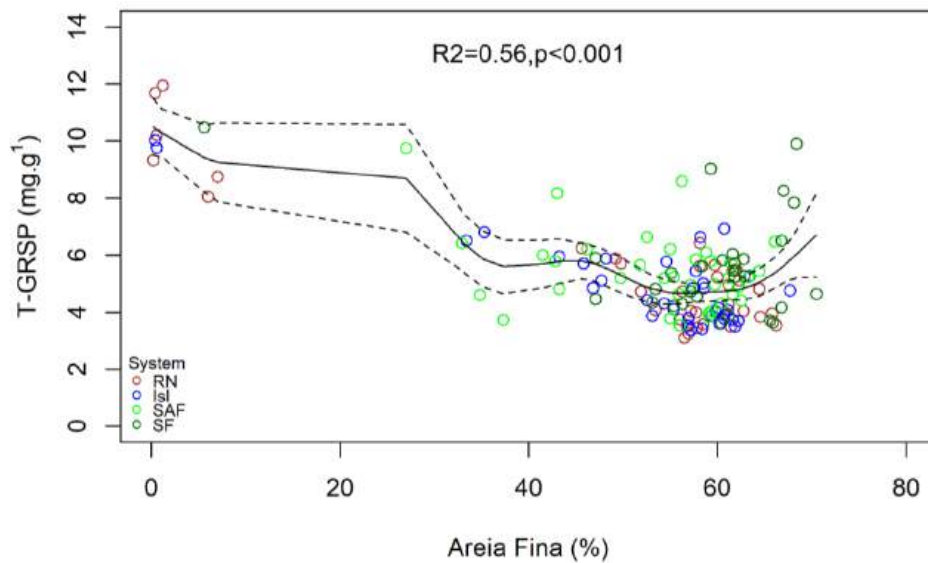


Figura 8: Teores de glomalina total em relação a percentagem de areia fina. RN: Restauração Natural; Isl: Nucleação; SAF: Sistema Agroflorestal; SF: Floresta Secundária.

Para o fator carbono total do solo obtivemos que a glomalina se relaciona positivamente com essa variável, onde nossos resultados confirmam uma relação significativa ($p < 0.001$), explicação de 48%, da glomalina total com o conteúdo de C no solo (Fig. 9). Rilling (2003) observou fortes relações entre glomalina total e carbono do solo tanto em solos naturais quanto em cultiváveis, o que sugere uma semelhança entre suas dinâmicas de deposição e decomposição, constituindo uma das muitas formas pelas quais o estoque de C é renovado no solo (BEDINI *et al.*, 2007).

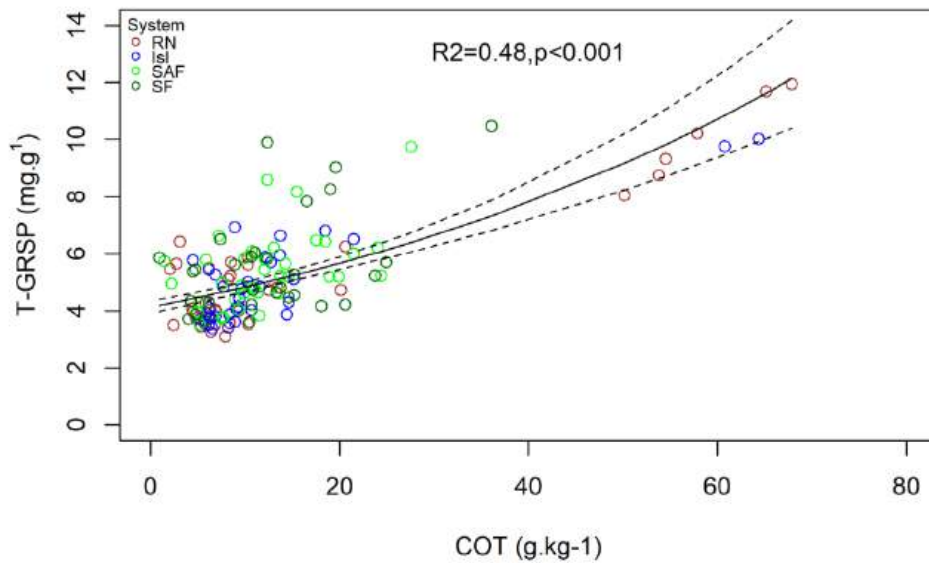


Figura 9: Teores de glomalina total em relação a percentagem de carbono total em diferentes sistemas de restauração e floresta secundária. RN: Restauração Natural; Isl: Nucleação; SAF: Sistema Agroflorestal; SF: Floresta Secundária.

De modo geral, a produção e decomposição de glomalina não tem uma explicação definida. Embora produzida pelos FMA, a glomalina compreende reservatórios que possuem diferentes taxas de reposição e estabilidade necessitando de mais estudos (PURIN, 2005; LIMA *et al.*, 2020).

Porém, alguns estudos têm mostrado que a produção de glomalina pode ser influenciada pelo sistema de uso do solo, visto que sua produção é menor em solos agrícolas em relação a solos nativos ou não cultivados, solos esses que não sofreram com perturbações, como o revolvimento do solo por exemplo, que destrói as hifas dos fungos influenciando negativamente na produção de glomalina e na agregação do solo (RILLIG *et al.*, 2003; SOUSA *et al.*, 2012; CARDOSO, 2017). E também pode ser relacionada à atividade da comunidade fúngica (BEDINI *et al.*, 2007).

5. CONCLUSÃO

Os sistemas de restauração afetam a composição da comunidade de fungos micorrízicos arbusculares aumentando sua abundância e diversidade nos sistemas agroflorestais em comparação com a floresta secundária e a regeneração natural.

