

COMUNIDADE MICORRÍZICA EM ARBÓREAS NATIVAS APLICADAS NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR *PINUS TAEDA* L

COMUNIDAD MICORRÍZICA EN ÁRBOLES NATIVOS APLICADA PARA RECUPERAR ÁREAS DEGRADADAS POR *PINUS TAEDA* L

MYCORRHIZAL COMMUNITY IN NATIVE TREES APPLIED TO RECOVER DEGRADED AREAS BY *PINUS TAEDA* L

Lídia Klestadt Laurindo*
lidia.klestadt@hotmail.com

Tancredo Augusto Feitosa de Souza**
tancredo_agro@hotmail.com

Lucas Jónatan Rodrigues da Silva***
lucasrodriguesgestorambiental@gmail.com

Gislaine dos Santos Nascimento****
gislaynesantos30@gmail.com

*Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba/SC, Brasil

**Universidade Federal da Paraíba, Areia/PB, Brasil

***Universidade Estadual Paulista, Botucatu/SP, Brasil

****Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró/RN, Brasil

Resumo

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são simbioses obrigatórios que desempenham importante papel no desenvolvimento de espécies arbóreas em áreas degradadas. Objetivou-se caracterizar a comunidade de FMAs presentes no solo rizosférico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil, *Mimosa scabrella* Benth, ecossistema natural e área de regeneração natural presentes em um sistema agroflorestal (SAF) voltado a recuperação de uma área degradada por *Pinus taeda* L. Para a caracterização dos FMAs, foram coletadas 60 amostras de solo distribuídas em três parcelas de 500 m² localizadas em cada ambiente de estudo. Foram observadas diferenças significativas quanto ao índice de Shannon, com os maiores e menores valores para a área de regeneração natural e ecossistema natural, respectivamente. *G. gigantea* foi considerada como uma espécie rara e bioindicadora de recuperação dos ambientes de estudos. Concluiu-se que é necessário maior tempo de regeneração para o SAF avaliado apresentar as características ideais para a comunidade micorrízica, porém, a presença da espécie *M. scabrella* se mostrou importante como promotora da diversidade de FMAs.

PALAVRAS-CHAVE: Ambiente subtropical. Espécies arbóreas ameaçadas de extinção. Glomeromycota. Sistema agroflorestal.

Resumen

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son simbioses obligados que juegan un papel importante en el desarrollo de los árboles en áreas degradadas. Nuestro objetivo fue caracterizar la comunidad de HMA en suelo rizosférico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil, *Mimosa scabrella* Benth, ecossistema natural, y área de regeneración natural a partir de un sistema agroflorestal (SA) para recuperar un área degradada por *Pinus taeda* L. Para la caracterización de la HMA, se recogieron 60 muestras de suelo distribuidas en tres parcelas de 500 m² ubicadas dentro de cada entorno estudiado. Encontramos diferencias significativas en el índice de Shannon, con los valores mayor y menor para el área de regeneración natural y el ecossistema natural, respectivamente. *G. gigantea* fue considerada como una especie rara de HMA y como un bioindicador de recuperación de los ambientes estudiados. Concluimos que es

necesario un mayor tiempo de regeneración para que el sistema agroforestal presente una comunidad micorrízica ideal. Sin embargo, la presencia de la especie arbórea *M. scabrella* demostró ser importante para la diversidad de la HMA.

PALABRAS CLAVE: Sistema agroforestal. Especies arbóreas en peligro de extinción. Glomeromycota. Ambiente subtropical.

Abstract

The arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are obligate symbionts that play important role on tree development in to degraded areas. Our aim was to characterize the AMF community in rizospheric soil from *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil, and *Mimosa scabrella* Benth, natural ecosystem, and natural regeneration area from an agroforestry system (AF) to recover an area degraded by *Pinus taeda* L. For AMF characterization, we collected 60 soil samples distributed in three plots of 500 m² located inside each studied environment. We found significant differences on Shannon's index, with the higher and lower values for the natural regeneration area and natural ecosystem, respectively. *G. gigantea* was considered as a rare AMF species and as a bioindicator of recovery of the studied environments. We concluded that a longer regeneration time is necessary for the agroforestry system presents an ideal mycorrhizal community. However, the presence of the tree species *M. scabrella* proved to be important for the AMF diversity.

KEYWORDS: Agroforestry system. Endangered tree species. Glomeromycota. Subtropical environment.

1. Introdução

O solo possui uma variedade de organismos que fornecem o ambiente necessário para o desenvolvimento vegetal. Neste contexto, o solo deve ser considerado como um ecossistema capaz de fornecer serviços ecossistêmicos, o que permite a sua regulação interna e fluxo de energia. Neste cenário, a participação de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) é fundamental, pois estes atuam como promotores de resistência e desenvolvimento vegetal em áreas degradadas (PAYMANEH et al., 2019).

