

POTENCIAL DE INÓCULO DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM SOLO CULTIVADO COM AVEIA EM UMUARAMA – PR

Caroline Lermen¹
 Fabio Gomes Ferreira¹
 Janaina Camilotti¹
 Keila Fernanda Raimundo¹
 Regiane Cristina Urcoviche¹
 Cristiane Guellis²
 Odair Alberton³

LERMEN, C.; FERREIRA, F. G.; CAMILOTTI, J.; RAIMUNDO, K. F.; URCOVICHE, R. C.; GUELLIS, C.; ALBERTON, O. Potencial de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares em solo cultivado com aveia em Umuarama – PR. **Arq. Ciênc. Vet. Zool. UNIPAR**, Umuarama, v. 15, n. 1, p. 49-55, jan./jun. 2012.

RESUMO: Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são importantes para a sobrevivência e desenvolvimento das plantas e podem ser influenciados pelo manejo do solo. O objetivo do estudo foi avaliar os efeitos do cultivo da aveia preta na atividade microbiana do solo por isso da respiração basal do solo (RBS), o teor de matéria orgânica do solo (MOS), a densidade de esporos, colonização radicular e o potencial de inóculo de FMAs em relação à mata ciliar adjacente localizada na Universidade Paranaense – UNIPAR, Campus II – Unidade de Umuarama – PR. O potencial de infectividade do solo por FMAs foi definido a partir do método do número mais provável (NMP). O cultivo de aveia preta diminuiu a RBS em 22% quando comparado com o solo da mata ciliar, provavelmente devido ao maior teor de MOS na mata. A densidade de esporos dos FMAs apresentou diferenças significativas ($p < 0,01$), variando de 7,74 a 10,53 esporos g^{-1} em solo na mata ciliar e aveia preta, respectivamente. A colonização radicular por FMAs foi significativamente maior ($p < 0,02$) na aveia preta (36%) do que na mata ciliar (26%). O potencial de inóculo de FMAs foi maior no solo cultivado com aveia preta (1,09 propágulos g^{-1} de solo) do que no solo de mata ciliar (0,36 propágulos g^{-1}). O cultivo do solo com aveia preta e baixo pH do solo aumentou a densidade de esporos, colonização radicular e potencial de inóculo de FMAs.

PALAVRAS-CHAVE: Micorriza; Atividade microbiana do solo; Simbiose; Manejo do solo.

INFECTIVITY POTENTIAL OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN SOIL CULTIVATED WITH BLACK OATS IN UMUARAMA – PR

ABSTRACT: Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are important for the survival and development of plants and may be influenced by the soil management. The objective of the study was to evaluate the effects of soil cultivation with black oats on soil microbial activity, basal soil respiration (BSR), soil organic matter (SOM), spore density, root colonization and infectivity potential of AMF in relation to a nearby riparian forest located at Universidade Paranaense, Campus II, Umuarama – PR. The infectivity potential of the soil by AMF was defined by the most probable number method (MPN). Cultivation of black oats decreased BSR by 22% when compared with riparian forest, probably due to high SOM in the riparian forest. Mycorrhizal spore density had significant differences ($p < 0.01$) between sampled areas, 7.74 to 10.53 spores g^{-1} of soil cultivated by riparian forest and black oats, respectively. Mycorrhizal root colonization was significantly ($p < 0.02$) higher in black oats (36%) than in riparian forest (26%). The infectivity potential of the soil by AMF was higher for soil cultivated with black oats (1.09 propagules g^{-1} of soil) than riparian forest (0.36 propagules g^{-1} of soil). The soil cultivation with black oats and the low soil pH increased spore density, root colonization and infectivity potential of AMF.

KEYWORDS: Mycorrhiza; Soil microbial activity; Symbiosis; Soil management.