Quanto mais conservada a área menor a densidade de glomerosporos e riqueza de espécies.

A produção de glomerosporos e os teores de glomalina facilmente extraível e total não são afetadas pelos tipos de restauração.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, I.R.G; dos SANTOS, J.P.V; da SILVA, A.F.C; MENDES, I.D; JUAZEIRO, T.G. Levantamento da avifauna do Sítio Aguahy, São José de Ribamar- MA, Brasil. **XI Congresso de Ecologia do Brasil**, Porto Seguro - BA, setembro de 2013.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L, SENTELHAS, P C, de MORAES, J L.G., SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorol Z.** v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Doi: [10.1127/0941-2948/2013/0507](https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507).
- ANDERSON, M.L. Spaced-Group planting. **Unasyuva**, vol. 7, n. 2. University of Edinburgh, Scotland, 1953.
- ANDRADE, G.K.O.; FERREIRA, R.A.; FERNANDES, M.M.; DA SILVA, T.R.; SOUZA, I.B.A.; MAGALHÃES, J.S. Regeneração natural em área de reflorestamento misto com espécies nativas no município de Laranjeiras, SE. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 61, 2018. Doi: <http://dx.doi.org/10.22491/rca.2018.2779>.
- ATAKAN, A.; ÖZKAYA, H.O. Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Glomalin. **Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology**, v. 9, n. 12, p. 2371-2375, 2021.
- AZEVEDO, J.M.A.; ASSIS, G.M.L.; SAGGIN JÚNIOR, O.J.; AZEVEDO, H.S.F.S. Richness and frequency of species of arbuscular mycorrhizal fungi in forage peanut genotypes in Acre, northern Brazil, **Acta Amazonica**, v. 44, n. 2, p. 157-168, 2014.
- BEDINI, S.; AVIO, L.; ARGESE, E.; GIOVANNETTI, M. Effects of long-term land use on Arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin-related soil protein. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 120, p. 463-466, 2007.
- BERBARA, R.L.L.; SOUZA, F.A.; FONSECA, H.M.A.C. Fungos Micorrízicos Arbusculares: Muito além da nutrição. In: FERNANDES, M.S. (ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 53-88, 2006.
- BERUDE, M.C.; ALMEIDA, D.S.; RIVA, M.M.; CABANÊZ, P.A.; AMARAL, A.A. Micorrizas e sua importância agroecológica. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 11, n. 22, p. 132-146, 2015.
- BEZERRA, A.C.A.F. Influência de distúrbios antrópicos e mudanças temporais sobre os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) no semiárido. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.
- BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**. v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.
- BRANCALION, P.H.S.; LIMA, L.R.; RODRIGUES, R.R. Restauração ecológica como estratégia de resgate e conservação da biodiversidade em paisagens antrópicas tropicais. **Conservação da biodiversidade em paisagens antropizadas do Brasil**, v. 1, p. 565-587, 2013.
- BRASIL. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Brasília, 2000.

BRITO, E. DA S. & ILKIU-BORGES, A.L. Briófitas de uma área de Terra Firme no município de Mirinzal e novas ocorrências para o estado do Maranhão, Brasil. **IHERINGIA, Série Botânica**, Porto Alegre, v. 69, n. 1, p. 133-142, 2014.

BRUNDRETT, M.C.; PICHÉ, Y.; PETERSON, R.L. A developmental study of the early stages in vesicular arbuscular mycorrhiza formation. **Canadian Journal of Botany**, v. 63, p. 184-194. 2009.

BUSS, T.O.L.; KANIESKI, M.R.; NICOLETTI, M.F.; GOULART, M.M.; MARTINS, D.A.P.; FLORIANI, M.M.P.; SOUZA, D.L.; PIZZOL, J.D.; ZANGALLI, C. Restauração ecológica em áreas de mineração por cascalho no Sul do Brasil. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 7, p. 81-92, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.007.0008>.

CAPRONI, A.L.; FRANCO, A.A.; BERBARA, R.L.L.; TRUFEM, S.B.; GRANHA, J.R.; MONTEIRO, A B. Arbuscular mycorrhizal fungi occurrence in revegetated areas after bauxite mining at Porto Trombetas, Pará State, Brazil. **Pesquisa Agropecuária**, v. 38, n. 12, p. 1409-1418, 2003.

CARDOSO, F.C.P. **Carbono orgânico e glomalina afetados por sistemas de cultivo de longa duração**. Dissertação (Mestre em Agronomia), Universidade de Brasília – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília, 2017.

CARNEIRO, R.F.V; CARDOZO JÚNIOR, F.M.; PEREIRA, L.F.; ARAÚJO, A.S.F.; SILVA, G.A. Fungos micorrízicos arbusculares como indicadores da recuperação de áreas degradadas no Nordeste do Brasil. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 43, n. 4, p. 648-657, 2012.

CARRILLO-SAUCEDO, S.M.; GAVITO, M.E.; SIDDIQUE, I. Arbuscular mycorrhizal fungal spore communities of a tropical dry forest ecosystem show resilience to land-use change. **Fungal Ecology**, v. 32, p. 29–39, 2018.

CELENTANO, D.; ROUSSEAU, G.X.; MUNIZ, F.H.; VARGA, I.V.D.; MARTINEZ, C.; CARNEIRO, M.S.; MIRANDA, M.V.C.; BARROS, M.N.R.; FREITAS, L.H.; NARVAES, I. DA S.; ADAMI, M.; GOMES, A R.; RODRIGUES, J.C.; MARTINS, M.B. Towards zero deforestation and forest restoration in the Amazon region of Maranhão state, Brazil. **Land Use Policy**, 2017.