Perturbações no solo promovidas por espécies exóticas podem acelerar a sua degradação através da redução da diversidade de plantas e de FMAs. Em ambientes tropicais e subtropicais há redução na diversidade de FMAs, esporulação e colonização radicular em ambientes invadidos na ordem de 68,8, 45,7 e 89,6%, respectivamente em comparação a ecossistemas naturais (de SOUZA et al., 2019), o que corrobora com a hipótese sobre a redução da diversidade micorrízica em ambientes invadidos (YANG et al., 2011).

Em ecossistemas naturais, a comunidade de FMAs permanece em equilíbrio com a diversidade de plantas nativas, favorecendo a manutenção de propágulos de FMAs (de SOUZA et al., 2019) para o extrato regenerante. Porém, são poucos estudos envolvendo a caracterização da comunidade de FMAs em áreas de sistemas agroflorestais (SAFs) após um período de invasão biológica. Segundo dos Santos e Carrenho (2011), existem evidências que SAFs podem influenciar positivamente a comunidade de FMAs do solo.

Na Floresta de Araucária, no sul do Brasil, as principais arbóreas nativas utilizadas em SAFs são Bracatinga, Erva-mate e Araucária. A primeira é uma leguminosa arbórea pioneira com alto potencial para incorporação de N no solo (LAMMEL et al., 2015). A segunda, é uma arbórea com alta dependência de FMAs. Ervais nativos apresentam baixos teores de fósforo e as micorrizas auxiliam na

absorção desse nutriente. E por último, a Araucária, que apresenta alta dependência e influência da atividade de FMAs da Ordem Glomerales (ZANGARO et al., 2013).

Dessa forma, este estudo foi baseado nos seguintes questionamentos: Espécies arbóreas nativas cultivadas em SAFs podem promover a comunidade de FMAs em níveis superiores aos observados em ecossistemas naturais e áreas de regeneração natural? Dentre as espécies de arbóreas nativas empregadas no SAFs, quais a com maior potencial de estímulo de FMAs no solo? Para responder estes questionamentos foi elaborado um estudo de campo com coleta de solo rizosférico de *A. angustifolia*, *I. paraguariensis*, *M. scabrella*, ecossistema natural e regeneração natural na região do planalto catarinense para caracterização da comunidade de FMAs no solo.

2. Material e métodos

2.1. Área de estudo

O experimento foi realizado na área experimental agroflorestal, do Centro de Ciências Rurais, Departamento de Agricultura, Biodiversidade e Floresta da Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos - SC (27°16'58" S e 50°35'04" W, altitude de 987 m). O clima da região é do tipo subtropical úmido mesotérmico (Tipo Cfb) de acordo com a classificação de Köppen-Geiger. A precipitação e temperatura médias anuais são de 1.676 mm e 15 °C, respectivamente. O solo foi classificado como Cambissolo Húmico aluminico, textura muito argilosa (EMBRAPA, 2011).

2.2. Caracterização da área

O sistema agroflorestal da UFSC tem 0,80 ha, em uma área onde anteriormente houve invasão de *Pinus taeda* L., o qual foi removido no ano de 2010. A área foi subdividida em parcelas de 500 m², sendo estas enriquecidas gradativamente com espécies de interesse. No ano de 2013, iniciou-se a estruturação do SAF com objetivo de restauração da área, conforme descrito por Barbosa et al. (2017), foram mantidas algumas espécies nativas já presentes na área, a exemplo de espécies florestais como *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Pinheiro-do-Paraná), *Mimosa scabrella* Benth. (Bracatinga), *Solanum mauritanum* Scop. (fumo bravo), *Lithraea molleoides* (Vell.) Engl. (bugreiro), *Matayba elaeagnoides* Radlk. (camboatá branco), canelas (*Nectandra* spp.) e aroeiras (*Schinus* spp.), entre outras.

Já para enriquecimento florístico da área, foram introduzidas espécies, como: 1) Erva Mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.); 2) Frutíferas: utilizando a pitangueira (*Eugenia uniflora* L.), a goiaba serrana (*Acca sellowiana* (O.Berg) Burret), araça (*Psidium cattleianum* Sabine), ingá (*Inga* spp.), cerejeira (*Eugenia involucrata* DC.), guabiroba (*Campomanesia xanthocarpa* (Mart.) O.Berg); 3) com rotações de herbáceas anuais de inverno como o azevém (*Lolium multiflorum* Lam) e aveia (*Avena sativa* L.).

