



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA BACHARELADO

CINTYA FERREIRA SANTOS

**COMUNIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES SOB  
DIFERENTES FORMAS DE USO DO SOLO NO BIÔMA AMAZÔNICO**

SÃO LUIS – MA

2023

CINTYA FERREIRA SANTOS

**COMUNIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES SOB  
DIFERENTES FORMAS DE USO DO SOLO NO BIÔMA AMAZÔNICO**

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Maranhão, para obtenção do grau de bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr<sup>a</sup>. Camila Pinheiro Nobre

SÃO LUIS – MA

2023

Santos, Cintya Ferreira.

Comunidade de fungos micorrízicos arbusculares sob diferentes formas de uso do solo no bioma amazônico / Cintya Ferreira Santos. – São Luís, 2023.

57f

Monografia (Graduação em Engenharia Agrônoma) - Universidade Estadual do Maranhão, 2023.

Orientadora: Profa. Dra. Camila Pinheiro Nobre.

1.Processos ecológicos. 2.Micorrizas. 3.Qualidade do solo.  
4.Biodiversidade. I.Título.

CDU: 631.466(811.3)

CINTYA FERREIRA SANTOS

**COMUNIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES SOB  
DIFERENTES FORMAS DE USO DO SOLO NO BIÔMA AMAZÔNICO**

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do  
Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual  
do Maranhão, para obtenção do grau de bacharel em  
Agronomia.

**Aprovada em: 18/01/2023**

**Dr<sup>a</sup>. Camila Pinheiro Nobre – Orientadora**

Professora UEMA

Msc. Eduardo Mendonça Pinheiro

Professor UEMA

Msc. Claudio Adriano de Jesus Nascimento

Professor IEMA/Vargem Grande

Dedico a todos que contribuíram à minha formação, em especial a minha família por todo amor e apoio.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me dado a vida e forças para seguir em frente sempre que a vontade de desistir teimava em persistir.

A minha família que sempre me apoiou e incentivou a ser alguém melhor, minha mãe Juciara Ferreira, que nunca mediu esforços para ajudar seus filhos, meu maior exemplo de resiliência e perseverança e meu pai, Clemilton Costa, por me ajudar da forma que podia. Ao meu irmão, Clemilton Júnior, que sempre me apoiou e dedicou do seu tempo para me ajudar realizar a fase inicial desse projeto quando mais precisei. A minha irmã, Jéssica Santos, por sempre estar ao meu lado.

A minha querida orientadora, Dra. Camila Pinheiro Nobre, por todos os ensinamentos, incentivo e por ver em mim o potencial que duvidava ter.

As minhas colegas de laboratório por todo companheirismo ao longo da graduação. Em especial a Layla Gabrielle que me ensinou muito ao longo desse ano e sua ajuda foi fundamental neste projeto.

A minha amiga, Natália Lima, todos os momentos difíceis que enfrentamos ao longo desses anos nos moldaram e contribuíram para chegarmos a este momento que tanto almejávamos, compartilhar isso com você foi um imenso prazer.

Aos amigos que fiz durante os anos de graduação que sempre estiveram ao meu lado, tenho profundo respeito e admiração por cada um, Tharcisio Campos, Ramon Batista, Gabriel Garcês, Gabriel Dias, Anderson Caldas, Victoria Kelly, Flávia Myllena e Jossanya Benilsy.

As minhas amigas queridas, Millena Cruz, Leane Pereira e Jéssica Araújo, por sempre me alegrarem, cuidarem de mim e motivarem a nunca desistir dos meus sonhos.

A toda turma 2017.1.

Ao grupo GINTEGRA por disponibilizarem o local de estudo.

Ao Curso de Agronomia por todo conhecimento adquirido ao longo desses anos.

À Universidade Estadual do Maranhão.

E a todos que contribuíram direta e/ou indiretamente na minha formação.

Muito obrigada!

*“Even strength must bow to wisdom sometimes.”*

*Rick Riordan, The Lightning Thief*

## RESUMO

Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são organismos presentes em diversos ecossistemas e com papel fundamental para a manutenção da produtividade dos ecossistemas vegetais terrestres devido à associação com a maioria das espécies de plantas conhecidas. Estimar a ocorrência de espécies de FMA é uma importante etapa para ações futuras de conservação ambiental e aumento da produção. O objetivo deste trabalho consiste em realizar a identificação das comunidades de fungos micorrízicos arbusculares em diferentes usos da terra na Amazônia Maranhense. As coletas de solo foram realizadas no final do período chuvoso (maio/2022) na Unidade de Referência Tecnológica da Embrapa Cocais, município de Pindaré-Mirim (MA), com seleção de três áreas sob diferentes usos: I) Área de mata (M), II) Área de transição (T), III) Área de Sistema Agrossilvipastoril (SAF). Dez amostras compostas de solo de cada tipo de uso do solo, na profundidade 0-20 cm, foram tomadas para as análises. Foi realizada a extração e identificação morfológica de glomerosporos, estimativa de índices ecológicos e quantificação de glomalina – fração facilmente extraível. Os dados obtidos foram submetidos a teste de homogeneidade, análise de variância e teste de Tukey, a 5% de probabilidade. A densidade de glomerosporos variou entre 50 e 190 em 50g<sup>-1</sup> de solo nas diferentes áreas, entretanto não foram observadas diferenças estatísticas significativas. O gênero *Glomus* apresentou maior diversidade (11 espécies), seguido dos gêneros *Acaulospora* e *Scutellospora*. O tipo de uso do solo influenciou a comunidade de FMA, especialmente na composição de espécies de FMA, com maior riqueza observada em SAF.

Palavras chave: Processos ecológicos. Micorrizas. Qualidade do solo.

## **ABSTRACT**

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are organisms present in several ecosystems and play a fundamental role in maintaining the productivity of terrestrial plant ecosystems due to their association with most known plant species. Estimating the occurrence of AMF species is an important step for future environmental conservation actions and increased production. The objective of this work is to carry out the identification of communities of arbuscular mycorrhizal fungi in different land uses in the Maranhão Amazon. Soil collections were carried out at the end of the rainy season (May/2022) at the Technological Reference Unit of Embrapa Cocais, in the municipality of Pindaré-Mirim (MA) and three areas were selected under different uses: I) Forest area (M), II) Transition Area (T), III) Agrosilvopastoral System Area (SAF). Ten composite soil samples from each type of land use, at a depth of 0-20 cm, were taken for the analyses. Extraction and morphological identification of glomerospores, estimation of ecological indices and quantification of glomalin – easily extractable fraction – were carried out. The data obtained were submitted to homogeneity test, analysis of variance and Tukey test, at 5% probability. Glomerospore density varied between 50 and 190 in 50g-1 of soil in different areas. The genus *Glomus* showed the highest richness with 11 species of AMF, followed by the genera *Acaulospora* and *Scutellospora*. The community of arbuscular mycorrhizal fungi varied as a result of land use. The agrosystem presented greater diversity of species.

**KEYWORDS:** Ecosystem services. Mycorrhiza. Soil quality.

## LISTA DE FIGURA

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1:</b> Esquema da área experimental.....   | 32 |
| <b>Figura 2:</b> Número de glomerosporos ( $50\text{g}^{-1}$ de solo) em áreas de Sistema Agrossilvipastoril (SAF), de Mata e Pastagem em transição no município de Pindaré – Mirim, MA, durante o período chuvoso (maio/2022) ..... | 35 |

## LISTA DE TABELA

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 1:</b> Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em áreas Agrossilvipastoril, Mata e Pastagem em transição no município de Pindaré – Mirim, MA, durante o período chuvoso (maio/2022) ..... | 36 |
| <b>Tabela 2:</b> Índices de diversidade de Shannon e equitabilidade de Pielou em diferentes usos do solo no município de Pindaré – Mirim, MA, durante período chuvoso (maio/2022) .....                     | 37 |
| <b>Tabela 3:</b> Parâmetros químico do solo em diferentes usos do solo no município de Pindaré – Mirim, MA, durante período chuvoso (maio/2022) .....   | 38 |

## **LISTA DE SIGLAS**

Al Alumínio

EE-BRSP Eextração da Fração Facilmente Extraível

FMA Fungos Micorrízicos Arbusculares

FO Frequência de Ocorrência

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MA Micorriza Arbuscular

MS Mata secundária

P Fósforo

pH Potencial Hidrogeniônico

PVLG Álcool-Polivinílico e Lactoglicerol

SAF Sistema Agroflorestal

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| CAPITULO 1: REVISÃO DE LITERATURA .....  | 14 |
| 1.1-Fungos micorrízicos arbusculares.....  | 15 |
| 1.2-Fma e seus serviços ecossistêmicos.....  | 16 |
| 1.3-Amazônia maranhense e Fungos Micorrízicos.....   | 18 |
| REFERÊNCIAS.....   | 19 |
| CAPITULO 2: Comunidade de fungos micorrízicos arbusculares sob diferentes formas de uso do solo no bioma amazônico ..... | 25 |
| Introdução.....  | 28 |
| Material e Métodos.....  | 30 |
| Resultados.....  | 33 |
| Discussão.....   | 37 |
| Conclusão.....   | 41 |
| Referências.....   | 41 |
| ANEXO – Normas para submissão do Periódico Acta Amazônica  |    |

## **CAPÍTULO 1: REVISÃO DE LITERATURA**

### 1.1 Fungos micorrízicos arbusculares

O solo é um recurso natural fundamental para todos os seres existentes, nele encontra-se um universo de milhares de microrganismos que possuem diversas relações tróficas com as plantas (Melo et al., 2017; Moura et al., 2018). Entre esses microrganismos pode se destacar os fungos e bactérias como os principais, onde, algumas espécies habitam a camada mais superficial do solo, a rizosfera, beneficiando as plantas em que estão associadas por exemplo; atuando como promotores de crescimento e sanidade (Lim; Kim, 2013; Kong, 2017).

Nos mais diversos ecossistemas terrestres pode-se encontrar os Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA), estes fungos cosmopolitas podem ocorrer desde florestas tropicais e temperadas a áreas desérticas e degradadas, pradarias e agrossistemas (Nobre et al., 2014; Davison et al., 2015). Pertencem ao filo Glomeromycota e a classe glomeromycetes, são considerados organismos biotróficos obrigatórios que forjam uma simbiose mutualista, chamada de micorriza arbuscular, com as raízes de angiospermas, gimnospermas, além de alguns representantes de briófitas e pteridófitas (Souza et al., 2010). Este termo micorriza possui centro de origem grega onde *mykes* = (fungo) e *rhizae* = (raiz) e foi utilizado pela primeira vez por Frank em 1885 para se referir as associações simbióticas mutualísticas citadas (Moreira; Siqueira, 2006).

Atualmente, são registradas, aproximadamente, 350 espécies de FMA (Wijayawardene et al. 2022) e estes fungos podem se associar em até 80% das espécies vegetais de vários grupos, dado que caracteriza esta associação como a mais comumente encontrada na natureza (Kivlin et al., 2011; van der Heijden et al., 2015). Também denominados de fungos endomicorrízicos, estes fungos colonizam as células vegetais das raízes e formam diversas estruturas, dentre elas o arbúsculo, que possui como função ser uma comunicação direta entre a planta e fungo, a fim de tornar mais eficiente a troca entre nutrientes do solo e os exsudatos que são absorvidos pelo fungo (Miranda, 2008; Wu, 2017).