CELENTANO, D.; ROUSSEAU, G.X.; PAIXÃO, L.S.; LOURENÇO, F.; CARDOZO, E.G.; RODRIGUES, T.O.; E SILVA, H.R.; MEDINA, J.; DE SOUSA, T.M.C.; ROCHA, A.E.; REIS, F.O. Carbon sequestration and nutrient cycling in agroforestry systems on degraded soils of Eastern Amazon, Brazil, **Agroforestry Systems**, 2020. DOI: [10.1007/s10457-020-00496-4](https://doi.org/10.1007/s10457-020-00496-4).

CELENTANO, D.; ZAHAWI, R.A.; FINEGAN, B.; CASANOVES, F.; OSTERTAG, COLE, R.J.; HOLL, K.D. Restauración ecológica de bosques tropicales en Costa Rica: efecto de varios modelos en la producción, acumulación y descomposición de hojarasca. **Rev. Biol. Trop.** (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744), v. 59, n. 3, p. 1323-1336, 2011.

COLODETE, C.M.; DOBBSS, L.B.; RAMOS, A.C. Aplicação das micorrizas arbusculares na recuperação de áreas impactadas. **Natureza on line**. v. 12, n. 1, p. 31-37, 2014.

COUTINHO, P.R.O.S.; VALCARCEL, R.; RODRIGUES, P.J.F.P.; BRAGA, J.M.A. Restauração passiva em pastagens abandonadas a partir de núcleos de vegetação na Mata Atlântica, Brasil. **Revista Ciência Florestal**, v. 29, n. 3, 2019.

Da SILVA, C.F.; CÂMARA, R.; PEREIRA, M.G.; DOS SANTOS, G.L.; AGUIAR, G.L.; DA SILVA, C.S.; FAGUNDES, H.S.; DA SILVA, E.M.R. Comunidade de fungos micorrízicos arbusculares e matéria orgânica do solo em pastagens e sistemas agroflorestais análogos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 16, n. 12, e8942, 2021.

DAVISON, J.; MOORA, M.; OPIK, M.; ADHOLEYA, A.; AINSAAR, L.; BÂ, A.; BURLA, S.; DIESHIOU, A.G.; HIIESALU, I.; JAIRUS, T. et al. Global assessment of arbuscular mycorrhizal fungus diversity reveals very low endemism. **Science**, v. 349, p. 970-973, 2015.

DELLASALA, D.A.; MARTIN, A.; SPIVAK, R.; SCHULKE, T.; BIRD, B.; CRILEY, M.; VAN DAALEN, C.; KREILICK, J.; BROWN, R.; APLET, G. A citizen's call for ecological forest restoration: forest restoration principles and criteria. **Ecological Restoration**, v. 21, p. 14-23, 2003.

DELAZERI, M. Determinantes do desmatamento nos municípios do Arco Verde – Amazônia Legal: uma abordagem econométrica. *Revista Economia e Ensaios*, v. 30, n. 2, p. 11-34, 2016.

DENNAN, K.L.; BRASSEUR, A.G.; CHIDTHAISONG, P.; CIAIS, P.M.; COX, R.E.; DICKINSON, D.; HAUGLUSTAINE, C.; HEINZE, E.; HOLLAND, D.; JACOB, U.; LOHMANN, S.; RAMACHANDRAN, P.L.; DA SILVA, S.C.D.; WOFYSY, X. Z. Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, v. 21, n. 7, p. 499-587, 2007.

DURIGAN, G.; ENGEL, V.L. Restauração de ecossistemas no Brasil: onde estamos e para onde podemos ir? In: MARTINS, S.V. (ed.). **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**. 2.ed. Viçosa: Editora UFV, p. 42-69, 2015.

DURIGAN, G.; ENGEL, V.L.; TOREZAN, J.M.; MELO, A.C.G.; MARQUES, M.C.M.; MARTINS, S.V.; REIS, A.; SCARANO, F.R. Normas jurídicas para a restauração ecológica: uma barreira a mais a dificultar o êxito das iniciativas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, p. 471-485, 2010.

ELHINDI, K.M.; EL-DIN, A.S.; ELGORBAN, A M. The impact of arbuscular mycorrhizal fungi in mitigating salt-induced adverse effects in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 24, p.170-179, 2017.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 3 ed. Brasília: EMBRAPA, 2017.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, p. 306, 2006.

FERREIRA, P.F.A; SILVA, L.C.; MARTINEZ, H.A.R.; FERREIRA, K A L.; NOBRE, C.P. Efeito da sazonalidade na comunidade de Fungos Micorrízicos Arbusculares em áreas com *Mimosa caesalpinifolia*. **REVISTA TRÓPICA: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 10, n. 2, p.105-113, 2018.

FONSECA, D.A.; BACKES, A.R.; ROSENFELD, M.F.; OVERBECK, G.E.; MÜLLER, S.C. Avaliação da regeneração natural em área de restauração ecológica e mata ciliar de referência. **Revista Ciência Florestal**, v. 27, n. 2, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509827733>.

FREITAS, R.O; BUSCARDO, E.; NAGY, L.; MACIEL, A.B.S.; CARRENHO, R.; LUIZÃO, R.C. Arbuscular mycorrhizal fungal communities along a pedo-hydrological gradient in a Central Amazonian terra firme forest. **Mycorrhiza**, v. 24, n. 1, p. 21-32, 2014.

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

GOMIDE, L. R.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. Análise da diversidade e similaridade de fragmentos florestais nativos na Bacia do Rio São Francisco em Minas Gerais. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 2, p. 127-144, 2006.