POTENCIAL INOCULO DE HONGOS MICORRIZAS ARBUSCULARES EN SUELO CULTIVADO CON AVENA EN UMUARAMA – PR

RESUMEN: Los hongos micorrizas arbusculares (HMA) son importantes para la supervivencia y desarrollo de las plantas y pueden ser influenciados por el manejo del suelo. El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos del cultivo de avena negra en la actividad microbiana del suelo, por respiración basal del suelo (RBS), el contenido de materia orgánica del suelo (MOS), la densidad de esporas, colonización radicular y potencial de inóculo de HMAs en comparación con la mata ciliar adyacente ubicada en la Universidad Paranaense - UNIPAR, Campus II - Unidad Umuarama - PR. El potencial de infectividad del suelo por HMA se ha definido a partir del método de número más probable (NMP). El cultivo de avena negra disminuyó la RBS en 22% en comparación con el suelo de la mata ciliar, probablemente debido al mayor contenido de MOS

¹Mestrandos do Programa de Biotecnologia Aplicada à Agricultura; UNIPAR, Umuarama – PR. E-mail: carolinelermen@hotmail.com

²Discente do curso de química industrial, PIBIC da UNIPAR, Umuarama – PR. E-mail: hta.chris@hotmail.com;

³Docente do Programa de Mestrado em Biotecnologia Aplicada à Agricultura; UNIPAR, Umuarama – PR. odair@unipar.br

en la mata. La densidad de esporas de los HMAs presentó diferencias significativas ($p < 0,01$), variando de 7,74 a 10,53 esporas g^{-1} en suelo de la mata ciliar y avena negra. La colonización radicular por HMAs fue significativamente mayor ($p < 0,02$) en la avena negra (36%), en comparación con la mata ciliar (26%). El potencial de inóculo de HMAs fue mayor en el suelo cultivado con avena negra (1,09 propágulos g^{-1} del suelo), en comparación con 0,36 propágulos g^{-1} del suelo de la mata ciliar. El suelo cultivado con avena negra es bajo en pH, aumentando la densidad de esporas, colonización radicular y potencial de inóculo de HMAs.

PALABRAS CLAVE: Micorriza; Actividad microbiana del suelo; Simbiosis; Manejo del suelo.

Introdução

O cultivo do solo modifica suas propriedades físicas, químicas e biológicas em relação ao solo não cultivado, como aquele encontrado em campos e matas nativas (KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010; CUNHA, et al., 2012). Essas alterações são mais acentuadas nos sistemas convencionais de preparo do solo, do que nos conservacionistas como plantio direto (PD), as quais se manifestam na densidade do solo volume e distribuição de tamanho dos poros e estabilidade dos agregados do solo, afetando a infiltração da água, erosão hídrica, teor de matéria orgânica do solo (MOS), atividade e biomassa microbiana e desenvolvimento das plantas (BERTOL, et al., 2004; FERNANDES, 2009; KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010).

Segundo Rossi et al. (2007) a cobertura de plantas sobre o solo tem efeito direto na temperatura do solo e a conservação da umidade no solo. Para as comunidades de plantas infestantes também podem ser afetadas pelo manejo da cobertura vegetal, favorecendo ou desfavorecendo espécies. No estudo de Rossi et al. (2007) o revolvimento do solo aumentou a diversidade de plantas daninhas em um solo com cobertura vegetal de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb). A incorporação da aveia preta, após 60 dias, teve o mesmo comportamento que o solo descoberto, quanto à umidade e temperatura do solo.

A aveia preta, frequentemente, cultivada no inverno do Sul e Sudeste do Brasil, como cobertura do solo e adubação verde, é muito eficiente na ciclagem de nutrientes devido sua grande capacidade de síntese de matéria seca e seu sistema radicular bem desenvolvido. Entretanto, a ciclagem de nutrientes pela aveia pode ser influenciada pela disponibilidade de nitrogênio no solo, já que a aveia preta tem uma relação C/N elevada (SANTI; AMADO; ACOSTA, 2003).