Os FMA podem ser considerados bioindicadores da qualidade do solo, definida como capacidade do solo de promover a produtividade de alimentos, aliada à manutenção da saúde dos seres vivos e a qualidade física, química e biológica do ambiente. Assim, o manejo agrícola pode atuar, de forma direta e indireta, sobre a qualidade do solo, que pode ser avaliada com uso de bioindicadores sensíveis a esses manejos. (Gonçalves et al., 2019; Jansa et al., 2019; Aslani et al., 2019).

## 1.2 - Fungos Micorrízicos Arbusculares e seus Serviços Ecossistêmicos

Nas últimas décadas a importância funcional e ecológica dos fungos micorrízicos arbusculares vem sendo reconhecida (Carneiro et al., 2011), por serem benéficos no solo e ao vegetal, aumentando o nível de tolerância a situações de estresse abiótico (Barea et al., 2013). Durante a interação micorrízica, o fósforo é o principal nutriente utilizado pelas plantas por meio da absorção pelos FMA, além disso também se beneficiam da utilização dos produtos que são oriundos da fotossíntese realizada pelas plantas (Walder et al., 2012; Brito et al., 2017).

A interação entre a planta e fungo, onde, o fungo recebe produtos da fotossíntese vegetal que vão auxiliar na manutenção e desenvolvimento de novas estruturas morfológicas (Smith; Read, 1997) e em troca atuam como uma extensão da raiz da planta a fim de melhorar a superfície de contato com o solo e otimizar a absorção de água e nutrientes, é conhecida por associação simbiótica micorrízica (Silva, 2013; Reyes et al., 2018; Moura et al., 2019). Os benefícios dessa associação ainda se estende à resistência ao estresse hídrico, aumento da produtividade, absorção do fosforo, tolerância a adversidades e auxilia na reabilitação de áreas florestais degradadas através do aumento da sua biomassa (Garg; Pandey, 2014; Winagraski et al., 2019; Lucas, 2022).

As hifas formadas desses fungos constituem uma rede extensa que explora o solo em busca de nutrientes e água, sendo capaz de conectar raízes de mesmas ou diferentes plantas. Geralmente as raízes das plantas estão limitadas a um determinado espaço geográfico consideravelmente inferior se comparado a extensão que pode ser alcançada pelos micélios dos fungos micorrízicos (Schubert; Hayman, 1986; van der Heijden et al., 2015). As hifas produzem estruturas de resistência denominada de esporos e estes podem sobreviver durante anos nos solos. (Miranda, 2012; Lucas, 2022).

Além de atuarem diretamente na nutrição vegetal, as hifas apresentam de outras funções ecológicas como: servir de alimento para outros organismos; atuam na ciclagem de nutrientes através da troca de nutrientes de raízes mortas para a serrapilheira; previnem a lixiviação de nutrientes; contribuem para a dispersão de bactérias (van der Heijden; Horton, 2009) e na produção de glomalina, uma glicoproteína de produção exclusiva desse filo (Wright et al., 1996).

Os FMA são fundamentais no ecossistema, estes atuam de forma decisiva na biodiversidade vegetal, visto que apresentam capacidade de induzir variadas respostas no desenvolvimento de espécies vegetais em um mesmo habitat, desta forma afetando tanto a diversidade quanto a produtividade dos ecossistemas, uma vez que também atuam na definição de nichos ecológicos (van der Heijden et al., 1998; 2008). Como proporcionam diversos

benefícios nutricionais e não nutricionais, estes fungos são considerados componentes importantes da microbiota edáfica, entre os quais pode-se citar o aumento do crescimento vegetal, proteção contra patógenos radiculares; contribuem para a qualidade do solo por meio da manutenção da sua estrutura, bem como a estabilização dos agregados através da produção da glomalina (Smith; Read, 2008; Araújo, 2019).

A glomalina é uma glicoproteína que age como agente cimentante, na união de partículas minerais do solo, produzindo agregados mais estáveis (Purin, 2005; Santos, 2018), é produzida para a sobrevivência dos fungos, responsável por conferir a proteção contra a dessecação, podendo ser encontrada em 80% das paredes das hifas dos FMA. Em vista disso, quando os fungos morrem ou ficam inoperantes, a glomalina presente se acumula no solo por meio da decomposição realizada pelos microrganismos edáficos (Santos, 2018).

Sua atuação no solo é de suma importância, pois, como já dito, ela é uma das substâncias fundamentais no processo de agregação. Devido aos seus diversos benefícios, principalmente relacionados ao solo, a comunidade científica vem desenvolvendo inúmeras pesquisas acerca da contribuição desta proteína produzida pelas hifas dos FMA (Santos, 2018).

O fósforo, que pode possuir baixa disponibilidade dependendo do tipo de solo, macronutriente fundamental para o desenvolvimento vegetal, é um dos principais nutrientes que possui sua absorção pelas plantas aumentada devido a associação micorrízica (Hu et al., 2015; Withers, 2018; Jesus et al., 2019; Barra et al., 2019; Lima, 2020). Além disso, esta associação também participa da ciclagem de nutrientes nos ecossistemas e recuperação e/ou manutenção da estrutura do solo (Freschet et al., 2020; Silva et al., 2021). As hifas de FMA podem absorver maior quantidade de fosfatos que as raízes das plantas, e podem armazená-los na forma de polifosfatos e transferi-los continuamente às plantas (Lima, 2020).

Os fungos micorrízicos também são um componente de grande importância no ciclo do carbono do solo, uma vez que eles influenciam diretamente a produção primária agrícola graças ao seu beneficiamento na absorção de água e nutrientes, biomassa e estabilidade dos agregados (Zhu e Miller, 2003). Também atuam na fixação do carbono através da glomalina, ao estocar este elemento na sua estrutura a glomalina contribui para o sequestro de carbono no solo (Cornis, 2002). O sequestro de carbono depende, ainda, das práticas de manejo adotada, fatores edafoclimáticos e diversidade de espécies de plantas (Zhu e Miller, 2003; Pereira, 2013).

Este microrganismo é um sensível indicador de mudanças do solo, respondendo aos métodos de manejo empregados e trazendo à tona discussões sobre as melhores estratégias de manejo e uso do solo (Verbruggen et al., 2012; Xing et al., 2018). A diversidade das espécies de plantas pode estar diretamente relacionada com as características quantitativas desses

fungos, como densidade de esporos, colonização micorrízica e potencial de inoculação (Moraes et al., 2019). Obter informações como essas são essenciais para o entendimento de como a diversidade de espécies de plantas na fase de pastagem podem trazer benefícios ao solo e, por conseguinte, afetar a produtividade da cultura sucessora (Pires et al., 2021).

Estes fungos desempenham importante papel para manutenção da diversidade e produtividade dos ecossistemas vegetais terrestres (Souza et al., 2010). Podem atuar indiretamente no processo de recuperação de áreas compactadas, por meio dos efeitos nas propriedades do solo resultantes de suas extensas influências na nutrição, crescimento e adaptação das plantas aos estresses bióticos e abióticos dos agroecossistemas (Gomide et al., 2009; Miransari et al., 2009).

A degradação dos ecossistemas é resultado de vários fatores que agem sobre o solo e sua vegetação, mudando suas propriedades físico-químicas e principalmente biológicas, prejudicando o funcionamento de vários sistemas simbióticos, a exemplo as micorrizas arbusculares (Lima et al., 2007; Siqueira et al., 2007). São considerados ainda como referência crítica para que a recuperação da cobertura vegetal de áreas degradadas seja eficaz, seja através da introdução de plantas inoculadas com isolados exóticos efetivos (Pouyurojas; Siqueira; Santos, 2006) ou por meio do manejo de comunidades nativas (Schreiner et al., 2007).

### **1.3 - Amazônia Maranhense e Fungos Micorrízicos Arbusculares**

A Floresta Amazônica possui uma extensão de aproximadamente 5 milhões de Km<sup>2</sup> e estende-se por oito países na América do Sul, sendo eles: Brasil, Guiana, Guiana Francesa, Suriname, Venezuela, Equador, Peru e Bolívia, onde a maior parte, sendo cerca de 59% do território total da floresta amazônica faz parte do território brasileiro (Alfaia et al., 2008).

O Bioma Amazônico é mundialmente conhecido por possuir a maior diversidade biológica e riqueza florestal do mundo, oferecendo biodiversidade, recursos hídricos, macro e micro-organismos, diversidade vegetal e animal a disposição, tornando-se muitas vezes objeto de estudos para ciência e tecnologia (Cruz, 2010; Fonseca, 2013; Pereira et al., 2017). O estado do Maranhão está localizado na porção ocidental da Amazônia Brasileira, possuindo aproximadamente 35% do bioma no território do estado maranhense no qual estão incluídos 62 municípios (IBGE, 2002; Embrapa, 2016).

Embora seja considerada a maior área de floresta do mundo, há poucos trabalhos que abordam a diversidade dos fungos micorrízicos arbusculares nesse bioma, principalmente no estado do Maranhão. Rocha et al. (2020) realizaram estudo sobre a ocorrência dos fungos micorrízicos arbusculares em um plantio de cupuaçu no Amazonas, onde visaram avaliar as

taxas de colonização dos FMA, bem como sua diversidade em seu ecossistema. Em outro estudo, Moreira et al. (2019) avaliaram a importância da associação micorrízica arbuscular em espécies nativas cultivadas visando a revegetação e recuperação de solos degradados em região do Amazonas.

No Maranhão, Nobre et al. (2018) realizaram trabalho abordando a possível relação entre a palmeira babaçu (*Attalea speciosa* Mart) e os fungos micorrízicos arbusculares, a fim de explicar a associação bem sucedida entre os dois e o potencial sucesso ecológico da palmeira em áreas de degradação. Das espécies de fungos micorrízicos que são conhecidas atualmente, 263 são de ocorrência no Brasil, sendo ainda, 90 na região amazônica e 51 no estado do Maranhão (Silva et al., 2014; Azevedo et al., 2014; Nobre et al., 2010, 2018; Reyes et al., 2018).

## REFERÊNCIAS

ALFAIA, S. S.; KATELL, U., RODRIGUES, M. R. L. Manejo da fertilidade dos solos da Amazônia. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: UFLA, p. 117-141, 2008.

AZEVEDO, J. M. A.; ASSIS, G. M. L.; SAGGIN JÚNIOR, O. J.; AZEVEDO, H. S. F. S. Riqueza e frequência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares em genótipos de amendoim forrageiro no Acre, Norte do Brasil. **Acta Amazonica**, v. 44, n. 2, p. 157-168, 2014.

BARRA, P. J., PONTIGO, S., DELGADO, M., PARRAALMUNA, L., DURAN, P. A., VALENTINE, A. J., JORQUERA, M. A., MORA, M. L., 2019. Phosphobacteria inoculation enhances the benefit of P-fertilization on *Lolium perenne* in soils contrasting in P-availability. **Soil Biology and Biochemistry** [online] 136, 107516. Disponível:<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.06.012>.