GOMIDE, P.H.O; SILVA, M.L.N; SOARES, C.R.F.S; CARDOSO, E.V; CARVALHO, F.; LELA, P.L.; MARQUES, R.M; STÜRMER, S.L. Fungos micorrízicos arbusculares em fitofisionomias no Pantanal do Nhecolândia, Mato Grosso do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 1114-1127, 2014.

GOTO, B.T.; JOBIM, K. Laboratório de Biologia de Micorrizas. Disponível em: < <http://glomeromycota.wixsite.com/lbmicorrizas> >. Acesso em: 09/09/2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso: agosto de 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Resolução nº 05, de 10 de outubro de 2002. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 11 out. 2002. Seção 1, p. 48-65. Acesso em: 09 setembro, 2022.

JENKINS, W.R.A. Rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Report**. v. 48, p. 692, 1964.

KLIRONOMOS, J.; ZOBEL, M.; TIBBETT, M.; STOCK, W.D.; RILLIG, M.C.; PARRENT, J.L.; MOORA, M.; KOCH, A.M.; FACELLI, J.M.; FACELLI, E.; DICKIE, I.A.; BEVER, J.D. Forces that structure plant communities: Quantifying the importance of the mycorrhizal symbiosis. **New Phytol**, v. 189, p. 366–370, 2011.

KÖPPEN, W. *Climatologia: con un estudio de los climas de la terra*. Fondo de Cultura Económica, México, p. 479, 1948.

LAMB, D.; GILMOUR, D. Rehabilitation and restoration of degraded forests. **Issues in forest conservation**. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources and The World Wide Fund for Nature. Inglaterra, 2003.

LAURINDO, L.K; de SOUZA, T.A.F.; SILVA, L.J.R; CASAL, T.B.; KORMANN, S.; PIRES, K.J.C. Fungos micorrízicos arbusculares. In: TANCREDO, S.L. (Ed.), **Indicadores da Qualidade do Solo em Sistemas Agroflorestais e Ecossistemas Associados**. PPGEAN, Curitiba, p.7-27, 2020.

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

LEAL, P.L.; STÜRMER, S.L.; SIQUEIRA, J.O. Switch of tropical Amazon forest to pasture affects taxonomic composition but not species abundance and diversity of arbuscular mycorrhizal fungal community. **Applied Soil Ecology**, v. 71, p. 72-80, 2013.

LENOIR, I.; FONTAINE, J.; SAHRAOUI, A.L.H. Arbuscular mycorrhizal fungal responses to abiotic stresses: A review. **Phytochemistry**, 2016.

LEHMANN, A.; RILLIG, M.C. Understanding mechanisms of soil biota involvement in soil aggregation: a way forward with saprobic fungi? **Soil Biology and Biochemistry**, v. 88, p. 298– 302, 2015.

LEWIS, S.L.; LLOYD, J.; SITCH, S.; MITCHARD, E.T.A.; LAURANCE, W.F. **Changing Ecology of Tropical Forests: Evidence and Drivers**. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics, v. 40, p. 529-549, 2009. Doi: [10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173345](https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173345).

LIMA, M.D.B.; OLIVEIRA, L.G.S.O.; SILVA, L.C.; NOBRE, C.P. Fungos micorrízicos arbusculares em diferentes vegetações no município de São Luís, Maranhão. **Estudos Ambientais e Agronômicos - Resultados para o Brasil vol.02**, Editora: Editora Pascal, 2020.

LIMA, M.O. Amazônia, uma história de impactos e exposição ambiental em paralelo à instalação de grandes empreendimentos na região. **Revista Pan Amazônica de Saúde**, v. 7, n. 2, p. 9-11, 2016.

LUTGEN, E.R.; MUIR-CLAIRMONT, D.; GRAHAM, J.; RILLIG, M.C. Seasonality of arbuscular mycorrhizal hyphae and glomalin in a western Montana grassland. **Plant and Soil**, The Hague, v.257, n.1, p.71-83, 2003.

MARSHALL, T.L. **The nature, development and significance of soil structure**. In: NEALE, G.J., ed. Transactions of joint meeting of commissions, 4 & 5. (ISSS). Palmerston North, New Zealand, p.243-257, 1962.

MARTHA JÚNIOR, G.B.; CONTINI, E.; NAVARRO, Z. **Caracterização da Amazônia Legal e macrotendências do ambiente externo**. p. 50, 2011.

MARTIN, S.L.; MOONEY, S.J.; DICKINSON, M.J.; WEST, H.M. Soil structural responses to alterations in soil microbiota induced by the dilution method and mycorrhizal fungal inoculation. **Pedobiologia**, v. 55, p. 271-281, 2012a.

MARTIN, S.L.; MOONEY, S.J.; DICKINSON, M.J.; WEST, H.M. The effects of simultaneous root colonisation by three *Glomus* species on soil pore characteristics. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 49, p.167-173, 2012b.

MELLONI, R.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Fungos micorrízicos arbusculares em solos de área de mineração de bauxita em reabilitação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 38, n. 2, p. 267-276, 2003.

MICOLLIS, A.; PENEIREIRO, F.M.; MARQUES, H.R.; VIEIRA, D.L.M.; ARCOVERDE, M.F.; HOFFMANN, M.R.; REHDER, T.; PEREIRA, A.V.B. Restauração Ecológica com Sistemas Agroflorestais: como conciliar conservação com produção. Opções

para Cerrado e Caatinga. **Instituto Sociedade, População e Natureza – ISPN/Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal – ICRAF**. Brasília, 2016.