As atividades de manejo empregadas durante a implementação do SAF não envolveram o revolvimento do solo, nem utilizaram defensivos agrícolas convencionais ou fertilizantes de alta solubilidade. A correção do solo foi realizada através de calagem (e.g., aplicação de calcário dolomítico em superfície), aplicação de cinza, fosfato natural e composto orgânico. O único tratamento fitossanitário realizado foi o controle de formigas com o uso de iscas à base de óleo de Neen (BARBOSA et al., 2017).

2.3. Delineamento experimental

Foi realizado um experimento em condições de campo seguindo um esquema de amostragem aleatória sistemática simples (de SOUZA et al., 2019) com 5 ambientes (SAF - *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, SAF - *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil, SAF - *Mimosa scabrella* Benth, ecossistema natural – Floresta Ombrófila mista e regeneração natural – anteriormente ocupado por *Pinus taeda* L.). Em cada ambiente foram demarcadas três parcelas de 500 m², onde foram selecionadas 18 plantas correspondentes a indivíduos adultos com características semelhantes de altura, diâmetro de altura do

peito (DAP), saudáveis e sem indivíduos de outras espécies em um raio de 3 m de distância. Para cada bloco, foram coletadas 6 amostras de solo ao redor de cada planta da zona radicular das arbóreas para extração de esporos de FMAs. Foi considerada como a zona radicular, a região localizada abaixo da copa das árvores (i.e., aproximadamente 1,5 m de distância da base de cada espécie, exceto para *I. paraguariensis* onde utilizou uma distância de 0,5 m da base) e que apresentaram entre 15.0 e 25.0 g dm⁻² de raízes finas (com diâmetro inferior a 2 mm).

No total, foram coletadas 60 amostras da serapilheira e de solo na camada de 0,0 a 0,10 m e 0,11 a 0,20 m de profundidade distribuídas nas três parcelas de 500 m² localizadas em cada ambiente de estudo (SAF - *A. angustifolia*, SAF - *I. paraguariensis*, SAF - *M. scabrella*, ecossistema natural e regeneração natural). Na serapilheira e no solo foram avaliados (Tabela 1) carbono orgânico total pelo método da oxidação rápida com dicromato de potássio (método Walkley-Black), fósforo disponível (extraído por Mehlich 1 e determinado por espectrofotometria de absorção molecular) e apenas na serapilheira o nitrogênio total (digestão sulfúrica em bloco digestor e determinação usando destilador de nitrogênio Kjeldahl (TEIXEIRA et al. 2017). Além disso, apenas no solo foi avaliado o pH em água (1:2,5, v:v), respiração microbiana pelo método da incubação e carbono da biomassa microbiana através do método de fumigação-extração de acordo com Embrapa (2011).

Tabela 1. Caracterização química da serapilheira, solo e atividade microbiana de um sistema agroflorestal, ecossistema natural e área em regeneração natural (N = 18)

Zona avaliada	pH H ₂ O (1:2,5 v:v)	P mg kg ⁻¹	COT ¹ g kg ⁻¹	N ² g kg ⁻¹	C-BM ³ mg kg ⁻¹	C-RM ⁴ C-CO ₂ mg kg ⁻¹ h ⁻¹
Sistema agroflorestal						
Serapilheira	-	20,41	82,25	9,94	-	-
0,0 - 0,10 m	5,6	24,30	22,15	0,94	5,07	0,217
0,11 - 0,20 m	4,5	4,77	21,85	0,51	1,73	0,064
Ecossistema natural						
Serapilheira	-	15,34	112,23	6,53	-	-
0,0 - 0,10 m	4,8	6,22	100,23	2,09	11,33	0,164
0,11 - 0,20 m	4,6	2,36	98,22	1,23	6,32	0,987
Regeneração natural						
Serapilheira	-	14,56	98,56	7,59	-	-
0,0 - 0,10 m	4,7	5,78	76,45	2,34	8,45	0,187
0,11 - 0,20 m	4,5	1,98	67,78	1,15	2,31	0,112

¹COT = Carbono orgânico total; ²N = Nitrogênio total; ³C-BM = Carbono da biomassa microbiana; e ⁴C-RM = Carbono da respiração microbiana

2.4. Extração e identificação dos esporos de FMAs

A extração e identificação dos esporos de FMAs para caracterização da comunidade micorrízica foi realizada através do método de peneiramento úmido (GERDEMANN; NICOLSON, 1963) seguido de centrifugação com gradiente de sacarose (JENKINS, 1964). Os esporos coletados foram colocados em vidro relógio, separados de acordo com os morfotipos inicialmente (e.g., glomóide, gigasporóide e acaulosporóide). Em seguida cada morfotipo foi identificado em nível de espécie com auxílio de microscópio estereoscópico, baseados no banco de dados INVAM (<http://invam.caf.wvu.edu>), seguindo recomendações descritas em de Souza et al. (2019). Com base nos resultados da abundância de esporos (esporos 100 g solo⁻¹) foram calculados a riqueza de espécies de FMAs, índices de diversidade e índice

de dominância.