CARNEIRO, R. F. V.; MARTINS, M. A.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L. Inoculação micorrízica arbuscular e adubação fosfatada no cultivo de forrageiras consorciadas. **Archivos Zootecnia**, Córdoba, v. 60, n. 232, p. 1191-1202, 2011.

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

CRUZ, C. B. N. **Seleção dos clones produtores de amilases e proteases presentes na biblioteca Metanogênica de Terra Preta de Índio** [Dissertação de mestrado em Diversidade Biológica, Universidade Federal do Amazonas – UFAM]. 2010.

FONSECA, T. R. B. **Avaliação do Crescimento, Produção de Basidioma e Determinação da Atividade Proteolítica Em Resíduos Agroindustriais** [Dissertação Mestrado em

Biotecnologia]. Universidade Federal do Amazonas (UFAM) - Instituto de Ciências Biológicas, Manaus. 2013.

FRESCHET, G., PAGÈS, L., IVERSEN, C., COMAS, L., REWALD, B. et al. 2020. A starting guide to root ecology: strengthening ecological concepts and standardizing root classification, sampling, processing and trait measurements. Disponível em: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal02918834>

GARG, N.; PANDEY, R. Effectiveness of native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi on nutrient uptake and ion homeostasis in salt-stressed *Cajanus cajan* L. (Millsp.) genotypes. **Mycorrhiza**, v. 25, n. 03, p. 165-180, 2014.

GONÇALVES, V.A., MELO, C.A.D., ASSIS, I.R., FERREIRA, L.R., SARAIVA, D.T., 2019. Biomassa e atividade microbiana de solo sob diferentes sistemas de plantio e sucessões de culturas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 62. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22491/rca.2019.261>

HU, J., YANG, A., ZHU, A., WANG, J., DAI, J., WONG, M. H., LIN, X., 2015. Arbuscular mycorrhizal fungal diversity, root colonization, and soil alkaline phosphatase activity in response to maize-wheat rotation and no-tillage in North China. **Journal of Microbiology**, 53 (7), 454-461

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.

JANSA, J., FORCZEK, S.T., ROZMOŠ, M., PÜSCHEL, D., BUKOVSKÁ, P. HRŠELOVÁ, H., 2019. Arbuscular mycorrhiza and soil organic nitrogen: network of players and interactions. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**. 6:10. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40538-019-0147-2>

JESUS, K. N., ALBUQUERQUE, E. R. G. M., SAMPAIO, E. V. S. B., SALES, A., 2019. Estoques de carbono em solos de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física** 12 (3), 714-721.

KONG, B. Study of the microbial community structure in the rhizosphere of understory dwarf bamboo (*Sasa kurilensis*) in a *Betula ermanii* forest, northern Japan. 2017. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais), apresentada a Hokkaido University, 2017.

LIM, J.-H.; KIM, S.-D. Induction of Drought Stress Resistance by Multi-Functional PGPR *Bacillus licheniformis* K11 in Pepper. **The Plant Pathology Journal**. J, v. 29, n. 2, p. 201–208, 2013.

LIMA, R. L. F. A. 2020. Micorrizas arbusculares e absorção de fósforo em função da capacidade de fixação de fósforo do solo e da competição com a microbiota. **Revista Brasileira de Geografia Física** 13 (3) 1062-1079

LIMA, S. S. de; LEITE, L. F. C.; OLIVEIRA, F. das C.; CASTRO, A. A. J. F.; COSTA, D. B. da; GUALTER, R. M. R.. Teores de nutrientes da serapilheira e do solo sob sistema agroflorestal em área de transição no norte do Piauí. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, p. 1034- 1037, 2007.

LUCAS, L. S. Fungos micorrízicos arbusculares. *In*: LUCAS, L. S. **BIODIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES SOB SOLO DE CERRADO**. Tese (Mestrado em Ciências Agrárias) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, [S. l.], 2022.

MELO, C. D, PIMENTEL, R., WALKER, CHRISTOPHER, RODRÍGUEZ-ECHEVERRÍA, S., FREITAS, H., BORGES, P. A. V. Diversidade e distribuição de fungos micorrízicos arbusculares ao longo de um gradiente de uso do solo na Ilha Terceira (Açores). **Mycological Progress**, v. 19, p. 643 - 656. 2020. <https://doi.org/10.1007/s11557-020-01582-8>.

MELO, V.F.; SILVA, D.T.; EVALD, A.; ROCHA, P.R.R. 2017. **Chemical and biological quality of the soil in different systems of use in the savanna environment**. Revista Agro@mbiente on-line, 11(2): 101-110.

MIRANDA, J. C. C. Embrapa Cerrados. Cerrado: Micorríza Arbuscular: Ocorrência e manejo. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 173 p.

MORAES J. M. A. S.; ZANCHI, C. S. G. C., MORETTI, C. F., BARBOSA, M. V, SILVA, A. O, PACHECO, L. P.; CARNEIRO, M. A. C.; OLIVERIRA, R. L.; KEMMELMEIER, K., SOUSA, E. D. Fungos micorrízicos arbusculares em sistemas integrados de pecuária com consórcio na fase de pastagem no Cerrado. **Rhizosphere**, v. 11, 100165. 2019b. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2019.100165>

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

MOREIRA, F. W.; OLIVEIR, C. M.; MAIA, J. L. Z.; OLIVEIRA, L. A.. Micorrizas arbusculares e composição mineral das folhas de espécies usadas na recuperação de clareiras da Província de Urucu, Amazonas. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.10, n.5, p.47-55, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.005.0005>

MOURA, J. B. VENTURA, M. V. A.; VIEIRA JUNIOR, W. G.; SOUZA, R. F.; LOPES FILHO, L. C.; BRAGA, A. P. M.; MATOS, D. J. C.; ROCHA, E. C. V. Microbial diversity as a soil quality indicator in agroecosystems in Brazilian Savannas. **African Journal of Agricultural Research**, v. 13, n. 25, p. 1306–1310, 2018.

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.

NOBRE, C. P. **Fungos Micorrízicos Arbusculares no Bioma Caatinga: Ecologia e Caracterização da Estrutura da Comunidade de FMA em Função da Variação na Fisionomia Vegetal**. 2014. 99 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo.) - PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, [S. l.], 2014.

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

PEREIRA, C. M. R. Micorrizas. In: PEREIRA, C. M. R. **DIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM ÁREA DE MATA ATLÂNTICA SOB DIFERENTES USOS DO SOLO**. Tese (Mestrado em Biologia dos Fungos) - Universidade Federal de Pernambuco, [S. l.], 2013.

PEREIRA, J. O., SOUZA, A. Q. L., SOUZA, A. D. L., FRANÇA, S. C., OLIVEIRA, L. A. Overview on Biodiversity, Chemistry, and Biotechnological Potencial of Microorganisms from the Brazilian Amazon. In: AZEVEDO, J. L.; QUECINE, M. C. Diversity and Benefits of Microorganisms from the Tropics. **Springer Internacional Publishing AG**, 2017. DOI 10.1007/978-3-319-55804-2\_5.

PIRES, G. C.; LIMA, M. E. de; ZANCHI, C. S.; FREITAS, C. M. de; SOUZA, J. M. A. de; CAMARGO, T. A. de; PACHECO, L. P.; WRUCK, F. J.; CARNEIRO, M. A. C.; KELMMELMEIER, K.; MORAES, A. de; SOUZA, E. D. de. Fungos micorrízicos arbusculares na rizosfera da soja em sistemas integrados de pecuária com consórcio na fase de pastagem. **Science Direct – Rhizosphere**, v. 17, 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2020.100270>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452219820301828?via%3Dihub>

POUYU-ROJAS, E.; SIQUEIRA, J. O.; SANTOS, J. G. D. Compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com espécies arbóreas tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 03, p. 413-424, 2006.

PURIN, S. Fungos micorrízicos arbusculares: atividade, diversidade e aspectos funcionais em sistemas de produção de maçãs. Lages-SC: UESC, 2005, 182 p. **Dissertação** (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina.

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.

RIGHI, C. A.; BERNARDES, M. S. 2015. **Sistemas Agroflorestais: definição e perspectivas**. Cadernos da Disciplina de Sistemas Agroflorestais, v. 1, p. 1-5.

ROCHA, L. P. M.; MOREIRA, F. W.; OLIVEIRA, C. M.; OLIVEIRA, L. A.. Ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares em um plantio de cupuaçu na estrada de Balbina, Amazonas. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.2, p.78-84, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.002.0009>

SANTOS, A. Glomalina: glicoproteína produzida pelos FMAs e seus efeitos na agregação. In: SANTOS, A. GLOMALINA EM AGREGADOS DE SOLOS EM DIFERENTES SISTEMAS FLORESTAIS E PASTO. 2018. **Dissertação** (Mestre em Ciência Florestais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia., [S. l.], 2018. p. 10 - 12.

SCHUBERT, A.; HAYMAN, D. S. Plant Growth Responses to Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza. **New Phytologist**, v. 103, n. 1, p. 79–90, 1986.

SILVA, P. B.; GIONGO, V.; LIMA, R. L. F. A. Micorrizas Arbusculares como Indicador Biológico para Seleção Modelos de Agroecossistemas Multifuncionais: 1. Olerícolas. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.14, n.05 (2021) 2592-2607.

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. 3rd edition. New York, **Academic Press**, 2008.

SOUZA, F. A. STÜRMER, S.L.; CARRENHO, R.; TRUFEM, S.F.B. Classificação e taxonomia de fungos micorrízicos arbusculares e sua diversidade e ocorrência no Brasil. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A. de; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: Editora UFLA, 2010. p. 15-73.

van der HEIJDEN, M. G.; MARTIN, F. M.; SELOSSE, M. A.; SANDERS, I. R. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. **New Phytologist**, v. 205, p. 1406-1423, 2015.

van der HEIJDEN, M.G.A.; HORTON, T.R. Socialism in soil? The importance of mycorrhizal fungal networks for facilitation in natural ecosystems. **Journal of Ecology**, v. 97, p.1139-1150. 2008.

VERBRUGGEN, E., HEIJDEN, M.G.V.D., WEEDON, J.T., KOWALCHUK, G.A., ROLING, W.F.M. Assembleia da comunidade, riqueza de espécies e aninhamento de fungos micorrízicos arbusculares em solos agrícolas. **Molecular Ecology Resources**, v. 21, p. 2341 - 2353. 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2012.05534.x>.

WINAGRASKI, E.; KASCHUK, G.; MONTEIRO, P. H. R.; AUER, G.; HIGA, A. R. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in forest ecosystems of Brazil: a review. **CERNE**, v. 25, n. 1, p. 25-35, 2019.

WITHERS, P. J. A., RODRIGUES, M., SOLTANGHEISI, A., CARVALHO, T. S., GUILHERME, L. R. G., BENITES, V. M., GATIBONI, L. C., SOUSA, D. M. G., NUNES, R. S., ROSOLEM, C. A., ANDREOTE, F. D., OLIVEIRA JR., A. COUTINHO, E. L. M., PAVINATO, P. S., 2018. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. **Scientific Reports** 8:2537. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20887-z>.