MILLER, R.M.; KLING, M. The importance of integration and scale in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Plant Soil**, v. 226, p. 295-309, 2000.

MIRANDA, E.M.; SILVA, E.M.R.; SAGGIN JÚNIOR, O.J. Comunidade de Fungos Micorrízicos Arbusculares associados ao amendoim forrageiro em pastagens consorciadas no Estado do Acre, Brasil. **Acta Amazonica**, v.4, p. 13-22, 2010.

MIRANDA, J.C.C.; VILELA, L.; MIRANDA, L.N. Dinâmica e contribuição da micorriza arbuscular em sistemas de produção com rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 10, p. 1005-1014, 2005.

MORALES, A.L.; CASTILLO, C.R.; RUBIO, R.H.; GODOY, R.B.; ROUANET, J.L.M.; BORIE, F.B. Niveles de glomalina em suelos de dos ecosistemas del sur de Chile. **Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal**, v. 5, p. 37-45, 2005.

MOREIRA, F.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Editora UFLA, Lavras, MG, Brasil, 2006.

MOREIRA, H.M. **A importância da Amazônia na definição da posição brasileira no regime internacional de mudanças climáticas**, Programa de Pós-Graduação em Relações Internacionais “San Tiago Dantas”, São Paulo, 2009.

MOURA, J.B.; SOUZA, R.F.; VIEIRA JUNIOR, W.G.; LIMA, I.R.; BRITO, G.H. M; MARIN, C. Arbuscular Mycorrhizal Fungi Associated with Bamboo Under Cerrado Brazilian Vegetation. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 19, n. 4, p. 954- 962, 2019.

MUNYANZIZ, E.; KEHRI, H.K.; BAGYARAJ, D.J. Agricultural intensification, soil biodiversity and agro-ecosystem function in the tropics: the role of mycorrhiza in crops and trees. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 6, p. 77-85, 1997.

NOBRE, C.P.; COSTA, M.G. da; GOTO, B.T.; GEHRING, C. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with the babassu palm (*Attalea speciosa*) in the eastern periphery of Amazonia, Brazil. **Acta Amazonica**, v. 48, n. 4, p. 321-329, 2018.

NOBRE, C.P.; LÁZARO, M.L.; SANTO, M.M.E.; PEREIRA, M.G.; BERBARA, R.L.L. Agregação, glomalina e carbono orgânico na chapada do Araripe, Ceará, Brasil. **Revista Caatinga**, v. 28, p. 138-147, 2015.

NOURI, E.; BREUILLIN-SESSOMS, F.; FELLER, U.; REINHARDT, D. **Phosphorus and nitrogen regulate arbuscular mycorrhizal symbiosis in petunia hybrida**, 2014.

OEHL, F.; LACZKO, E.; OBERHOLZER, H.-R.; JANSKA, J.; EGLI, S. Diversity and biogeography of arbuscular mycorrhizal fungi in agricultural soils. **Biology and Fertility of Soils**, 2017. DOI: [10.1007/s00374-017-1217-x](https://doi.org/10.1007/s00374-017-1217-x)

OEHL, F.; SIEVERDING, E.; PALENZUELA, J.; INEICHEN, K.; SILVA, G. A. Advances in Glomeromycota taxonomy and classification. **IMA Fungus**, v. 2, n. 2, p. 191-199, 2011.

PAIXÃO, L.R.R.S. **Efeito de diferentes estratégias de restauração sobre o estoque de carbono na Amazônia maranhense**. Dissertação (Mestre em Agroecologia), Universidade Estadual do Maranhão, 2019.

PALUDO, R.; COSTABEBER, J.A. Sistemas agroflorestais como estratégia de desenvolvimento rural em diferentes biomas brasileiros. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 7, n. 2, p. 63-76, 2012.

PENG, S.; GUO, T.; LIU, G. The effects of arbuscular mycorrhizal hyphal networks on soil aggregations of purple soil in southwest China. **Soil Biology and Biochemistry**, v.57, p. 411 – 417, 2013.

PEREIRA, C.M.R.; SILVA, D.K.A.; FERREIRA, A.C.A.; GOTO, B.T.; MAIA, L.C. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Atlantic forest areas under different land uses. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.185, p. 245-252, 2014.

PINHEIRO, E.M.; NOBRE, C.P.; COSTA, T.V.; TAVARES, O.C.H.; ARAÚJO, J.R.G. Arbuscular mycorrhizal fungi in seedling formation of barbados cherry (*Malpighia emarginata* D.C.). **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 2, p. 370 -380, 2019.

PRASAD, M.; CHAUDHARY, M.; RAMAKRISHNAN, S.; MAHAWER, S.K. Glomalin: A miracle protein for soil sustainability. **Indian Farmer**, v. 5, n. 09, p. 1092-1100, 2018.

PURIN, S. **Fungos micorrízicos arbusculares: atividade, diversidade e aspectos funcionais em sistemas de produção de maçã**. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

PURIN, S.; RILLIG, M.C. The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalin: Limitations, progress, and a new hypothesis for its function. **Pedobiologia**, v. 51, n. 2, p. 123-130, 2007.

RAIJ, B.; VAN, J. C.; ANDRADE, H.; CANTARELLA, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Page Campinas: Instituto Agrônomo, 2001.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2022. URL <https://www.R-project.org/>.

REYES, H.A.; FERREIRA, P.F.A.; SILVA, L.C.; COSTA, M.G. da; NOBRE, C.P.; GEHRING, C. Arbuscular mycorrhizal fungi along secondary forest succession at the eastern periphery of Amazonia: Seasonal variability and impacts of soil fertility. **Applied Soil Ecology**, 2018.