2.5. Análise estatística

Empregou-se o teste de Shapiro-Wilk para testar a normalidade dos dados. Para a análise de variância foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis para testar se houve diferenças significativas na composição da comunidade de FMAs entre as espécies florestais nativas). As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o software livre R (R STUDIO TEAM, 2016).

3. Resultados e discussão

Foram identificados um total de 12 espécies de FMAs pertencentes a quatro famílias: Acaulosporaceae (1), Claroideoglomeraceae (2), Gigasporaceae (5) e Glomeraceae (4). Em ordem decrescente, na zona radicular de *M. scabrella*, *A. angustifolia*, ecossistema natural, *I. paraguariensis* e área em regeneração foram observadas 11, 10, 10, 10 e 9 espécies de FMAs, respectivamente. *Funneliformis mosseae* foi a espécie de FMAs mais abundante em todas os ambientes avaliados, enquanto *Acaulospora tuberculata* e *Glomus coremioides*, foram exclusivas do ecossistema natural e *M. scabrella*, respectivamente. Observou-se diferenças significativas da abundância de esporos de *Gigaspora margarita* ($X^2 = 11,437$, $p < 0,05$) e *A. tuberculata* ($X^2 = 19,00$, $p < 0,001$) entre as áreas de estudo. Sendo os maiores valores de abundância destas duas espécies de FMAs observados no ecossistema natural [1.67(0,15) e 0.33(0,05), respectivamente] (Tabela 2).

Tabela 2. Esporos de FMAs (esporos g solo⁻¹) observados na zona radicular de *A. angustifolia*, *I. paraguariensis*, *M. scabrella*, ecossistema natural e área em regeneração natural localizados na região do planalto catarinense

Espécies de FMA	A. <i>angustifolia</i>	I. <i>paraguariensis</i>	M. <i>scabrella</i>	E.N	R.N
Família Acaulosporaceae					
<i>Acaulospora tuberculata</i> (Janos & Trappe)	-	-	-	0,33(0,05) ¹ a ²	-
Família Claroideoglomeraceae					
<i>Claroideoglomus claroideum</i> (W.C. Becker & Gerd.) C. Walker & Schüssler	5,05(0,43)a	5,05(0,50)a	4,33(0,27)a	2,33(0,32)a	3,33(0,25)a
<i>C. etunicatum</i> (W.C. Becker & Gerd.) C. Walker & Schüssler	0,05(0,23)a	0,05(0,23)a	0,05(0,05)a	-	0,33(0,57)a
Família Gigasporaceae					
<i>Dentiscutata cerradensis</i> (Spain & Miranda) Sieverd., F.A. Souza & Oehl	0,94(0,18)a	0,44(0,06)a	0,72(0,09)a	0,66(0,05)a	2,66(0,20)a
<i>Gigaspora albida</i> (N.C.Schenck & G.S.Sm.)	1,44(0,13)a	1,22(0,11)a	1,66(0,16)a	1,66(0,20)a	1,33(0,05)a
<i>G. gigantea</i> (T.H. Nicolson & Gerd.) Gerd. & Trappe	0,83(0,07)a	0,88(0,10)a	0,38(0,06)a	0,66(0,11)a	1,33(0,05)a
<i>G. margarita</i> W.N. Becker & I.R. Hall	0,33(0,08)b	0,11(0,05)b	0,11(0,05)b	1,67(0,15)a	-
<i>Racocetra coralloidea</i> (Trappe, Gerd. & I. Ho) Oehl, F.A. Soza & Sieverd	0,61(0,08)a	0,44(0,07)a	0,55(0,12)a	0,33(0,05)a	0,66(0,11)a
Família Glomeraceae					
<i>F. mosseae</i> (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & A. Schüssler	11,66(0,92)a	9,38(0,61)a	10,00(0,61)a	14,33(0,57)a	20,00(0,98)a
<i>Glomus</i> sp. (Tul. & C.Tul.)	2,05(0,19)a	1,27(0,09)a	1,22(0,16)a	2,33(0,40)a	4,66(0,64)a
<i>G. coremioides</i> (Berk. & Broome)	-	-	0,05(0,02)a	-	-

D.Redecker & J.B.Morton

Rhizophagus clarus (T.H. Nicolson &

N.C. Schenck) C. Walker & A.

Schüssler

3,16(0,37)a

3,11(0,29)a

2,66(0,26)a

3,00(0,17)a

6,66(0,66)a

¹Dados entre parênteses representam o desvio padrão; ²Letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; E.N = Área do ecossistema natural; R.N = Área de regeneração natural.