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. Arbuscular Mycorrhizas and Stress Tolerance of Plants. Singapore: Springer Nature Available at, 2017. 330 p.

XING, D., WANG, Z., XIAO, J., HAN, S., LUO, C., ZHANG, A., SONG, L., GAO, X., 2018. A composição e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em solos cársticos e raízes coletadas de amoreira de diferentes idades. **Ciência Rural**. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180361>.

ZHU, Y.G., MILLER, R.M. 2003. Carbon cycling by arbuscular mycorrhizal fungi in soil-plant systems. *Trends Plant Science* 8: 407–409.

## **CAPÍTULO 2**

### **COMUNIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES SOB DIFERENTES FORMAS DE USO DO SOLO NO BIOMA AMAZÔNICO**

## **Comunidade de fungos micorrízicos arbusculares sob diferentes formas de uso do solo no bioma amazônico<sup>1</sup>**

Cintya Ferreira SANTOS<sup>1\*</sup>, Natália da Conceição LIMA<sup>1</sup>, Layla Gabrielle Silva OLIVEIRA<sup>1</sup> Camila Pinheiro NOBRE<sup>1</sup>, Luciano Cavalcante MUNIZ<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, Campus Paulo VI – Caixa Postal 09 – São Luis, MA, Brasil.

\*Autor Correspondente: cintyaf.santos02@outlook.com

### **RESUMO**

Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são organismos presente em diversos ecossistemas e com papel fundamental para a manutenção da produtividade dos ecossistemas vegetais terrestres devido à associação com a maioria das espécies de plantas conhecidas. Estimar a ocorrência de espécies de FMA é uma importante etapa para ações futuras de conservação ambiental e aumento da produção. O objetivo deste trabalho consiste em realizar a identificação das comunidades de fungos micorrízicos arbusculares em diferentes usos da terra na Amazônia Maranhense. As coletas de solo foram realizadas no final do período chuvoso (maio/2022) na Unidade de Referência Tecnológica da Embrapa Cocais, município de Pindaré-Mirim (MA) e selecionadas três áreas sob diferentes usos: I) Área de mata (M), II) Área de transição (T), III) Área de Sistema Agrossilvipastoril (SAF). Dez amostras compostas de solo de cada tipo de uso do solo, na profundidade 0-20 cm, foram tomadas para as análises. Foi realizada a extração e identificação morfológica de glomerosporos, estimativa de índices ecológicos

---

<sup>1</sup> Artigo para submissão na Revista Acta Amazonica.

e quantificação de glomalina – fração facilmente extraível. Os dados obtidos foram submetidos a teste de homogeneidade, análise de variância e teste de Tukey, a 5% de probabilidade. A densidade de glomerosporos variou entre 50 e 190 em 50g<sup>-1</sup> de solo nas diferentes áreas. O gênero *Glomus* apresentou maior riqueza com 11 espécies de FMA, seguido dos gêneros *Acaulospora* e *Scutellospora*. A comunidade de fungos micorrízicos arbusculares variou em decorrência do uso do solo. O Agrossilvipastoril apresentou maior diversidade de espécies.

**PALAVRAS – CHAVE:** Serviços ecossistêmicos; micorrizas; qualidade do solo; biodiversidade.

#### **ABSTRACT**

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are organisms present in several ecosystems and play a fundamental role in maintaining the productivity of terrestrial plant ecosystems due to their association with most known plant species. Estimating the occurrence of AMF species is an important step for future environmental conservation actions and increased production. The objective of this work is to carry out the identification of communities of arbuscular mycorrhizal fungi in different land uses in the Maranhão Amazon. Soil collections were carried out at the end of the rainy season (May/2022) at the Technological Reference Unit of Embrapa Cocais, in the municipality of Pindaré-Mirim (MA) and three areas were selected under different uses: I) Forest area (M), II) Transition Area (T), III) Agrosilvopastoral System Area (SAF). Ten composite soil samples from each type of land use, at a depth of 0-20 cm, were taken for the analyses. Extraction and morphological identification of glomerospores, estimation of ecological

indices and quantification of glomalalin – easily extractable fraction – were carried out. The data obtained were submitted to homogeneity test, analysis of variance and Tukey test, at 5% probability. Glomerospore density varied between 50 and 190 in 50g<sup>-1</sup> of soil in different areas. The genus *Glomus* showed the highest richness with 11 species of AMF, followed by the genera *Acaulospora* and *Scutellospora*. The community of arbuscular mycorrhizal fungi varied as a result of land use. The agrosystem presented greater diversity of species.

**KEYWORDS:** Ecosystem services; mycorrhiza; soil quality; biodiversity.

## INTRODUÇÃO

O bioma amazônico vem sofrendo constante pressão de atividades agrícolas e pecuárias. Nos anos de 2019 a 2021 o desmatamento nesse bioma alcançou um patamar preocupante, onde o percentual de perda ultrapassou 56,6% da média anual anterior (Alencar et al. 2022). A média de ocorrência de queimada, só no ano de 2019, foi de 2,1 por imóvel rural, com a expansão das atividades agropecuárias dentro das propriedades que se encontram nesse bioma fizeram uso do fogo e sua prática continua crescente (Miranda, 2020).

A procura por extensas áreas para produção e/ou exploração de alimentos, energia e produtos florestais tem se tornado cada vez mais crescente, no entanto, essa busca vai ao encontro com a premência da redução de desmatamento e mitigação de gases de efeito estufa (Heitor et al. 2015). A procura por meios que sejam mais sustentáveis aos sistemas de produção podem ser encontrados, levando em consideração aspectos ambientais e socioeconômicos, os sistemas agroflorestais têm se mostrado uma alternativa promissora (Oliveira, 2005; Heitor et al. 2015).

Entre os sistemas mistos, o Agrossilvipastoril existe como uma alternativa, quando se deseja recuperar o potencial produtivo de pastagens, estes disponibilizam de uma expressiva quantidade de resíduos orgânicos, contribui para o aumento dos teores de carbono no solo e melhora as condições de agregação e porosidade do solo (Heitor et al. 2015; Furquim, 2020).

Há microrganismos que estão em constante interação com as raízes das plantas na rizosfera, determinados fungos que possuem a capacidade de se associar as raízes de plantas de forma simbiótica beneficiando o simbiote vegetal com translocação de água e nutrientes do solo, estes são os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) (Cardoso et al. 2016; Brundrett et al. 2017; Oliveira et al. 2021). Os FMA são classificados no filo Glomeromycota e, além de beneficiar com a nutrição vegetal, também atuam sobre os agregados do solo, melhorando sua estabilidade, devido à produção de uma glicoproteína denominada glomalina (Ferreira et al. 2018). Mudanças no uso do solo podem causar sérias consequências, como, degradação, impactar a biodiversidade e a capacidade dos sistemas biológicos de sustentar as necessidades humanas (Lambin et al. 2003).

Como a mudança da cobertura do solo afeta as comunidades de FMA é um tema relativamente estudados, entretanto, algumas regiões do país possuem escassos relatos. Dessa forma, se faz necessário compreender quais consequências os diferentes usos de solos podem ocasionar nos ecossistemas (Pereira, 2013) e nas comunidades de fungos micorrízicos arbusculares. O objetivo desse trabalho consistiu em avaliar as comunidades de fungos micorrízicos arbusculares em diferentes usos do solo na Amazônia Maranhense.

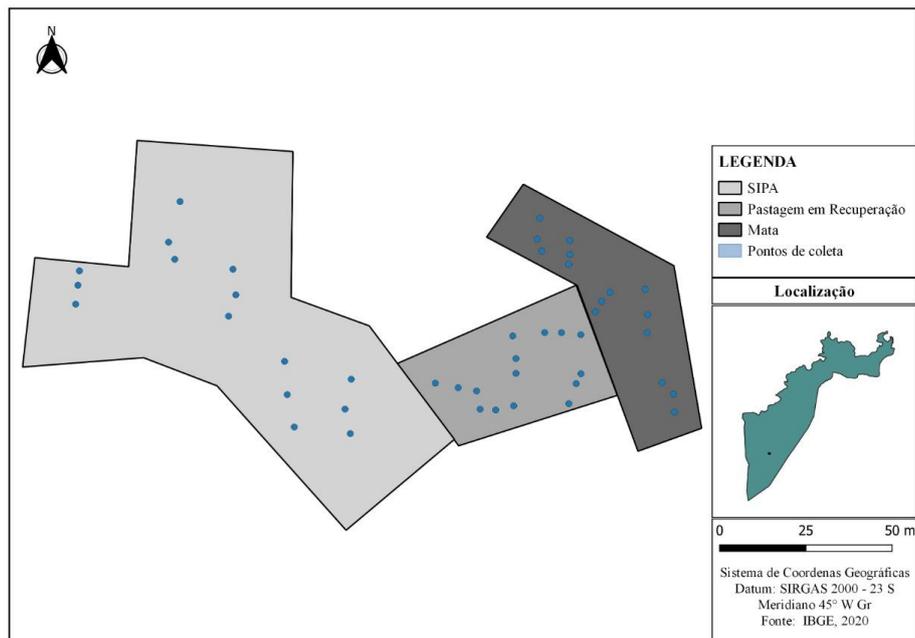
## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Área de estudo**

O experimento foi conduzido na Unidade de Referência Tecnológica da Embrapa Cocais em diferentes usos do solo, localizada no município de Pindaré-Mirim (MA), entre as coordenadas geográficas 3° 76' 4.08'' S de latitude, 45° 49' 17.00''. O clima da região é do tipo Aw tropical úmido, segundo Köppen (1948), com período chuvoso e seco bem definido e o solo dessa microrregião é classificado como Plintossolo Argilúvico Distrófico típico, recoberto originalmente por vegetação de Floresta Ombrófila Aberta de Terras baixas (Rocha et al. 2020).

### **Amostragem**

As áreas escolhidas foram: I) Mata secundária (MS), II) Área de Pastagem (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) em transição (P), III) Sistema Agrossilvipastoril (AGRP). Em cada área foram coletadas dez amostras de solo na profundidade 0 – 20 cm, realizadas no final do período chuvoso (maio/2022). O delineamento experimental foi caracterizado como inteiramente casualizado em esquema fatorial com três coberturas vegetais e dez repetições (3 x 10), totalizando 30 parcelas experimentais. As amostras de solos foram devidamente armazenadas, identificadas e transportadas para o Laboratório de Biologia do Solo (UEMA) para extração e contagem de glomerosporos, montagem de lâminas, identificação morfológica de espécies de FMA e extração de glomalina facilmente extraível.



**Figura 1:** Esquema da área experimental no município de Pindaré – Mirim, MA.

### Análise de Glomerosporos

A extração dos esporos de FMA foi realizada segundo a metodologia de peneiramento úmido (Gerdemann; Nicolson, 1963) e centrifugados em água e solução sacarose (Jenkins, 1964). Após esse procedimento, os esporos foram contados em placa canaleta com auxílio de lupa estéreo microscópico.