RILLIG, M.C.; RAMSEY, P.W.; MORRIS, S.; PAUL, E.A. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to land-use change. **Plant and Soil**, v. 253, p. 293–299, 2003.

RILLIG, M.C.; STEINBERG, P.D. Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: a mechanism of habitat modification?. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 34, p. 1371-1374, 2002.

ROCHA, A.E.; ALMEIDA JÚNIOR, E.D.; MUNIZ, F.H.; LOPES, J.R.; ARAÚJO, E.P.; ROCHA, H.A.; DOURADO, G.F.; LUCENA, I.P.; CAMPO, D.P.; ANDRADE, J.B.; AROUCHE, M.M.B. Flora do Bioma Amazônico no Estado do Maranhão. In: CATUNDA, P.H.A.; DIAS, L.J.B.S. **Sumário Executivo do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão – ZEE**. Etapa bioma amazônico. São Luís- MA, IMESC, p.312-330. 2019.

ROCHA, V.M.; CORREIA, F.W.S.; FONSECA, P.A.M. Reciclagem de precipitação na Amazônia: um estudo de revisão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 1, p. 59-70, 2015.

ROSA, J.S.V. **A importância da disponibilidade de nutrientes na dinâmica de carbono abaixo do solo na Amazônia Central**. Dissertação (Mestre em Ciências de Florestas Tropicais), INPA, Manaus, 2018.

ROSENFELD, M.F.; MÜLLER, S.C. Ecologia funcional como ferramenta para planejar e monitorar restauração ecológica de ecossistemas. **Oecologia Australis**, v.24, n. 3, p. 550-565, 2020. Doi: <https://doi.org/10.4257/oeco.2020.2403.02>.

ROTHMUND, L.D.; ALMEIDA JÚNIOR, E.S.; LIMA, L.P.A.; MASSAD, H.A.B.; PALÁCIOS, R.S.; BIUDES, M.S.; MACHADO, N.G.; NOGUEIRA, J.S. Impacto da alteração da cobertura do solo nos parâmetros biofísicos no sul da Floresta Amazônica por sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.25, n. 15, 2019.

SAGGIN-JÚNIOR, O.J.; SIQUEIRA, J.O.; GUIMARÃES, P.T.G.; OLIVEIRA, E. Interação fungos micorrízicos versus superfosfato e seus efeitos no crescimento e teores de nutrientes do cafeeiro em solo não fumigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 27-36, 1994.

SANTANA, W.C.; BERNUCCI, L. L. B. **Caracterização dos Solos da Ilha de São Luís para fins de Pavimentação**, 2016. In: XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica/COBRAMSEG, p. 19-22, 2016.

SANTOS, V.L.S.; da SILVA, C.F.; PEREIRA, M.G.; BERBARA, R.L.L. Arbuscular mycorrhizal fungi community and glomalin in dry forest ecosystems, Brazil. **Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata**, v. 117, n. 1, p. 13-21, 2018.

SELOSSE, M.A; LE TACON, F. The land flora: a phototroph–fungus partnership? **Trends in Ecology & Evolution**, v. 13, p. 15-20, 1998.

SERRA, F.C.V; LIMA, P.B; ALMEIDA JUNIOR, E.B. Species richness in restinga vegetation on the eastern Maranhão State, Northeastern Brazil. **Acta Amazonica**, v. 46, n. 3, p.271-280, 2016. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201504704>.

SERRA, M.A.; FERNANDEZ, R.G. **Perspectivas de desenvolvimento da Amazônia: motivos para o otimismo e para o pessimismo**. **Economia e Sociedade**, v. 2, n. 2, p. 107-131, 2004.

SERI - Sociedade Internacional para a Restauração Ecológica. **Princípios da SER International sobre a restauração ecológica**. Grupo de Trabalho sobre Ciência e Política (Versão 2). Traduzido, português, 2004.

SIEVERDING, E. Function of mycorrhizas. In: SMITH, S.E.; READ, D.J. (Eds.). **Vesicular arbuscular mycorrhizae management in tropical agrosystems**. Eschborn, Technical Cooperation Federal of German, p. 57-70, 1991.

SILVA, C.F.; ARAÚJO, J.L.S.; SILVA, E.M.R.; PEREIRA, M.G.; SCHIAVO, J.A.; FREITAS, M.S.M.; SAGGIN-JUNIOR, O.J.; MARTINS, M.A. Comunidade de fungos micorrízicos arbusculares: diversidade, composição e glomalina em área revegetada com

sesbânia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, p. 423-431, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000200007>.

SILVA, A.H.; FAVARETTO, N.; CAVALIERI, K.M.V.; DIECKOW, J.; VEZZANI, F.M.; PARRON, L.M.; CHEROBIM, V.F.; MARIOTI, J.; NETO, H.F. Atributos físicos do solo e escoamento superficial como indicadores de serviços ambientais. In: PARRON, L. M. et al. *Serviços ambientais em sistemas agrícola e florestais do Bioma Mata Atlântica*. Brasília, DF: **Embrapa**, p. 71-83, 2015.

SILVA, F.C. **Atributos químicos e biológicos em cava de extração de argilas revegetadas com leguminosas e eucalipto**. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2009.

SILVA, V.C. **Influência de fungos Micorrízicos Arbusculares no crescimento e produção de óleo essencial em MENTHA X PIPERITA L. VAR. CITRATA (EHRH.) BRIQ.** Dissertação (Mestre em Produção Vegetal), Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2013.

SMITH, S.E.; READ, D.J. Mycorrhizal symbiosis. **Academic Press**, New York, p. 605, 1997.