Observou-se que a abundância de esporos, riqueza, diversidade e dominância de espécies de FMAs observadas nas três espécies arbóreas (*A. angustifolia*, *I. paraguariensis* e *M. scabrella*) presentes no SAF foram superiores ao observado no ecossistema natural, corroborando a hipótese de que estas três espécies de plantas nativas estimulam a atividade micorrízica em ambientes naturais ou com histórico de degradação.

Com base nos resultados da tabela 2, foi observado um baixo número de espécies identificadas de FMA's (i.e., 12 espécies) quando comparado com outros estudos realizados em condições subtropicais que demonstram uma variação de 15 a 18 espécies de FMAs na Arábia Saudita (HASHEM et al. 2018), 22 a 25 espécies de FMAs, na China (YANG et al., 2011) e 45 a 50 espécies de FMAs, no Brasil (dos SANTOS; CARRENHO, 2011). Segundo de Souza et al. (2019), o número de espécies de FMAs presentes no solo é determinado pela: a) diversidade de plantas hospedeiras, b) umidade no solo, e c) idade das plantas. Em áreas com histórico da presença massiva de espécies exóticas como o *P. taeda* L deve-se considerar a formação de uma camada de serapilheira densa que funciona como uma barreira física para o extrato regenerante. Em seguida, tem-se redução do processo de ciclagem de nutrientes e redução da atividade radicular. Por fim, em longo prazo nestas condições apenas fungos decompositores de lignina e polifenóis permanecem no ambiente rizosférico (JO et al., 2020).

Em relação à riqueza de FMAs, não houve diferença significativa entre os ambientes estudados ($X^2 = 2,14$, $p = 0,70$). Quanto à diversidade de FMAs, observou-se que os dados atendiam a uma distribuição normal ($W = 0,9721$, $p > 0,05$) e, portanto, foi realizada análise de variância do tipo “one-way”. Foram observadas diferenças significativas na diversidade de FMAs nas zonas radiculares estudadas ($F = 2,98$, $p < 0,05$), sendo a maior diversidade observada na área em regeneração natural [1,75(0,01)] (Fig. 1). Já para o índice de Simpson, observou-se diferenças significativas pelo teste de Kruskal-Wallis ($X^2 = 10,06$, $p < 0,05$) entre os ambientes avaliados. Sendo os maiores valores do índice de Simpson observados na área em regeneração e na zona radicular de *A. angustifolia* [0,74(0,001), para ambos] (Tabela 3).

Tabela 3. Riqueza de espécies e índices de diversidade de Shannon e dominância de Simpson observados na zona radicular de *A. angustifolia*, *I. paraguariensis*, *M. scabrella*, ecossistema natural e área em regeneração natural localizadas na região do planalto catarinense

Variáveis	<i>A. angustifolia</i>	<i>I. paraguariensis</i>	<i>M. scabrella</i>	E.N	R.N
Riqueza de espécies	8,27(0,21) ¹ a ²	8,00(0,17)a	7,72(0,17)a	8,00(0,10) a	9,33(0,15)a
Diversidade de Shannon (H')	1,67(0,02)b	1,49(0,02)c	1,58(0,02)b	1,26(0,03)d	1,75 (0,01)a
Dominância de Simpson (C)	0,74(0,001)a	0,67(0,01)ab	0,73(0,02)a	0,58(0,01)b	0,74(0,001)a

¹Dados entre parênteses representam o desvio padrão; ²Letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; E.N = Área do ecossistema natural; R.N = Área de regeneração natural.

Em todas as amostras observou-se a presença das famílias Gigasporaceae e Glomeraceae, sendo a primeira com maior abundância que a segunda, o que difere de trabalhos avaliando a comunidade de FMA em zonas subtropicais, como Zangaro et al. (2013), onde as principais famílias de FMAs

observadas foram Acaulosporaceae e Glomeraceae. A predominância de ambas as famílias pode estar relacionada à qualidade do ambiente edáfico e favorecimento da esporulação em função do pH do solo e dos teores de P disponível. Espécies do gênero *Acaulospora* e *Glomus* possuem esporos de menor tamanho em relação aos outros FMAs, facilitando a dispersão e produzindo uma grande quantidade em um curto período (YANG et al., 2011). Entretanto, a esporulação de Acaulosporaceae e Glomeraceae cessa com o crescimento da raiz, já em Gigasporaceae, o processo pode continuar ocorrendo em níveis mais baixos. Stürmer et al. (2018), em um estudo comparativo entre as famílias Acaulosporaceae, Glomeraceae e Gigasporaceae, determinaram o pH do solo como sendo o principal fator que influencia na dominância destas espécies. Allen et al. (1998), observaram uma maior frequência do gênero *Glomus* em pH próximo a 6,0 o que pode explicar a baixa ocorrência deste gênero neste estudo, ao comparar com os demais gêneros da família Glomeraceae. Já *Gigaspora* predominou em solo com pH entre 5,0 - 6,0 (PAYMANEH et al., 2019), o que explica a predominância deste gênero nas nossas amostras.