Os glomerosporos contados e extraídos foram dispersados em lâminas para microscopia com álcool-polivinílico e lactoglicerol (PVLG) e PVLG + reagente de Melzer (1:1). A identificação das espécies seguiu a classificação proposta por Oehl et al. (2011). A avaliação morfológica baseou-se nas características da forma, tipo e número de paredes, da presença ou ausência de cicatrizes e hifas de sustentação, da ocorrência e forma do bulbo suspensor, estruturas de germinação (placas germinativas e orbs) e reação ao Melzer, estas informações foram comparadas com as descrições das espécies disponíveis na internet e nas descrições originais.

## **Diversidade de FMA**

As comunidades de FMA foram avaliadas em termos quantitativos e qualitativos a partir de dados populacionais (abundância e frequência de ocorrência) e sua estruturação foi analisada por meio de índices ecológicos (riqueza, diversidade, dominância e equitabilidade), métodos e equações propostas por Brower e Zar (1984).

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).

A riqueza de espécies de FMA foi avaliada como uma relação entre o número de espécies observadas e o tamanho da amostra (50 g de solo). O índice de diversidade de Shannon ( $H'$ ) calculado para cada amostra, aplicando-se a fórmula:  $H' = -\sum (X_i/X_o) \times \log (X_i/X_o)$  onde,  $X_i$  = densidade de esporos de cada espécie  $i$  em 50g de solo e  $X_o$  = densidade total de esporos de todas as espécies. A equitabilidade de Pielou foi obtida pela equação  $J' = H'/\log (S)$  em que  $H'$  é o valor obtido pelo índice de Shannon e  $S$  é o número total de espécies.

## **Quantificação da Glomalina Facilmente Extraível**

A determinação dos teores de proteína do solo reativa ao Bradford (BRSP), fração facilmente extraível, foram realizadas em 30 amostras, de acordo com a metodologia proposta por Wright e Upadhyaya (1996). Para extração da fração facilmente extraível

(EE-BRSP) foi pesado 0,200 g de solo de cada amostra coletada e acondicionadas em tubos eppendorf e em seguida acrescentado 1,6 ml de citrato de sódio (20  $\mu$ M, pH 7,0), a solução e o solo foram homogeneizados e levados a autoclave por 30 minutos (121° C, 1 ATM). Seguiu-se a centrifugação por mais 15 minutos a 5000 RPM e em seguida foi retirado o extrato e armazenado em geladeira até determinação. Os teores desta fração da glomalina foram determinados pelo método de determinação de proteínas Bradford (BRADFORD, 1976) com uso de espectrofotômetro e a curva padrão será construída com albumina bovina (BSA – Sigma Aldrich®).

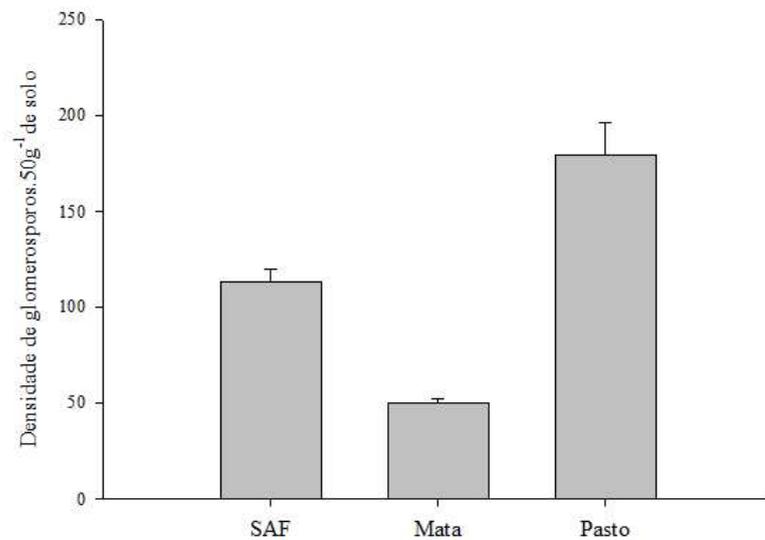
### **Análise Estatística**

Os dados foram trabalhados em delineamento inteiramente causalizado e os que não apresentaram normalizados, foram transformados utilizando log (x). Em sequência foram realizados teste t e teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando o programa Assistat 7.70 (Silva, 2016).

## **RESULTADOS**

### **Densidade de glomerosporos de FMA**

A densidade dos glomerosporos variou de 50 a 190 em 50g<sup>-1</sup> de solo nas diferentes áreas, sendo encontrada a maior média na área de pastagem. Os dados não foram significativos pelo teste t. (Figura 2).



**Figura 2:** Número de glomerosporos (50g<sup>-1</sup> de solo) em áreas de Sistema Agrossilvipastoril (SAF), de Mata e Pastagem em transição no município de Pindaré – Mirim, MA, durante o período chuvoso (maio/2022).

### Diversidade de espécies de FMA

Foram identificadas 22 espécies de FMA distribuídas em cinco famílias (Acaulosporaceae, Ambisporaceae, Glomeraceae, Racocetraceae e Scutellosporaceae) e seis gêneros (*Ambispora*, *Acaulospora*, *Funneliformis*, *Fuscutata*, *Glomus* e *Scutellospora*). Sendo que o gênero *Glomus* apresentou maior riqueza com onze espécies, seguido dos gêneros *Acaulospora* e *Scutellospora* com três espécies cada, *Fuscutata* e *Ambispora* ambos com duas espécies e *Funneliformis* com uma espécie. As espécies *Glomus glomerulatum*, *Glomus macrocarpum* e *Glomus trufemii* e *Funneliformis geosporum* foram as únicas com ocorrência em todas as áreas.

**Tabela 1:** Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em áreas Agrossilvipastoril, Mata e Pastagem em transição no município de Pindaré – Mirim, MA, durante o período chuvoso (maio/2022).

| <b>Espécies de FMA</b>         | <b>Agrossilvipastoril</b> | <b>Mata</b> | <b>Pastagem</b> |
|--------------------------------|---------------------------|-------------|-----------------|
| <i>Ambispora appendicula</i>   | -                         | -           | R               |
| <i>Ambispora sp</i>            | C                         | R           | -               |
| <i>Acaulospora mellea</i>      | R                         | -           | -               |
| <i>Acaulospora morrowiae</i>   | C                         | -           | R               |
| <i>Acaulospora spinosa</i>     | -                         | -           | C               |
| <i>Funneliformis geosporum</i> | C                         | R           | R               |
| <i>Glomus glomerulatum</i>     | D                         | D           | D               |
| <i>Glomus macrocarpum</i>      | MC                        | MC          | C               |
| <i>Glomus trufemii</i>         | C                         | C           | MC              |
| <i>Glomus sp1</i>              | C                         | -           | -               |
| <i>Glomus sp2</i>              | R                         | -           | -               |
| <i>Glomus sp3</i>              | R                         | R           | -               |
| <i>Glomus sp4</i>              | R                         | -           | -               |
| <i>Glomus sp5</i>              | C                         | -           | -               |
| <i>Glomus sp6</i>              | R                         | -           | -               |
| <i>Glomus sp7</i>              | -                         | D           | D               |
| <i>Glomus sp8</i>              | -                         | C           | R               |
| <i>Fuscutata sp</i>            | R                         | -           | -               |
| <i>Fuscutata sp savanicola</i> | C                         | -           | -               |
| <i>Scutellospora sp</i>        | C                         | -           | -               |

|                          |   |   |   |
|--------------------------|---|---|---|
| <i>Scutellospora</i> sp2 | R | - | - |
| <i>Scutellospora</i> sp3 | - | R | - |

\*D- dominante; MC- muito comum; C- comum e R- rara.

A espécie *Glomus glomerulatum* foi considerada dominante em todas as áreas de estudo, assim como *Glomus* sp7 também se destacou nas áreas de ocorrência, *Glomus macrocarpum* e *Glomus trufemii* variaram entre muito comum a comum nas áreas, as demais espécies houve predominância da classificação rara devido a baixa quantificação de esporos identificados.

O índice de Shannon (Tabela 2), no presente estudo, não apresentou diferenças estatísticas significativas entre as áreas estudadas. O índice Pielou apesar de derivar do índice de Shannon apresentou diferença significativa entre as áreas de estudo, com o pasto assumindo maior valor de equitabilidade. Os teores de glomalina da fração facilmente extraível não diferem estatisticamente entre sim, porém verifica-se teores desta proteína inferiores no pasto.

**Tabela 2:** Índices de diversidade de Shannon e equitabilidade de Pielou em diferentes usos do solo no município de Pindaré – Mirim, MA, durante período chuvoso (maio/2022).

|                                  | Agrofloresta             | Mata                     | Pasto                    |
|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Shannon                          | 0,91±0,05 <sup>NS</sup>  | 0,80±0,04 <sup>NS</sup>  | 0,55±0,03 <sup>NS</sup>  |
| Pielou                           | 0,61±0,04 b              | 0,80±0,03 ab             | 1,21±0,03 a              |
| GFE (mg.g <sup>-1</sup> de solo) | 0,065±0,00 <sup>NS</sup> | 0,065±0,00 <sup>NS</sup> | 0,057±0,00 <sup>NS</sup> |

\*Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas significativas entre as áreas, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. NS – Não significativo.

Das análises químicas realizadas, o alumínio não apresentou um resultado significativo estatisticamente, mas é possível perceber que a área de mata apresentou um teor maior desse elemento em seu solo. O pH dessas áreas diferiram estatisticamente e para seus teores o solo é considerado ácido.

**Tabela 3:** Parâmetros químico do solo em diferentes usos do solo no município de Pindaré – Mirim, MA, durante período chuvoso (maio/2022).

|                              | <b>Agrofloresta</b>     | <b>Mata</b>             | <b>Pasto</b>            |
|------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| pH em água                   | 3,9±0,03 a              | 2,82±0,04 b             | 2,82±0,02 b             |
| Al (mmolc.dm <sup>-3</sup> ) | 0,95±0,09 <sup>NS</sup> | 1,25±0,14 <sup>NS</sup> | 0,85±0,19 <sup>NS</sup> |

\*Letras minúsculas indicam diferenças estatísticas significativas entre as áreas, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. NS – Não significativo.

## DISCUSSÃO

Por possuir raízes finas a pastagem pode promover a esporulação dos fungos micorrízicos arbusculares e se somado com diversidade vegetal, densidade de raízes, eficiência de colonização do fungo, tipo e manejo de solo podem apresentar efeitos, tanto negativo quanto positivo, na produção dos glomerosporos (Sieverding, 1991; Winagraski et al. 2019). Como também foi observado por Moraes et al. (2019) ao avaliar a abundância de glomerosporos observou-se alta densidade na presença da gramínea *Urochloa brizantha* por possuir uma raiz abundante e crescimento rápido, favorável a esporulação.

O gênero *Urochloa* apresenta crescimento perene, rústico, com suas raízes fasciculadas e possui efeito alelopático em relação ao crescimento de outras espécies vegetais e consegue colonizar e influenciar rapidamente a produção dos FMA (Bostler et

al. 2006; Silva e Berbara, 2007). Com isso, tornam-se mais competitivas em relação as espécies vegetais nativas ao mesmo tempo em que estimulam espécies dos FMA como a espécie *Glomus macrocarpum* que são caracterizadas por serem resistentes e generalistas em relação a mudanças no solo (Coutinho et al. 2019).