SMITH, S.; READ, D. **Mycorrhizal Symbiosis**, 3rd edition. Cambridge University Press, Cambridge, p. 800, 2008.

SMITH, S.E.; SMITH, F.A. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales. **Annual Review of Plant Biology**, v. 62, p. 227-250, 2011.

SOUSA, C.S.; MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B.; LIMA, F.S. Glomalina: características, produção, limitações e contribuição nos solos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, suplemento 1, p. 3033-3044, 2012. DOI: [10.5433/1679-0359.2012v33Supl1p3033](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33Supl1p3033).

SOUSA, C. S.; MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; LIMA, F. S.; MAIA, L. C.; OEHL, F. Arbuscular mycorrhizal fungi in successional stages of Caatinga in the semi-arid region of Brazil. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 1, p. 137-148, 2014.

SOUZA, F.A.; GOMES, E.A.; VASCONCELOS, M.J.V.; SOUSA, S.M. **Micorrizas arbusculares: perspectivas para aumento da eficiência de aquisição de fósforo (P) em Poaceae (gramíneas)**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011.

SOUZA, R.G., MAIA, L.C., SALES, M.F., TRUFEM, S.F.B. Potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares oriundos de área de caatinga nativa e degradada por mineração, no Estado da Bahia. Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 26, p. 49-60, 2003.

SOUZA, R.G.; GOTO, B.T.; SILVA, D.K.A.; SILVA, F.S.B.; SAMPAIO, E.V.S.B.; MAIA, L.C. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and cattle manure in the establishment of *Tocotena selloana* Schum. In mined dune áreas. **European Journal of Soil Biology**, v. 46, p. 237-242, 2010.

STÜRMER, S.L.; SIQUEIRA, J.O. Species richness and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi across distinct land uses in Western Brazilian Amazon. **Mycorrhiza**, v. 21, p. 255-267, 2011.

STÜRMER, S.L.; SIQUEIRA, J.O. Fungos Micorrízicos. In: MOREIRA, F.M.S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜRMER, S.L. **O Ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal**. Lavras: Editora UFLA, p. 289-311, 2013.

TANG, M.; CHEN, H.; HUANG, J.C.; TIAN, Z.Q.A.M. Fungi effects on the growth and physiology of *Zea mays* seedlings under diesel stress. **Soil Biol**, v. 41, p. 936-940, 2009.

TAVARES, R.C. **Funcionalidade das micorrizas arbusculares em cafezais agroecológicos**. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Viçosa, 2011.

TAWARAYA, K.; TAKAYA, Y.; TURJAMAN, M.; TUAH S.J.; LIMIN, S.H.; TAMAI, Y.; CHA, J.Y.; WAGATSUMA, T.; OSAKI, M. Arbuscular mycorrhizal colonization of tree species grown in peat swamp forests of Central Kalimantan, Indonesia. **Forest Ecology and Management**, v. 182, p. 381-386, 2003.

TEDERSOO, L.; RAMÍREZ, S.S.; KÖLJAG, U.; BAHRAM, M.; DÖRING, M.; SCHIGEL, D.; MAY, T.; RYBERG, M.; ABARENKOV, K. High-level classification of the Fungi and a tool for evolutionary ecological analyses. **Fungal Diversity**, 2018.

TEKAYA, M.; MECHRI, B.; MBARKI, N.; CHEHEB, H.; HAMMAMI, M.; ATTIA, F. Arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* influences key physiological parameters of olive trees (*Olea europaea* L.) and mineral nutrient profile. **Photosynthetica**, v. 55, n. 2, p. 308-316, 2017.

TRENTIN, B.E. **A nucleação como alternativa à restauração passiva ao reflorestamento com nativas para a restauração florestal**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2018.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil science**, v. 37, n. 1, p. 29-38, 1934.

WINAGRASKI, E.; KASCHUK, G.; MONTEIRO, P.H.R.; AUER, G.; HIGA, A.R. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em ecossistemas florestais do Brasil: uma revisão. **Cerne**, v.25, n.1, p.25-35. 2019. DOI:

WOOD, S.N. **Generalized Additive Models: An Introduction with R** (2nd edition). Chapman and Hall/CRC, 2017.

WRIGHT, S.F.; UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science**, v. 161, n.8, p. 575-586, 1996.

WU, Q-S; LI, Y; ZOU, Y-N; HE, X-H. Arbuscular mycorrhiza mediates glomalin-related soil protein production and soil enzyme activities in the rhizosphere of trifoliolate orange grown under different P levels. **Mycorrhiza**, 2014. DOI: [10.1007/s00572-014-0594-3](https://doi.org/10.1007/s00572-014-0594-3).

WWF – Brasil. **Restauração Ecológica no Brasil: Desafios e Oportunidades**, 2017.

ZHANG, Y.; GUI, L. D.; LIU, R. J. Survey of arbuscular mycorrhizal fungi in deforested and natural forest land in the subtropical region of Dujiangyan, southwest China. **Plant and Soil**, v. 261, p. 257-263, 2004.

ZANGARO, W.; ANSANELO, A.P.; LESCANO, L.E.A.M.; ALVES, R.C.; RONDINA, A.B.L.; NOGUEIRA, M.A. Infection intensity, spore density and inoculum potential of arbuscular mycorrhizal fungi decrease during secondary succession in tropical Brazilian

ecosystems. *Journal of Tropical Ecology*, v.28, n. 5, p. 453-462, 2012. Doi:[10.1017/S0266467412000399](https://doi.org/10.1017/S0266467412000399).