Além disso, *Gigaspora* tende a prevalecer em ambientes naturalmente estressados (ZANGARO et al., 2013), como é o caso das áreas avaliadas, onde anteriormente havia um estágio de degradação impulsionado pela invasão biológica de *Pinus*. Diferente do encontrado neste trabalho, diversos estudos demonstram que Acaulosporaceae é a família de FMAs mais comum nas raízes de *A. angustifolia*, *I. paraguariensis* (BERGOTTINI et al., 2017) e *M. scabrella* (LAMMEL et al., 2015). De fato, há uma dificuldade em se estabelecer um padrão de distribuição de FMAs e isto pode estar relacionado a fatores bióticos e abióticos como também as diferentes estratégias de sobrevivência desses fungos (RIMINGTON et al., 2019). Entretanto, espécies de *Acaulospora* são encontradas com mais frequência em solos ácidos, como descrito nos estudos realizados por Gomes e Trufem (1998), onde relataram a presença deste gênero em solos com pH < 4,0. Além disso, Allen et al. (1998) registraram maior ocorrência de *Acaulospora* em locais cuja temperatura média anual fica em torno de 27 °C, fato que pode explicar a baixa presença do gênero, já que o local estudado possui temperaturas consideravelmente menores (i.e., 15 °C).

Outro fator interessante foi a predominância de *F. mosseae* em todas as zonas radiculares estudadas, o que pode ser justificada pelo fato de esta espécie de fungo micorrízico possuir alta capacidade de esporulação e ampla distribuição independentemente das espécies de planta hospedeira (de Souza et al. 2019). Também se trata de uma espécie cosmopolita que se associa a muitas espécies de plantas, além de ser altamente resistente a distúrbios no solo (AL-QARAWY et al., 2013). Outros estudos, como Stürmer et al. (2018) também mostram a predominância de *F. mosseae* entre as espécies observadas.

A espécie *A. tuberculata* foi exclusiva do ecossistema natural e apresentou uma abundância de esporos significativa para este ambiente. Estudos realizados por de Souza et al. (2019) e Al-Qarawy et al. (2013), também mostraram abundância para a mesma espécie em diferentes estágios de crescimento da espécie vegetal avaliada, mostrando que a espécie *A. tuberculata* é uma boa competidora, pois manteve a dominância em relação as outras espécies de FMAs, mesmo em diferentes fases de crescimento da espécie vegetal. Além disso, a espécie se adapta melhor a ambientes menos estressados, o que também explica a exclusividade da espécie *G. coremioides* observada para a zona radicular de *M. scabrella*, mostrando que, mesmo o sistema agroflorestral sendo uma área ainda em recuperação, devido ao plantio de *Pinus* que havia no local no passado, a espécie *M. scabrella* pode ser uma excelente opção para impulsionar a restauração da área. A espécie *G. margarita* também apresentou uma abundância significativa para o ecossistema natural. Um estudo realizado por Barbosa et al. (2019) determinou que a multiplicação de esporos varia com o tempo, entre as diferentes espécies de FMAs, sendo que *G. margarita* foi uma das espécies que necessitou de maior tempo de colonização para que houvesse a multiplicação. O que pode explicar a abundância dessa espécie de fungo micorrízico em um ecossistema natural, já que este possui maior tempo de desenvolvimento.

Observaram-se alterações nos teores de fósforo disponível, carbono orgânico total e nitrogênio total entre a serapilheira e as camadas de solo avaliadas. Como mostrado por Caldeira et al. (2007), a serapilheira diminui a lixiviação dos nutrientes no solo e aumenta a decomposição da matéria orgânica, fazendo com que haja liberação dos nutrientes. Se tornando assim, a principal via de transferência de nutrientes para o solo. Os maiores teores de carbono orgânico total e nitrogênio total, causados por leguminosas, influenciam significativamente na diversidade de FMAs (de SOUZA et al., 2019), como ocorre neste experimento, onde apenas uma espécie de fungo micorrízico não foi encontrado na zona radicular de *M. scabrella*.

A diversidade de FMAs foi considerada significativa, sendo que os maiores valores foram vistos na área em regeneração e os menores valores no ecossistema natural. Segundo Alguacil et al. (2008), a diversidade de FMAs se relaciona com o sistema de preparo de solo e com a planta hospedeira. Sendo que, em habitats subtropicais, a competição nutricional com outros fungos simbiossiontes pode também ser uma influência na composição de FMAs.