A abundância de glomerosporos obtidos na área Agrossilvipastoril foi inferior do que a relatada por Gonçalves (2021) para associações micorrízica em área experimental de Integração Lavoura Pecuária e Floresta em Brasília, onde variaram de 495 a 600 por 50g de solo. Messa (2019) alega em seu estudo que em sistema agroflorestal com a presença do Eucalipto a densidade de glomerosporos foi inferior comparada a outros componentes arbóreos, possivelmente devido ao seu efeito alelopático na rizosfera que pode inferir em um declínio na esporulação do fungo.

Turrine et al. (2017) e Araújo (2019) relataram em seus estudos que a espécie vegetal em que o fungo micorrízicos está associado, em algumas espécies, pode ocasionar o efeito de produzir mais esporos quando associadas a determinadas plantas, sendo assim, o hospedeiro vegetal pode justificar a diferença entre os números de glomerosporos nas áreas estudadas.

A predominância do gênero *Glomus* nas áreas de estudo pode estar relacionada com a sua diversidade morfológica e diferenças na esporogênese (Santos; Carrenho, 2011). Esses autores também explicam que os esporos do gênero *Glomus* possuem sua formação apical em uma hifa esporígena, apresentando desde o início de sua formação paredes mais espessas, o que os tornam mais resistentes a adversidades, e também, aos estresses edáficos, somado a rapidez com que seus micélios se desenvolvem, este gênero pode permanecer por mais tempo no solo e apresentar uma maior competitividade por espaço no ambiente.

Se tratando de fertilidade do solo, o pH é um dos fatores que mais influencia a ecologia e distribuição dos FMA, e atua com indicador da acidificação do solo. Assim como outros organismos, os fungos podem desenvolver mecanismos para se adaptarem a características químicas do local em que estão inseridos, os FMA podem modificar o pH da rizosfera o que pode afetar a disponibilidade de algum outro nutriente de interesse, além de apresentarem uma maior resistência a extremos de valores de pH (ALGUACIL et al., 2016).

A área Agrossilvipastoril apresentou maior diversidade de espécies de FMA, todos os seis gêneros estavam presentes, contabilizando 17 espécies nessa área, com predominância do gênero *Glomus*. Este gênero também se faz presente em todas as demais áreas de estudo o que segundo Silva (2009) e Casazza et al. (2017) indica a capacidade de esporulação desse FMA e de se adaptar a áreas distintas mesmo em situação de sucessão ecológica além de sua resistência a perturbações ambientais.

O gênero *Acaulospora* é constantemente relacionado em estudos que têm como pesquisas áreas tropicais. Marinho et al. (2018) confirma este fato em um estudo realizando um levantamento populacional de FMA em florestas tropicais no mundo. Nobre et al. (2018) também evidenciaram a presença desse gênero em seu estudo de fungos micorrízicos associados a babaquais. *Glomus* e *Acaulospora* são os gêneros mais comuns e ricos em espécies podendo se adaptarem a diversos ambientes, sejam elas áreas naturais ou que tenham passado por ações antrópicas (Jefwa et al. 2012; Pereira et al. 2014; Nobre et al. 2018).

A área de mata que só apresentou oito espécies de FMA e esta riqueza pode ser justificada por Munyanziz et al. (1997) onde relatam que tanto a densidade quanto a diversidade de esporos podem se apresentar muito baixa em florestas não perturbadas e

pode ocorrer desses FMA estarem sobrevivendo na serrapilheira do ambiente (Aristizábel et al. 2004).

A frequência de ocorrência indica o quanto a espécie está difundida em uma área, visando determinar a sua especificidade classificando-a entre rara, comum, muito comum ou dominante no ecossistema (Saggin Júnior; Siqueira, 1996). A evidente ocorrência do gênero *Glomus* corrobora com outro estudo onde, segundo Caproni et al. (2003), este é um dos gêneros de maior ocorrência em diversidade e abundância nos estudos realizados no Brasil.

Apesar do dado apresentado, o índice de Shannon trata-se de um meio de avaliar a diversidade ecológica das estruturas das comunidades, é uma medida de equidade que retrata como esses organismos estão sendo afetados pelos efeitos das perturbações no ambiente em que estão inseridos (Beggon et al., 1996; Odum, 1988), o que pode significar que as perturbações nessas áreas não se diferem entre si e nem afetam o ecossistema. O índice de Pielou visa indicar a uniformidade da disposição dos indivíduos das espécies existentes naquela área. Na literatura, Gomide et al. (2006) indicam que quanto mais próximo esse índice estiver de 1, mais uniforme essa comunidade é. Sendo assim, a área relativa ao pasto, que apresentou maior valor, indica que essa área é mais uniforme e entre as demais áreas, a de mata apresentou valor mais próximo do parâmetro de definição.

Reyes et al. (2018) em sua pesquisa na periferia oriental da Amazônia encontraram teores médio de glomalina facilmente extraível variando em  $0,40 \pm 0,04 \text{ g kg}^{-1}$ , valores superiores ao encontrado neste estudo. Os teores de glomalina obtidos também foram menores que os encontrados por Silva et al. (2016), as médias obtidas por eles no período de inverno foi de 0,79 a  $1,79 \text{ mg g}^{-1}$  de solo nas áreas de agricultura anual e pasto, em estudo onde visavam avaliar a composição da população dos FMA em

diferentes áreas de Mata Atlântica e os teores de proteína relacionada à glomalina no solo. Também foram inferiores aos encontrados por Carvalho (2021), onde a média de produção dessa glicoproteína em área minerada em recuperação no norte da Amazônia variaram entre  $2.44 \pm 7.64 \text{ mg g}^{-1}$  de solo, sendo que as médias mais altas foram encontradas nas áreas de mata e capoeira.

## CONCLUSÃO

A comunidade de fungos micorrízicos arbusculares é afetada pelo uso do solo, com maior densidade de glomerosporos na área de pastagem e maior riqueza no sistema Agrossilvipastoril. O levantamento de espécies realizado nesse estudo é importante para compreensão da biodiversidade presente nos solos do bioma amazônico maranhense que possui escassa literatura disponível sobre o assunto.

## REFERÊNCIAS

Alencar, A.; Silvestrini, R.; Gomes, J.; Savian, G.. Amazonia em chamas: o novo e alarmante patamar do desmatamento na Amazônia. **IPAM Amazônia**, p. 1-21, 2022.

Alguacil, M. D. M.; Torres, M. P.; Montesinos-Navarro, A.; Roldán, A. Soil characteristics driving arbuscular mycorrhizal fungal communities in Semiarid Mediterranean Soils. **Applied Environmental Microbiology**, v. 82, n. 11, p. 3348–3356, 2016.

Aristizábal, C.; Rivera, E. L.; Janos, D. P. Arbuscular mycorrhizal fungi colonize decomposing leaves of *Myrica parvifolia*, *M. pubescens* and *Paepalanthus* sp. **Mycorrhiza**, v. 14, p. 221–228, 2004.

B. Börstler, C. Renker, A. Kahmen, F. Buscot, composição de espécies de fungos micorrízicos arbusculares em dois prados de montanha com diferentes tipos de manejo e níveis de biodiversidade vegetal, **Biology and Fertility of Soils** v. 42 p. 286–298. 2006.

Beggon, M.; Harper, J. L.; Townsend, C. R. Ecology: individuals, populations and communities. 3 Ed. Oxford, Blackwell, 1996.

Brundrett, M. C.; Tedersoo, L. Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. **New Phytologist**, v. 220, p. 1108 – 1115, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1111/nph.14976>

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.

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

Carvalho, M. M. Análise da quantificação de glomalina: Estatística Descritiva. *In*: Carvalho, M. M. **Avaliação do solo de áreas mineradas em recuperação dentro do bioma amazônico por meio da relação entre morfometria de agregados do solo e teor de glomalina**. 2021. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, [S. l.], 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/204585>. Acesso em: 13 jan. 2023.

Casazza, G.; Lumini, E.; Ercole, E.; Dovana, F.; Guerrina, M.; Arnulfo, A.; Minuto, L.; Fusconi, A.; Mucciarelli, M. The abundance & diversity of arbuscular mycorrhizal fungi are linked to the soil chemistry of screes & to slope in the Alpic paleoendemic *Berardia subacaulis*. **Plos One**, v. 12, p.1–19, 2017.

Conservação Da Biodiversidade Do Estado Do Maranhão: Cenário Atual Em Dados Geoespaciais. [S. l.]: **EMBRAPA**, 2016- . ISSN 1516-4691. Mensal. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/159940/1/Serie-Documentos-108-Luciana.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2023.

Coutinho, E. S.; Barbosa, M.; Queiroz, W.; Mescolotti, D. L. C.; Bonfim, J. A.; Berbara, R. L. L.; Fernandes, G. W. Restrições do solo para a comunidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em áreas degradadas de campos rupestres: implicações para a restauração. **European Journal of Soil Biology**, [s. l.], 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2018.12.003>. Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/ejsobi>. Acesso em: 12 jan. 2023.

Davison, J.; Moora, M.; Opik, M.; Adholeva, A.; Ainsaar, L.; Bâ, A., et al. Global assessment of arbuscular mycorrhizal fungus diversity reveals very low endemism. **Science**, v.349, p. 970-973, 2015.

De Miranda, E. E.; Martinho, P. R. R.; De Carvalho, C. A. Nota técnica sobre queimadas, desmatamentos e imóveis rurais no bioma Amazônia em 2019. **Embrapa Territorial-Nota Técnica/Nota Científica (ALICE)**, 2020.

Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares (fma) em florestas tropicais secas e úmidas do nordeste do Brasil. Tese (Doutor em Biologia do Fungos) - Universidade Federal de Pernambuco, [S. l.]. 98f. 2019. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/bitstream/123456789/41599/1/TESE%20Daniele%20Magna%20Azevedo%20de%20Assis%20Ara%20c3%20bajo.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2023.

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.

Fragoso, R. O.; Carpanezzi, A. A. Barreiras ao estabelecimento da regeneração natural em áreas de pastagens abandonadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1451-1464, 2017. <https://doi.org/10.5902/1980509830331>.

Furquim, L. C. **Recuperação Da Qualidade De Solo Em Pastagens Degradadas Por Meio De Sistemas Integrados**. 2020. 90 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, [S. l.], 2020.

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.

Gonçalves, M. A. **Sistema de integração lavoura-pecuária-floresta e sua influência na associação micorrízica no cerrado**. 2019. 33p p. Monografia (Bacharel em Agronomia) - Universidade de Brasília, [S. l.], 2021.

Heitor, F. D.; Soroldoni, W. A.; Almeida, D. S.; Faria, B. P. IMPORTÂNCIA DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS AGROSSILVIPASTORIS. I **Seminário Científico da FACIG**, [s. l.], 2015.

Inmet. Instituto Nacional de Meteorologia. **Série Histórica 2001-2020 de Dados Mensais da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional de Zé Doca**. 2021. Disponível em: [http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/mapas\\_mensal\\_sem.php](http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/mapas_mensal_sem.php).