A camada superficial do solo constitui um reservatório de micro-organismos, sendo assim, qualquer agente que exerça impacto sobre este horizonte do solo, desempenhará grande influência ecológica e no emprego dos micro-organismos. Dessa forma, diferentes sistemas de uso da terra podem exercer influência nos micro-organismos do solo e seus processos e precisa ser avaliado, como exemplo, o impacto do cultivo de aveia preta (ARAÚJO, 2008; KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) constituem um dos mais importantes grupos de micro-organismos do solo e da rizosfera (SIQUEIRA, et al., 2010). Os FMAs estabelecem uma associação de mutualismo com raízes da maioria das plantas superiores, formando uma interação morfológica e funcional entre os simbiossantes com benefícios que excedem as especificidades da relação fungo-planta, sendo assim de grande interesse ecológico e agrícola (ARAÚJO, 2008; SIQUEIRA, et al., 2010). Os FMAs são uma alternativa para diminuir o uso de fertilizantes e proporcionar às plan-

tas melhores condições de absorção dos nutrientes e água do solo, visto que aumentam a área de absorção das raízes das plantas, permitindo que explorem o solo mais eficientemente, tornando-as menos dependentes de fertilizantes e, ao mesmo tempo, proporcionando maior capacidade produtiva do solo, aumentando a produtividade agrícola (MILLER; JASTROW, 2002). Entretanto, a conversão de áreas nativas preservadas em áreas agrícolas ou de pastagem modifica a situação de equilíbrio estabelecida anteriormente, e afeta a quantidade e a viabilidade de propágulos de FMAs (WILSON; TRINICK, 1983).

Os levantamentos da densidade e diversidade de espécies de FMAs no solo devem ser realizados para se potencializar a simbiose micorrízica. Além da identificação das espécies, é importante ressaltar a determinação precisa da sua capacidade infectiva e do número de propágulos infectivos (NPI) no solo. Essas variáveis fornecem informações sobre a diversidade ativa de FMAs no solo, ou seja, sobre a capacidade de desenvolver a simbiose, e a velocidade com que a colonização se estabelece (CAPRONI, et al., 2003a).

A contagem direta de esporos indica a diversidade potencial da população de FMAs, ativa e inativa. A técnica modificada do número mais provável (NMP) por espécie é útil na comparação de áreas degradadas por mineração e re-vegetadas, pois, além de fornecer uma estimativa de NPI por espécie, possibilita uma avaliação mais ampla da atividade das espécies de FMA (SOUZA; GUERRA, 1998). Portanto, os bioensaios têm sido usados para mostrar diferenças entre solos quanto à infectividade da população de FMAs (CAPRONI, et al., 2003b).

A maioria das pesquisas tem mostrado que a adaptação do FMA ao tipo de solo e condições edafoclimáticas é mais determinante que a especificidade fungo-espécie vegetal (WILSON; TRINICK, 1983). O conhecimento do NPI, da capacidade infectiva e da efetividade dos FMAs nativos é fundamental para o desenvolvimento de estudos sobre ecologia e manejos dos FMAs, bem como, para auxiliar na introdução de FMAs exóticos ao sistema (SOUZA; GUERRA, 1998).

O emprego da técnica de NMP parece ser especialmente adequado quando o objetivo do trabalho visa estudar o efeito de prática agrícola sobre o NPI da população de FMAs nativas. Por essa razão, a avaliação do NPI de FMAs existentes na área cultivada com aveia preta poderá ser usada como indicador de eficiência da colonização micorrízica.

Poucos estudos avaliaram a micorrização em plantas de aveia preta. Gomide et al. (2009), avaliaram em vasos na casa de vegetação da Universidade Federal de Lavras – MG, a esporulação e colonização radicular por FMAs em aveia preta inoculada com uma mistura de oito espécies de FMAs e verificaram 2,26 esporos g^{-1} de solo e 70% de colonização. Outro estudo feito por Kunze et al. (2011) em condições de campo em Florianópolis – SC, avaliaram a co-

lonização radicular por FMAs em aveia preta e observaram 62% de colonização tanto no inverno e ou no verão. Não encontramos na literatura valores de referência para a região de Umuarama – PR para densidade de esporos, colonização radicular e potencial de inóculo de FMAs em área cultivada com aveia preta e mata.