ZOU, Y.N.; WU, Q.S.; HUANG, Y.M.; NI,Q.D.; HE, X.H. Mycorrhizal-mediated lower proline accumulation in *Poncirus trifoliata* under water deficit derives from the integration of inhibition of proline synthesis with increase of proline degradation. **PLoS One**, v. 8, n. 11, p. e80568, 2013.

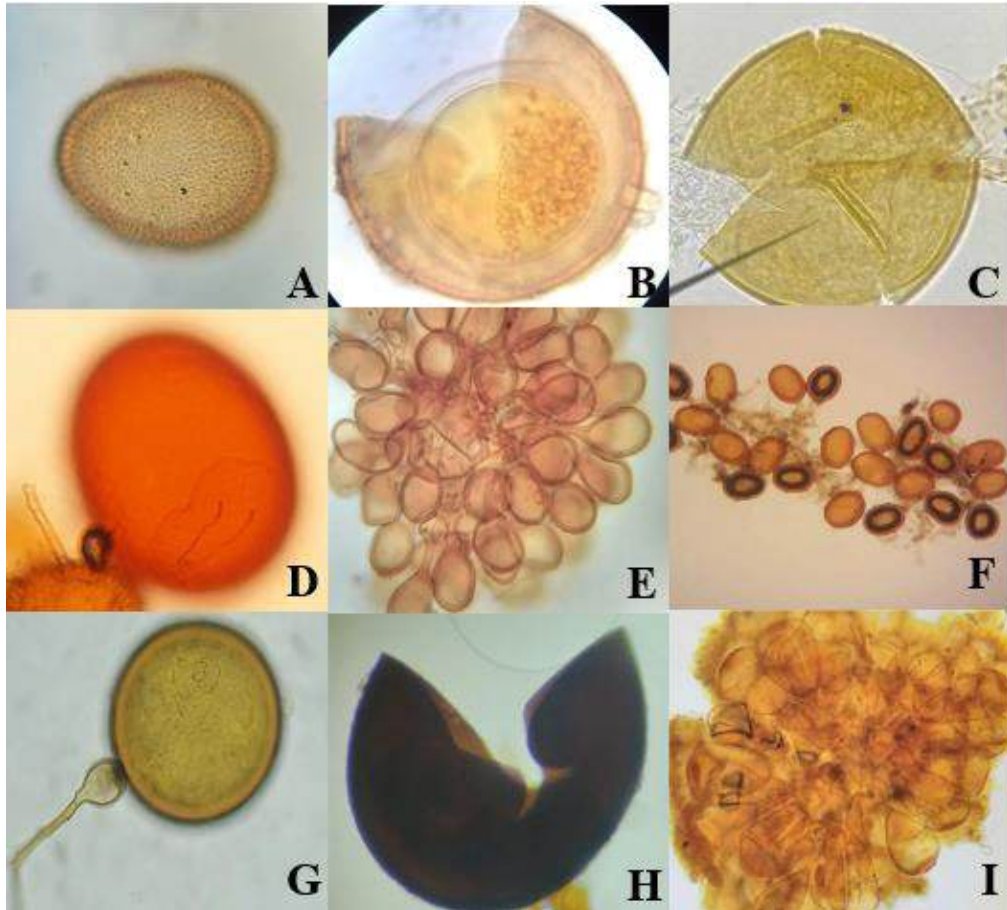
ZUUR, A.F.; IENO, E.N.; WALKER, N.J.; SABELIEV, A.A.; SMITH, G. Mixed effects models and extensions in ecology with R. **Springer**, New York, 2009.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Espécies plantadas nos tratamentos de nucleação e sistemas agroflorestais.

Nome Vulgar	Nome Científico	Uso
Angelim	<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	Madeira
Bananeira	<i>Musa</i> spp.	Alimento, matéria orgânica
Barrigudeira	<i>Ceiba pentandra</i> L. Gaertn	Medicinal, fibra
Bordão de Velho	<i>Samanea tubulosa</i> Benth.	Madeira, lenha
Cajueiro	<i>Anacardium occidentale</i> L.	Alimento, matéria orgânica
Gliricídia	<i>Gliricidia sepium</i> Jacq.	Alimento, forragem, adubo verde
Ipê	<i>Handroanthus</i> sp. Mattos	Madeira, ornamental
Mandioca	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	Alimento, matéria orgânica
Mangueira	<i>Mangifera indica</i> L.	Alimento, matéria orgânica
Margaridão	<i>Tithonia diversifolia</i> Hemsl	Medicinal, ornamental
Moringa	<i>Moringa oleifera</i> L.	Alimento, medicinal
Nim	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss	Madeira, medicinal, cosméticos, fertilizante, reflorestamento
Paricá	<i>Schizolobium amazonicum</i> Herb	Madeira, celulose e papel, medicinal, recuperação e restauração de áreas
Pitomba	<i>Talisia esculenta</i> (A.St.-Hil.) Radlk	Alimento, matéria orgânica
Sabiá	<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth.	Alimento, madeira, apícola, celulose e papel, medicinal, recuperação e restauração de áreas
Urucum	<i>Bixa orellana</i> L.	Medicinal, cosméticos, corante natural

APÊNDICE B – Espécies de FMA detectadas nas áreas de restauração natural, nucleação, sistema agroflorestal e floresta secundária: a) *Acaulospora rehmii*; b) *Ambispora appendicula*; c) *Acaulospora spinosa*; d) *Fuscutata heterogama*; e) *Glomus* sp *pachyscaule*; f) *Glomus trufemii*; g) *Orbispora pernambucana*; h) *Racocetra gregária* e i) *Sclerocystis sinuosa*.



Fonte: NOBRE, C.P.