Jefwa, JM; Okoth, S.; Achira, P.; Karanja, N.; Kahindi, J.; Nijuguni, S.; et al. 2012. Impacto dos tipos de uso da terra e práticas agrícolas na ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) Distrito de Taita-Taveta no Quênia. **Agricultura, Ecossistemas e Meio Ambiente**, p. 32–39.

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

Köppen, W. **Climatologia**. Mexico: Fundo de Cultura Econômica, 466 p. 1948.

Marinho F., Da Silva I.R., Oehl, F.; Maia, L.C. Checklist of arbuscular mycorrhizal fungi in tropical forests. – *Sydowia*, v. 70, p. 107–127, 2018.

Melloni, R.; Costa, N. R.; Melloni, E. G. P.; Lemes, M. C. S.; Alvarenga, M. I. N.; Neto, J. N. Sistemas agroflorestais cafeeiro-araucária e seu efeito na microbiota do solo e seus processos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 784 – 795. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509832392>. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/32392>

Messa, A. A. **Identificação de Espécies Micorrízicas em simbiose com cipó *Banisteriopsis caapi* (Spruce ex Griseb) e avaliação do grau de micorrização**. 2017. Tese (Mestre em Agroecologia) - Universidade Estadual de Maringá, [S. l.], 2019. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/5740>

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.; Ferraz Júnior, A. S. De L.; Goto, B. T.; Berbara, R. L. L.; Nogueira, M. D. C. Fungos micorrízicos arbusculares em sistema de aléias no Estado do Maranhão, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 4, p. 641-646, 2010.

Odum, E. P. Ecologia. São Paulo, Guanabara, p. 450, 1988.

Oehl, F.; Souza, F.; Sieverding, E. Revision of *Scutellospora* and description of five new genera and three new families in the arbuscular mycorrhiza forming Glomeromycetes. **Mycotaxon**, v. 106, p. 311-360, 2008.

Oliveira, L. H.; Moreira, F. W.; Pereira, I. S.; Nina, N. C. Da S.; Oliveira, L. A. de. Fungos micorrízicos arbusculares em três espécies perenes de um Sistema Agroflorestal em Manaus (AM). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [s. l.], v. 12, ed. 2, p. 148 - 157, 2021. DOI 10.6008/CBPC2179-6858.2021.002.0015. Disponível em: [www.sustenere.co](http://www.sustenere.co). Acesso em: 11 jan. 2023.

Oliveira, T. K. **Sistema agrossilvipastoril com eucalipto e braquiária sob diferentes arranjos estruturais em área de Cerrado**. Lavras, 2005. 150p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras.

Pereira, CMR; Silva, DKA; Ferreira, ACA; Goto, BT; Maia, LC.. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em áreas de Mata Atlântica sob diferentes usos do solo. *Agricultura, Ecosystemas e Meio Ambiente*, 185: 245-252. 2014.

Purin, S.; Rilling, M. C. The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalina: limitations, progress, and a new hypothesis for its function. **Pedobiologia**, v. 51, p. 123-130, 2007.

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.; Wright, S.F.; Nichols, K.A.; Schmidt, W.F. & Torn, M.S. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. *Plant Soil*, 233, p.167-177, 2001.

Rocha, A. E., Catunda, P. H. A., Dias, L. J. B. S. **Relatório Técnico de Classificação da Vegetação do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão (ZEE-MA)**

– Etapa Bioma Amazônico, São Luís, 2020.

Santos, F. E. F.; Carrenho, R. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em remanescente florestal impactado (Parque cinquentenário – Maringá, Paraná, Brasil).

**Acta Botânica Brasílica**, v. 2, n. 25. P. 508 – 516, 2011.

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.; Pereira, M. G.; Santos, V. L.; Miguel, D. L.; Silva, E. M. R. Fungos Micorrízicos Arbusculares: Composição, Comprimento de Micélio Extrarradicular e Glomalina em Áreas de Mata Atlântica, Rio de Janeiro. *Ciência Florestal*, Santa Maria, RS, v. 26, n. 2, p.419-433, jun. 2016.

Silva, F.C. **Atributos químicos e biológicos em cava de extração de argilas revegetadas com leguminosas e eucalipto**. Tese (Doutorado em Produção Vegetal), f. 159. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2009.

Siqueira, J.O. (editor). *Avanço em Fundamentos e Aplicações de Micorrizas*. Lavras: Universidade Federal de Lavras/DCS e DCF, 290p. 1996.

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

van der Heijden, M. G.; Martin, F. M.; Selosse, M. A.; Sanders, I. R. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. **New Phytologist**, v. 205, p. 1406-1423, 2015.

Wang, G.M.; Stribley, D.P.; Tinker, P.B.; Walker, C. Effects of pH on arbuscular mycorrhiza I. Field observations the long term liming experiments at Rothamsted and Woburn. **New Phytologist**, v. 124, p. 465-472, 1993.

Wijayawardene, N. et al. 2022. – Outline of Fungi and fungus-like taxa – 2021. **Mycosphere** v. 13, p. 53-453.

Winagraski, E.; Kaschuk, G.; Monteiro, P. H. R.; Auer, G.; Higa, A. R. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in forest ecosystems of Brazil: a review. **Cerne**, v. 25, n. 1, p. 25-35, 2019.

## ANEXO

### INSTRUÇÕES PARA AUTORES

---

1. O tamanho máximo de um arquivo individual deve ser 2 MB.
2. O manuscrito deve ser acompanhado de uma carta de submissão indicando que: a) os dados contidos no trabalho são originais e precisos; b) que todos os autores participaram do trabalho de forma substancial e estão preparados para assumir responsabilidade pública pelo seu conteúdo; c) a contribuição apresentada à Revista não foi previamente publicada e nem está em processo de publicação, no todo ou em parte em outro veículo de divulgação. A carta de submissão deve ser carregada no sistema da Acta Amazonica como "documento suplementar".
3. Os manuscritos devem ser escritos em inglês. A veracidade das informações contidas numa submissão é de responsabilidade exclusiva dos autores.
4. A extensão máxima para artigos e revisões é de 30 páginas (ou 7500 palavras, excluindo a folha de rosto), dez páginas (2500 palavras) para Notas Científicas e cinco páginas para outros tipos de contribuições.
5. Os manuscritos formatados conforme as Instruções aos Autores são enviados aos editores associados para pré-avaliação. Neste primeiro julgamento são levados em consideração a relevância científica, a inteligibilidade do manuscrito e o escopo no contexto amazônico. Nesta fase, contribuições fora do escopo da Revista ou de pouca relevância científica são rejeitadas. Manuscritos aprovados na pré-avaliação são enviados para revisores (pelo menos dois), especialistas de instituições diferentes daquelas dos autores, para uma análise mais detalhada.
6. A aprovação dos manuscritos está fundamentada no conteúdo científico e na sua apresentação conforme as Normas da Revista.
7. Os manuscritos que necessitam correções são encaminhados aos autores para revisão. A versão corrigida deve ser encaminhada ao Editor, via sistema da Revista, no prazo de DUAS semanas. Uma carta de encaminhamento deve ser também carregada no sistema da Revista, detalhando as correções efetuadas. Nessa carta, recomendações não incorporadas ao manuscrito devem ser explicadas. Todo o processo de avaliação pode ser acompanhado no endereço, <http://mc04.manuscriptcentral.com/aa-scielo>.

8. Seguir estas instruções para preparar e carregar o manuscrito:

a. Folha de rosto (Title page): Esta página deve conter o título, nomes (com último sobrenome em maiúscula), endereços institucionais completos dos autores e endereço eletrônico do autor correspondente. Os nomes das instituições não devem ser abreviados. Usar um asterisco (\*) para indicar o autor correspondente.

Carregar este arquivo selecionando a opção: "Title page"

b. Corpo do manuscrito (main document). O corpo do manuscrito deve ser organizado da seguinte forma: Título, Resumo, Palavras-Chave, Introdução, Material e Métodos, Resultados, Discussão, Conclusões, Agradecimentos, Bibliografia Citada, Legendas de figuras e Tabelas. Além do "main document" em inglês, o manuscrito deve ter "Título, Resumo e Palavras-chave" em português ou espanhol.

Carregar este arquivo como "Main document"

c. Figuras. São limitadas a sete em artigos. Cada figura deve ser carregada em arquivo separado e estar em formato gráfico (JPG ou TIFF). Deve ser em alta qualidade e com resolução de 300 dpi. Para ilustrações em bitmap, utilizar 600 dpi.

Carregar cada um destes arquivos como "Figure".

d. Tabelas. São permitidas até cinco tabelas por artigo. Utilizar espaço simples e a função "tabela" para digitar a tabela. As tabelas devem ser inseridas ao final do corpo do manuscrito (main document), após as legendas das figuras.

9. As Notas Científicas são redigidas separando os tópicos: Introdução, Material e Métodos, Resultados, Discussão e Conclusões em parágrafos, mas sem incluir os títulos das seções. Os outros tópicos da Nota Científica devem seguir o formato do artigo completo. São permitidas até três figuras e duas tabelas. Carregar as diferentes partes do manuscrito como descrito no Item 8.

10. Nomes dos autores e endereço institucional completo, incluindo endereço electrónico DEVEM ser cadastrados no sistema da Revista no ato da submissão.

11. **IMPORTANTE:** Os manuscritos não formatados conforme as Normas da Revista **NÃO** são aceitos para publicação.

#### FORMATO E ESTILO

12. Os manuscritos devem ser preparados usando editor de texto (e.g. doc ou docx), utilizando fonte "Times New Roman", tamanho 12 pt, espaçamento duplo, com margens de 3 cm. As páginas e as linhas devem ser numeradas de forma contínua. Para tabelas ver Item 8d.

13. Título. Justificado à esquerda, com a primeira letra maiúscula. O título deve ser conciso evitando-se o uso de nomes científicos.

14. Resumo. Deve conter até 250 palavras (150 palavras no caso de Notas Científicas). Iniciar o Resumo com uma breve introdução, logo a seguir informar os objetivos de forma clara. De forma sucinta informar a metodologia, os resultados e as conclusões enfatizando aspectos importantes do estudo. O resumo deve ser autossuficiente para a sua compreensão. Os nomes científicos das espécies e demais termos em latim devem ser escritos em itálico. Siglas devem ser evitadas nesta seção; porém, se necessárias, o significado deve ser incluído. Não utilizar referências bibliográficas no resumo.

15. Palavras-chave. Devem ser em número de quatro a cinco. Cada palavra-chave pode conter dois ou mais termos. Porém, não devem ser repetidas palavras utilizadas no título.

16. Introdução. Enfatizar o propósito do trabalho e fornecer, de forma sucinta, o estado do conhecimento sobre o tema em estudo. Especificar claramente os objetivos ou hipóteses a serem testados. Esta seção não deve exceder de 35 linhas. Não incluir resultados ou conclusões e não utilizar subtítulos na Introdução. Encerrar esta seção com os objetivos.