Neste trabalho, a hipótese foi de que o solo cultivado com aveia preta possui maior potencial de inóculo de FMAs, devido ao manejo do solo, comparado com uma mata adjacente. Os objetivos foram determinar o pH do solo, a atividade microbiana do solo através da respiração basal do solo (RBS), o teor de matéria orgânica do solo (MOS), a densidade de esporos, colonização radicular e o potencial de inóculo de FMAs por meio do NPI em uma área cultivada com aveia preta comparando-se com a mata ciliar adjacente localizada na Universidade Paranaense – UNIPAR, Campus II – Unidade de Umuarama – PR.

Materiais e métodos

Local e amostragem do solo e plantas

As áreas selecionadas foram uma área cultivada com aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) na floração e uma mata ciliar adjacente.

Quatro amostras de solo de mata ciliar (0,5 kg) da camada de 0-10 cm foram coletadas na Universidade Paranaense – UNIPAR, Campus II – Unidade de Umuarama – PR em junho de 2012, além de uma amostra de solo da área cultivada com aveia (para análise química), acondicionados em sacos plásticos e armazenados em refrigerador (4 °C) até o momento das análises laboratoriais (Tabela 1).

As raízes foram coletadas em quatro amostras de raízes de cada sistema estudado (aveia e mata) para determinar a colonização radicular por FMAs. Segundo Souza (2000) as raízes foram lavadas em água corrente, acondicionadas em frascos de vidro com solução conservante contendo álcool etílico, ácido acético e formaldeído.

Análise química do solo

O solo é de formação arenito Caiuá, pertencente à classe LVd19 – Latossolo vermelho distrófico, cujas análises química e granulométrica foram feitas pelo laboratório Solo Fértil estabelecido na cidade de Umuarama – PR. Foi utilizado método do densímetro, seguindo os padrões preconizados pela comissão estadual de laboratórios de análises agrônomicas (CELA/PR). As características químicas determinadas foram: pH em CaCl_2 , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} extraídos em KCl 1N e P e K^+ extraídos em Mehlich-1. Todas as análises realizadas seguiram os padrões preconizados pela CELA/PR.

Respiração basal do solo e matéria orgânica do solo

A RBS foi determinada de 30 g de solo que foram acondicionadas juntamente com um frasco de 30 mL contendo 10 mL de NaOH 1 M dentro de frascos de vidro tipo conserva de 500 mL. Os frascos foram fechados hermeticamente e armazenados no escuro em temperatura ambiente. Após 8 dias de incubação, os frascos contendo NaOH foram acrescidos de 2 mL de BaCl_2 a 10% e 3 gotas de fenolftaleína

(solução alcoólica a 3%) para titulação com HCl 0,5 M segundo Silva; Azevedo e De-Polli (2007).

A determinação do C orgânico do solo foi realizada através do método de incineração em mufla a 600 °C e posteriormente estimada a MOS conforme Silva; Torrado e Abreu-Junior (1999).

Densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares

Os esporos dos FMAs foram extraídos de sub-amostras de 10 g de solo pela metodologia de peneiramento úmido em malha de 0,710 mm e 0,053 mm (GERDEMANN; NICOLSON, 1963), que inclui a centrifugação em água destilada (3000 rpm; 3 min.) descarte do sobrenadante e lavagem em sacarose 50% (2000 rpm; 2 min.), e finalmente recuperação do sobrenadante em malha 0,053 mm. Após extração, os esporos foram transferidos para placas de Petri e contados sob microscópio estereoscópio (40X).