Ao comparar a composição micorrízica em ecossistemas naturais com áreas de cultivo, pode-se dizer que com o passar do tempo a comunidade de FMAs pode sofrer alterações devido a forma de manejo empregada em áreas de cultivo. Porém, é comum que a diversidade de Shannon seja maior na área cultivada. É o que ocorre em um estudo realizado por Li et al. (2007) e pode ser explicado pelo fato de que este índice determina os indivíduos de cada espécie e a uniformidade da distribuição e essa uniformidade é maior em sistemas mais perturbados. Ao comparar-se um ecossistema natural com uma área em regeneração, outro ponto também deve ser considerado, o fato de que em uma área em regeneração a diversidade de FMAs será maior, pois as raízes são mais jovens, possibilitando uma maior micorrização, diferente do que ocorre em ecossistemas naturais, onde as raízes são mais suberizadas, dificultando ou até mesmo impedindo esta interação. Isto é relatado em um estudo de Zangaro et al. (2013), envolvendo diferentes estágios de regeneração de um bioma da Mata Atlântica, os resultados mostram que a colonização micorrízica foi menor na área com maior estágio de desenvolvimento. Foram observadas diferenças significativas em relação à dominância de espécies de FMAs, isto pode ser o resultado da interação de alguns fatores do ambiente, como características químicas e físicas do solo, assim como as características da planta, tanto fisiológicas como morfológicas e se estas possuem compatibilidade genética com as espécies de FMAs e também a dispersão dos fungos e a extinção de algumas espécies do local.

3. Conclusão

Concluiu-se que o SAF como estratégia de restauração possui características positivas para a presença dos FMAs, porém, este é ainda um local que necessita de maior tempo de recuperação para que um ambiente mais próximo ao ideal se estabeleça e novos estudos possam ser realizados para reavaliar a comunidade micorrízica. Nota-se que a presença de leguminosas, além de ser uma ótima escolha para pequenos produtores, facilita o processo de regeneração e favorece a presença de uma microbiota, sendo interessante a presença destas em sistemas agrofloretais. Além disso, é necessário que mais estudos sejam realizados em ambientes subtropicais, em especial no Brasil, para que se compreenda a influência do ambiente e da vegetação sobre os FMAs, assim a influência deles no ambiente. Também elucidar a interação destes com outros organismos edáficos, como por exemplo os nematoides, para que, então, os pequenos produtores, em especial, entendam a importância destes fungos na manutenção dos ecossistemas, já que muitos não possuem contato com esta realidade.

Referências

ALGUACIL, M. M.; LUMINI, E.; ROLDÁN, A.; SALINAS-GARCIA, J. R.; BONFANTE, P.; BIANCIOTTO, V. The impact of tillage practices on arbuscular mycorrhizal fungal diversity in subtropical crops. **Ecological Society of America**, v. 18, n. 2, p. 527-536, 2008.

<https://doi.org/10.1890/07-0521.1>

- ALLEN, E. B.; RINCÓN, E.; ALLEN, M. F.; PÉREZ-JIMENEZ, A.; HUANTE, P. Disturbance and seasonal dynamics of mycorrhizae in a tropical deciduous forest in México. **Biotropica**, v. 30, n. 2, p. 261-274, 1998. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.1998.tb00060.x>
- AL-QARAWI, A. A.; MRIDHA, M. A. U.; DHAR, P. P. Report of *Funneliformis mosseae* (Nicol. & Gerd.) Gerd. and Trappe from rangeland soil of Saudi Arabia, **Research Journal of Biotechnology**, v. 8, n. 1, p. 96–99, 2013.
- BARBOSA, J., SILVA, K. C. R.; CARDUCCI, C. E.; SANTOS, K. L.; KOHN, L. S.; FUCKS, J. S. Atributos Físico-hídricos de um Cambissolo Húmico Sob Sistema Agroflorestal no Planalto Catarinense. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 1-9, 2017.
- BARBOSA, M. V.; PEDROSO, D. F.; PINTO, F. A.; SANTOS, J. V.; CARNEIRO, M. A. C. Arbuscular mycorrhizal fungi and *Urochloa brizantha*: symbiosis and spore multiplication. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, e54530. Epub August 15, 2019. <https://doi.org/10.1590/1983-40632019v4954530>
- BERGOTTINI, V. M.; HERVÉ, V.; SOSA, D. A.; OTEGUI, M. B.; ZAPATA, P. D.; JUNIER, P. Exploring the diversity of the root-associated microbiome of *Ilex paraguariensis* St. Hil. (Yerba Mate). **Applied Soil Ecology**, v. 109, p. 23–31, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.09.013>
- CALDEIRA, M. V. W.; MARQUES, R.; SOARES, R. V.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes – Floresta Ombrófila Mista Montana – Paraná. **Revista Acadêmica**, v. 5, n. 2, p. 101-116, 2007. <https://doi.org/10.7213/cienciaanimal.v5i2.9720>
- de SOUZA, T. A. F.; SANTOS, D.; ANDRADE, L. A.; FREITAS, H. Plant-soil feedback of two legume species in semi-arid Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 50, p. 1011–1020, 2019. <https://doi.org/10.1007/s42770-019-00125-y>
- dos SANTOS, F. E. F.; CARRENHO, R. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em remanescente florestal impactado (Parque Cinqüentenário - Maringá, Paraná, Brasil). **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 2, p. 508-516, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062011000200026>
- EMBRAPA. **Serviço nacional de pesquisa de solos: manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.
- 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, n. 2, p. 235-244, 1963. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0)
- GOMES, S. P.; TRUFEM, S. F. B. Fungos micorrízicos arbusculares (Glomales, Zygomycota) na Ilha dos Eucaliptos, Represa do Guarapiranga, São Paulo, SP. **Acta Botanica Brasilica**, v. 12, n. 3, p. 395-401, 1998. <https://doi.org/10.1590/S0102-33061998000400008>
- HASHEM, A.; HUQAIL, A. A.; ALQARAWI, A. A. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Acacia gerrardii* benth in different habitats of Saudi Arabia. **Pakistan Journal of Botany**, v. 50, n. 3, p. 1211-1217, 2018.
- JENKINS, W. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant disease reporter**, v. 48, n. 9, 1964.