17. Material e Métodos. Esta seção deve ser organizada cronologicamente e explicar os procedimentos realizados, de tal modo que outros pesquisadores possam repetir o estudo. O procedimento estatístico utilizado deve ser descrito nesta seção. O tipo de análise estatística aplicada aos dados deve ser descrita. Procedimentos-padrão devem ser apenas referenciados. As unidades de medidas e as suas abreviações devem seguir o Sistema Internacional e, quando necessário, deve constar uma lista com as abreviaturas utilizadas. Equipamento específico utilizado no estudo deve ser descrito (modelo, fabricante, cidade e país de fabricação, entre parênteses). Por exemplo: "A fotossíntese foi determinada usando um sistema portátil de trocas

gasosas (Li-6400, Li-Cor, Lincoln, NE, USA)". Material testemunho (amostra para referência futura) deve ser depositado em uma ou mais coleções científicas e informado no manuscrito. NÃO utilizar sub-subtítulos nesta seção. Utilizar negrito, porém não itálico ou letras maiúsculas para os subtítulos.

18. Aspectos éticos e legais. Para estudos que exigem autorizações especiais (e.g. Comitê de Ética/Comissão Nacional de Ética em Pesquisa - CONEP, IBAMA, SISBIO, CNPq, CNTBio, INCRA/FUNAI, EIA/RIMA, outros) informar o número do protocolo e a data de aprovação. É responsabilidade dos autores o cumprimento da legislação específica relacionada a estes aspectos.

19. Resultados. Os resultados devem apresentar os dados obtidos com o mínimo julgamento pessoal. Não repetir no texto toda a informação contida em tabelas e figuras. Não apresentar a mesma informação (dados) em tabelas e figuras simultaneamente. Não utilizar sub-subtítulos nesta seção. Algarismos devem estar separados de unidades. Por exemplo, 60 °C e NÃO 60° C, exceto para percentagem (e.g., 5% e NÃO 5 %).

Unidades: Utilizar unidades e símbolos do Sistema Internacional e simbologia exponencial. Por exemplo,  $\text{cmol kg}^{-1}$  em vez de  $\text{meq}/100\text{g}$ ;  $\text{m s}^{-1}$  no lugar de  $\text{m/s}$ . Use espaço no lugar de ponto entre os símbolos:  $\text{m s}^{-1}$  e não  $\text{m.s}^{-1}$ ; use “-” e não “-” para indicar número negativo. Por exemplo: -2 no lugar de -2. Use  $\text{kg}$  e não  $\text{Kg}$ ;  $\text{km}$  no lugar de  $\text{Km}$ .

20. Discussão. A discussão deve ter como alvo os resultados obtidos. Evitar mera especulação. Entretanto, hipóteses bem fundamentadas podem ser incorporadas. Apenas referências relevantes devem ser incluídas.

21. Conclusões. Esta seção (um parágrafo) deve conter uma interpretação sucinta dos resultados e uma mensagem final que destaque as implicações científicas do trabalho.

22. Agradecimentos devem ser breves e concisos. Incluir agência(s) de fomento. NÃO abreviar nomes de instituições.

23. Bibliografia Citada. Pelo menos 70% das referências devem ser artigos de periódicos científicos. As referências devem ser preferencialmente dos últimos 10 anos, evitando-se

exceder 40 citações. Esta seção deve ser organizada em ordem alfabética e deve incluir apenas citações mencionadas no manuscrito. Para referências com mais de dez autores, relacionar os seis primeiros seguido de et al. Nesta seção, o título do periódico NÃO deve ser abreviado.

Observar os exemplos abaixo:

a) Artigos de periódicos:

Villa Nova, N.A.; Salati, E.; Matsui, E. 1976. Estimativa da evapotranspiração na Bacia Amazônica. *Acta Amazonica*, 6: 215-228.

Artigos de periódicos que não seguem o sistema tradicional de paginação:

Ozanne, C.M.P.; Cabral, C.; Shaw, P.J. 2014. Variation in indigenous forest resource use in Central Guyana. *PLoS ONE*, 9: e102952.

b) Dissertações e teses:

Ribeiro, M.C.L.B. 1983. As migrações dos jaraquis (Pisces: Prochilodontidae) no rio Negro, Amazonas, Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas, Manaus, Amazonas. 192p.

c) Livros:

Steel, R.G.D.; Torrie, J.H. 1980. Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. 2da ed. McGraw-Hill, New York, 1980, 633p.

d) Capítulos de livros:

Absy, M.L. 1993. Mudanças da vegetação e clima da Amazônia durante o Quaternário. In: Ferreira, E.J.G.; Santos, G.M.; Leão, E.L.M.; Oliveira, L.A. (Ed.). Bases científicas para estratégias de preservação e desenvolvimento da Amazônia. v.2. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, p.3-10.

e) Citação de fonte eletrônica:

CPTEC, 1999. Climanalise, 14: 1-2 ([www.cptec.inpe.br/products/climanalise](http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise)). Acesso em 19/05/1999.

f) Citações com mais de dez autores:

Tseng, Y.-H.; Kokkotou, E.; Schulz, T.J.; Huang, T.L.; Winnay, J.N.; Taniguchi, C.M.; et al. 2008. New role of bone morphogenetic protein 7 in brown adipogenesis and energy expenditure. *Nature* 454:1000-1004.

23. Citações de referências no texto. As referências devem seguir ordem cronológica. Para duas ou mais referências do mesmo ano citar conforme a ordem alfabética. Exemplos:

a) Um autor: Pereira (1995) ou (Pereira 1995).

b) Dois autores: Oliveira e Souza (2003) ou (Oliveira e Souza 2003).

c) Três ou mais autores: Rezende et al. (2002) ou (Rezende et al. 2002).

d) Citações de anos diferentes (ordem cronológica): Silva (1991), Castro (1998) e Alves (2010) ou (Silva 1991; Castro 1998; Alves 2010).

e) Citações no mesmo ano (ordem alfabética): Ferreira et al. (2001) e Fonseca et al. (2001); ou (Ferreira et al. 2001; Fonseca et al. 2001).

## FIGURAS

25. Fotografias, desenhos e gráficos devem ser de alta resolução, em preto e branco com alto contraste, numerados sequencialmente em algarismos arábicos. NÃO usar tonalidades de cinza em gráficos de dispersão (linhas ou símbolos) ou gráficos de barra. Em gráfico de dispersão usar símbolos abertos ou sólidos (círculos, quadrados, triângulos, ou losangos) e linhas em preto (contínuas, pontilhadas ou tracejadas). Para gráfico de barra, usar barras pretas, bordas pretas, barras listradas ou pontilhadas. Na borda da área de plotagem utilizar uma linha contínua e fina, porém NÃO usar uma linha de borda na área do gráfico. Em figuras compostas cada uma das imagens individuais deve ser identificada com uma letra maiúscula posicionada no canto superior direito, dentro da área de plotagem.

26. Evitar legendas desnecessárias na área de plotagem. Nos títulos dos eixos ou na área de plotagem NÃO usar letras muito pequenas (< tamanho 10 pt). Nos eixos usar marcas de escala internas. NÃO usar linhas de grade horizontais ou verticais, exceto em mapas ou ilustrações similares. O significado das siglas utilizadas deve ser descrito na legenda da figura. Cada eixo do gráfico deve ter o seu título e a unidade. Evitar muitas subdivisões nos eixos (cinco a seis seriam suficientes). Em mapas incluir escala e pelo menos um ponto cardeal.

27. As figuras devem ser elaboradas de forma compatível com as dimensões da Revista, ou seja, largura de uma coluna (8 cm) ou de uma página 17 cm e permitir espaço para a legenda. As ilustrações podem ser redimensionadas durante o processo de produção para adequação ao espaço da Revista. Na figura, quando for o caso, a escala deve ser indicada por uma barra (horizontal) e, se necessário, referenciadas na legenda da figura. Por exemplo, barra = 1 mm.

28. Citação de figuras no texto. As figuras devem ser citadas com letra inicial maiúscula, na forma direta ou indireta (entre parêntesis). Por exemplo: Figura 1 ou (Figura 1). Na legenda, a figura deve ser numerada seguida de ponto antes do título. Por exemplo: "Figura 1. Análise...". Definir na legenda o significado de símbolos e siglas usados. Figuras devem ser autoexplicativas.

29. Figuras de outras autorias. Para figuras de outras autorias ou publicadas anteriormente, os autores devem informar explicitamente no manuscrito que a permissão para reprodução foi concedida. Carregar no sistema da Revista (não para revisão), como documento suplementar, o comprovante outorgado pelo detentor dos direitos autorais.

30. Adicionalmente às figuras inseridas no sistema em formato TIFF ou JPG, os gráficos preparados usando Excel ou SigmaPlot podem ser carregados como arquivos suplementares (selecionando a opção Not for review).

31. Ilustrações coloridas. Fotografias e outras ilustrações devem ser preferencialmente em preto e branco. Ilustrações coloridas são aceitas, mas o custo de impressão é por conta dos autores. Sem custo para os autores, podem ser usadas ilustrações em preto e branco na versão impressa e coloridas na versão eletrônica. Nesse caso, isso deve ser informado na legenda da figura. Por exemplo, adicionando a sentença: " this figure is in color in the electronic version". Esta última informação é para os leitores da versão impressa.

Os autores podem ser convidados a enviar uma fotografia colorida, para ilustrar a capa da Revista. Nesse caso, não há custos para os autores.

## TABELAS

32. As tabelas devem ser organizadas e numeradas sequencialmente com algarismos arábicos. A numeração e o título (legenda) devem estar em posição superior à tabela. A tabela pode ter notas de rodapé. O significado das siglas e dos símbolos utilizados na tabela (cabeçalhos, etc.) devem ser descritos no título. Usar linhas horizontais acima e abaixo da tabela e para separar o cabeçalho do corpo da tabela. Não usar linhas verticais.

33. As tabelas devem ser elaboradas em editor de texto (e.g. doc ou docx) e não devem ser inseridas no texto como imagem (e.g. no formato JPG).

34. A citação das tabelas no texto pode ser na forma direta ou indireta (entre parêntesis), por extenso, com a letra inicial maiúscula. Por exemplo: Tabela 1 ou (Tabela 1). Na legenda, a tabela deve ser numerada seguida de ponto antes do título: Por exemplo: "Tabela 1. Análise...". Tabelas devem ser autoexplicativas.

## INFORMAÇÕES ADICIONAIS

1. A Acta Amazonica pode efetuar alterações de formatação e correções gramaticais no manuscrito para ajustá-lo ao padrão editorial e linguístico. As provas finais são enviadas aos autores para a verificação. Nesta fase, apenas os erros tipográficos e ortográficos podem ser corrigidos. Nessa etapa, NENHUMA alteração de conteúdo pode ser feita no manuscrito. Se isso for necessário o manuscrito deve retornar ao processo de avaliação.

2. A Acta Amazonica não cobra taxas para publicação. Além disso, não há pagamento de taxa para submissão e avaliação de manuscritos. Informações adicionais podem ser obtidas por e-mail [acta@inpa.gov.br](mailto:acta@inpa.gov.br). Para informações sobre um determinado manuscrito, deve-se fornecer o número de submissão.

3. As assinaturas da Acta Amazonica podem ser pagas com cheque ou vale postal. Para o exterior, a assinatura institucional custa US\$ 100,00 e a assinatura individual US\$ 5,00. Para contato: [acta@inpa.gov.br](mailto:acta@inpa.gov.br). Tel.: (55 92) 3643-3643 ou fax: (55 92) 3643-3029