Avaliação da colonização radicular por fungos micorrízicos arbusculares

A colonização radicular por FMAs foi determinada em fragmentos com aproximadamente 2 cm de comprimento de raízes finas, lavadas em água corrente, clareadas em KOH 10% (90 °C; 30 min.), acidificadas com HCl 5% (90 °C; 30 min.), coradas com azul de tripano 0,05% sob banho maria (90 °C; 30 min.), e, preservadas em lactoglicerol (PHILLIPS; HAYMAN, 1970). A percentagem de segmentos radiculares colonizados foi estimada sob microscópio óptico (100X) em 100 segmentos dispostos em lâminas (GIOVANETTI; MOSSE, 1980). A colonização radicular total por FMAs foi transformada pela equação: $Col_{\%} = \left(\text{ArcSen} \sqrt{\text{Col.}(\%)/100} \right) \cdot (180/\pi)$ para normalização dos dados.

Potencial de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares

O potencial de inóculo foi avaliado por meio da técnica do NMP (número mais provável), que permite enumerar os propágulos capazes de colonizar a planta hospedeira. O sorgo (*Sorghum bicolor* L.) foi utilizado como planta hospedeira e semeada (superfície desinfetada com etanol 70%, 5 min. e lavada com água destilada autoclavada) 3 sementes diretamente nas séries de diluições do solo conforme descrito abaixo. Após a germinação das sementes e emergência das plântulas, apenas duas plântulas mais vigorosas foram mantidas. A irrigação foi realizada a cada dois dias com água destilada, conforme necessidade da planta. O ensaio foi instalado na casa de vegetação do laboratório de botânica II da Universidade Paranaense – UNIPAR e mantido por 35 dias.

A determinação do NMP de PI dos FMAs seguiu a metodologia descrita por Feldmann e Idzak (1992), com a presença ou ausência de colonização radicular por FMAs. Para a determinação do NMP, uma subamostra de 10 g foi utilizada como a base para as diluições do solo-inóculo (SOUZA; GUERRA, 1998). O solo diluente foi homogeneizado, peneirado (malha 0,5 cm de abertura) e autoclavado em ciclos de dois dias consecutivos por 1 hora, a 120 °C. A diluição das amostras de solo foi feita de acordo com Porter

(1979), usando a base 10 de diluição, 10 g da amostra de solo teste para 90 g do solo diluente (1:9), da diluição 10^{-1} até a diluição 10^{-5} para cada amostra com cinco repetições. Para o teste foram preparadas séries de diluições do solo inóculo (10^{-1} ; 10^{-2} ; 10^{-3} ; 10^{-4} e 10^{-5}). As séries de diluições foram acondicionado em copos plásticos com capacidade para 120 mL. Com os resultados obtidos para o conjunto de diluições calculou-se a estimativa da densidade de PI utilizando o programa *Most Probable Number* (MPN) Calculator, v 2.0 (U.S. Environmental Protection Agency-MPN), expressando-se o resultado número de propágulos infectivos (NPI) g^{-1} de solo seco, determinando-se também limites de confiança a 95% de probabilidade (ARAÚJO, 2008).

Análises estatísticas

As médias foram submetidas ao teste-*t* com médias independentes bilaterais ($p \leq 0,05$) utilizando-se o programa estatístico SPSS versão 16.0 para Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

Resultados e discussão

Os resultados das análises química e granulométrica do solo da área cultivada com aveia se encontram na tabela 1, mostrando valores baixos para o pH, fósforo (P), Carbono (C) e capacidade de troca catiônica (CTC) do solo.

Tabela 1: Análise química e granulométrica do solo experimental para pH em $CaCl_2$ (pH), fósforo (P), carbono (C), alumínio (Al^{3+}), acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V).

pH	P	C	Al^{3+}	$H^+ + Al^{3+}$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	SB	CTC	V	Areia	Silte	Argila
	mg dm^{-3}	g dm^{-3}	----- Cmolc dm^{-3} -----				----- % -----						
5,07	11,11	5,06	0,00	2,93	0,67	0,36	0,11	1,14	4,06	28,0	36,4	33,6	30,0

Os parâmetros biológicos do solo são sensíveis às alterações, induzidas pela presença, tipo e diversidade da vegetação (GILLER, et al., 1997; GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES; BARROS, 1997; ZANGARO, et al., 2012). Segundo Berry (1994) e Kaschuk; Alberton e Hungria (2010), as populações de micro-organismos variam naturalmente de acordo com as características pedogênicas e variações climáticas locais.