JO, I.; FRIDLEY, J. D.; FRANK, D. A. Rapid leaf litter decomposition of deciduous understory shrubs and lianas mediated by mesofauna. **Plant ecology**, v. 221, p. 63-68, 2020.

<https://doi.org/10.1007/s11258-019-00992-3>

LAMMEL, D. R.; CRUZ, L. M.; MESCOLOTTI, D.; STÜRMER, S. L.; CARDOSO, E. J. B. N. Woody *Mimosa* species are nodulated by Burkholderia in ombrophylous forest soils and their symbioses are enhanced by arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). **Plant and Soil**, v. 393, n. 1-2, p. 123-135, 2015.

<https://doi.org/10.1007/s11104-015-2470-0>

LI, L.; LI, T.; ZHAO, Z. Differences of arbuscular mycorrhizal fungal diversity and community between a cultivated land, an old field, and a never-cultivated field in a hot and arid ecosystem of southwest China. **Mycorrhiza**, v. 17, p. 655-665, 2007. <https://doi.org/10.1007/s00572-007-0143-4>

PAYMANEH, Z.; SARCHESHMEHPOUR, M.; BUKOVSKÁ, P.; JANSA, J. Could indigenous arbuscular mycorrhizal communities be used to improve tolerance of pistachio to salinity and/or drought? **Symbiosis**, v. 79, n. 269-283, 2019. <https://doi.org/10.1007/s13199-019-00645-z>

R STUDIO TEAM. 2016. **RStudio**: Integrated Development Environment for R. RStudio, Inc., Boston, MA. URL <http://www.rstudio.com/>

RIMINGTON, W. R.; PRESSEL, S.; DUCKETT, J. G.; FIELD, K. J.; BIDARTONDO, M. I. Evolution and networks in ancient and widespread symbioses between Mucoromycota and liverworks.

Mycorrhiza v. 29, p. 551-565, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00572-019-00918-x>

STÜRMER, S. L.; OLIVEIRA, L. Z.; MORTON, J. B. Gigasporaceae versus Glomeraceae (Phylum Glomeromycota): A biogeographic tale of dominance in maritime sand dunes. **Fungal Ecology**, v. 32, p. 49-56, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2017.11.008>

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2017. 573p.

YANG, A. N.; LU, L.; ZHANG, N. The diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the subtropical forest of Huangshan (Yellow Mountain), East-Central China. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 27, n. 10, p. 2351-2358, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0702-x>

ZANGARO, W.; ROSTIROLA, L. V.; SOUZA, P. B.; ALVES, R. A.; LESCANO, L. E. A. M.; RONDINA, A. B. L.; NOGUEIRA, M. A., CARRENHO, R. Root colonization and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi in distinct successional stages from an Atlantic rainforest biome in southern Brazil. **Mycorrhiza**, v. 23, p. 221-233, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00572-012-0464-9>

Recebido em: 02/05/2022

Aceito em: 22/03/2023

Endereço para correspondência:

Nome: Lídia Klestadt Laurindo

E-mail: lidia.klestadt@hotmail.com



Esta obra está licenciada sob uma [Licença Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)