O pH do solo variou significativamente ($p < 0,01$) entre as áreas amostradas, no solo com aveia o pH foi de 5,02 (um pouco ácido) e na mata 5,96 (Tabela 2). O pH mais baixo do solo com aveia preta tende estimular a população fúngica como os FMAs em comparação com o pH do solo mais elevado da mata, o mesmo foi observado em outros estudos (MIRANDA; VILELA; MIRANDA, 2005; CARNEIRO, et al., 2012) no qual, verificaram que altos valores de pH e P no

solo influenciaram negativamente a colonização radicular de algumas espécies de FMAs.

Os micro-organismos, em especial as bactérias e fungos, são responsáveis pela maior quantidade de CO_2 liberada durante a degradação de matéria orgânica (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). O cultivo de aveia preta diminuiu a RBS em 22% se comparado com o solo da mata ciliar, mas não significativamente ($p = 0,061$) (Tabela 2), este resultado é devido ao maior teor de MOS na mata ciliar adjacente estudada corroborando com outros estudos (MELLONI, et al., 2001; SILVA, et al., 2010; CUNHA, et al., 2012). Este aumento na atividade microbiana no solo sob mata, possivelmente é em virtude do maior fornecimento de matéria orgânica para o solo e ciclagem de carbono e nutriente na mata em relação ao solo cultivado com aveia (MELLONI, et al., 2001).

Tabela 2: Valores médios (\pm erro padrão, $n = 4$) do pH do solo em $CaCl_2$, Respiração basal do solo (RBS) (mg CO_2 kg solo $^{-1}$ h $^{-1}$) e teor de matéria orgânica do solo (MOS) (g kg^{-1}); densidade de esporos (g^{-1} de solo), colonização radicular (%) e número de propágulos infectivos (NPI) (Nº de PI g^{-1} de solo) de fungos micorrízicos arbusculares do solo cultivado com aveia e de uma mata ciliar adjacente do campus II da Universidade Paranaense – Umuarama, PR.

Áreas	pH	RBS	MOS	Nº de esporos	Colonização	NPI
Aveia	5,02 \pm 0,15	0,60 \pm 0,05	8,93 \pm 1,45	10,53 \pm 0,61	36,21 \pm 1,55	1,09 (0,4 – 2,52)#
Mata	5,96 \pm 0,24	0,73 \pm 0,02	10,34 \pm 1,65	7,74 \pm 0,28	25,89 \pm 2,52	0,36 (0,14 – 0,81)
P*	0,001	0,061	0,512	0,006	0,013	

*Teste-*t* com valor de *P*; #Entre parênteses 95% de intervalo de confiança.

A densidade de esporos dos FMAs variou significativamente ($p < 0,01$) entre os locais amostrados, no qual, foram encontrados 10,53 esporos g^{-1} de solo na área com aveia e 7,74 esporos g^{-1} na mata ciliar adjacente (Tabela 2). As micorrizas e formas esporulantes de fungos apresentam uma maior diversidade quando o solo encontra-se em diferentes formas de uso em algumas espécies vegetais (COLLOZZI FILHO; BALOTA, 1994) o que pode ter acontecido devido ao cultivo de aveia preta. Resultados semelhantes também foram encontrados por Souza et al., (2010), no qual amostra-

ram 20 esporos g^{-1} de solo na área cultivada com a gramínea *Brachiaria humidicola* e 3,5 esporos g^{-1} de solo na área de floresta nativa próxima.

Eon; Hartnett e Wilson (2000) sugerem que a espécie da planta hospedeira tem um papel fundamental no desenvolvimento e na esporulação dos FMAs, afetando a composição, diversidade e quantidade dos FMAs, resultado este que foi observado no presente estudo como o solo cultivado com a aveia preta que tem um sistema radicular fasciculado, que favorece a colonização por FMAs.

Os fatores bióticos e abióticos podem estar associados na dificuldade para permitir um padrão de distribuição dos FMAs, como também às diferentes estratégias de sobrevivência destes fungos (SOUZA, et al., 2003). O crescimento e adaptação das plantas ainda não são totalmente esclarecidos com o estabelecimento de FMAs, porém, a simbiose tem uma grande importância para a avaliação de plantas (SMITH; READ, 2008).

A colonização radicular por FMAs foi significativamente maior ($p < 0,02$) na aveia preta (36%) em relação à mata ciliar (26%) (Tabela 2). No estudo feito por Gomide et al. (2009), no qual avaliaram em vasos na casa de vegetação da Universidade Federal de Lavras-MG, a esporulação, colonização radicular por FMAs e crescimento da aveia preta inoculada com uma mistura de oito espécies de FMAs e verificaram 2,26 esporos g^{-1} de solo e 70% de colonização, os quais são valores baixos, quando comparados aos obtidos no presente estudo. Também Kunze et al. (2011) avaliaram a colonização radicular por FMAs em aveia preta e observaram 62% de colonização tanto no inverno e ou no verão em condições de campo em Florianópolis – SC.

Zangaro et al. (2012) estudando pastagem, floresta secundária e floresta densa em três ecossistemas brasileiros (Mata Atlântica, Araucária e Pantanal) e Zangaro et al. (2008) em outro estudo com áreas de pastagem, floresta secundária e floresta densa em Londrina-PR, retificaram um decréscimo na colonização radicular e na densidade de esporos de FMAs, indicando que quanto mais avançado o estágio de recuperação dos ecossistemas menor é a dependência micorrízica. Este comportamento foi observado no presente estudo, no qual foi verificado um decréscimo na densidade de esporos de FMAs na mata ciliar. Estes autores encontraram em média 11 e 47 esporos g^{-1} de solo de FMAs na mata densa e pastagem respectivamente.

O NPI de FMAs foi maior no solo cultivado com aveia preta (1,09 propágulos g^{-1} de solo) comparado com 0,36 propágulos g^{-1} de solo da mata ciliar, como foi previsto na hipótese deste trabalho (Tabela 2). Este resultado corrobora com a densidade de esporos e a colonização radicular por FMAs, no qual também foi maior no solo cultivado com aveia preta em relação à mata adjacente. Os resultados do NPI foram superiores ao observado por Araújo (2008), no qual estudou seis diferentes manejos do solo no bioma da Caatinga brasileira e encontrou valores variando entre 0,013 a 0,11 propágulos g^{-1} de solo.

Fischer et al. (1994) estimaram número de propágulos micorrízicos, em uma área de floresta tropical secundária, e encontraram níveis entre 0,57 a 0,63 propágulos infectivos g^{-1} solo em local com vegetação composta principalmente de gramíneas e espécies nativas. Em outro estudo, Souza e Guerra (1998) encontraram, em áreas agrícolas, uma densidade de propágulos infectivos, variando de 0,29 a 13 propágulos infectivos g^{-1} de solo. Já Carneiro et al. (2012) estudaram os FMAs como indicadores da recuperação de áreas degradadas no Nordeste do Brasil e observou uma maior colonização radicular e NPI em área de recuperação com plantio de gramíneas e leguminosas em comparação com a mata nativa. Tais resultados foram observados no presente estudo comparando o cultivo da aveia preta com a mata ciliar adjacente.

Porém, Caproni et al. (2003a) não encontraram uma relação entre o NPI e a densidade de esporos de FMAs em

áreas reflorestadas após a mineração de bauxita. Miranda; Vilela e Miranda (2005) salientaram que menores NPI de FMAs são encontradas em áreas com vegetação degradada e em monocultivo intensivo não conservacionista, e o NPI está relacionada com a textura do solo, sendo os mais arenosos com menores PI o que pode ser caso deste estudo, cujo o solo é de textura arenosa.

Conclusões

A densidade de esporos, colonização radicular e o potencial de inóculo de FMAs foram maiores no solo cultivado com aveia preta em comparação com a mata ciliar adjacente próxima.

O baixo pH do solo cultivado com aveia preta pode ter favorecido o aumento da densidade de esporos, colonização radicular e potencial de inóculo de FMAs.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Paranaense – UNIPAR pelo apoio à pesquisa. Os mestrandos Caroline Lermen, Fabio Gomes Ferreira, Janaina Camilotti e Keila Fernanda Raimundo agradecem pelas bolsas PIT/UNIPAR. Regiane Cristina Urcoviche agradece a concessão da bolsa PROSUP/CAPES. Cristiane Guellis agradece a bolsa PIBIC/UNIPAR.

Referências

- ARAÚJO, F. S. **Potencial de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares em seis sistemas de uso do solo, na região nordeste do semi-árido do Brasil**. Patos, 2008. 50 f. Dissertação (mestrado em zootecnia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.
- BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 155-163, 2004.
- CAPRONI, A. L. et al. Capacidade infectiva de fungos micorrízicos arbusculares em áreas reflorestadas após mineração de bauxita no Pará. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 8, p. 937-945, 2003a.
- CAPRONI, A. L. et al. Ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares em áreas revegetadas após mineração de bauxita em Porto Trombetas, Pará. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 12, p. 1409-1418, 2003b.
- COLOZZI-FILHO, A.; BALOTA, E. L. Potencial de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares em solo cultivado com cafeeiro e leguminosas de verão. **Reunião Brasileira Sobre Micorrizas**. 5. Resumos. Florianópolis, Santa Catarina, 1994. p 17.
- CUNHA, E. Q. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por

- sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, p. 56-63, 2012.
- EOM, A. H.; HARTNETT, D. C.; WILSON, G. W. T. Host plant species effects on arbuscular mycorrhizal fungal communities in tallgrass prairie. **Oecologia**, v. 122, p. 435-444, 2000.
- FELDMANN, F.; IDZAK, E. Inoculum production of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for use in tropical nurseries. In: NORRIS, J. R.; READ, D. J.; VARMA, A. K. **Methods in microbiology**. London: Academic Press, 1992. n. 24, p. 799-817.
- FERNANDES, R. A. **Impacto de usos de um latossolo vermelho de cerrado sobre a diversidade de fungos micorrízicos arbusculares**. Jataí, 2009. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2009.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 361-365, 1997.
- GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transaction of the British Mycological Society**, v. 46, p. 235-246, 1963.
- GILLER, K. E. et al. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. **Applied Soil Ecology**, v. 6, p. 3-16, 1997.
- GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring VA mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, v. 84, p. 489-500, 1980.
- GOMIDE, P. H. O. et al. Diversidade e função de fungos micorrízicos arbusculares em sucessão de espécies hospedeiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 1483-1490, 2009.
- KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 42, p. 1-13, 2010.
- KUNZE, A. et al. Phosphatase activity in sandy soil influenced by mycorrhizal and non-mycorrhizal cover crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35 p. 705-711, 2011.
- MELLONI, R. et al. Características biológicas de solos sob mata ciliar e campo cerrado no Sul de Minas Gerais. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 25, p. 7-13, 2001.
- MILLER, R. M.; JASTROW, J. D. The role of mycorrhizal fungi in soil conservation. In: **Mycorrhizae in sustainable agriculture**. Madison, America Society of Agronomy, 2002. p. 29-44.
- MIRANDA, J. C. C.; VILELA, L.; MIRANDA, L. N. Dinâmica e contribuição da micorriza arbuscular em sistemas de produção com rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 1005-1014, 2005.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.
- PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of British Mycological Society**, v. 55, p. 157-160, 1970.
- PORTER, W. M. The "Most Probable Number" method for enumerating infective propagules of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in soil. **Australian Journal of Soil Research**, v. 17, p. 515-519, 1979.
- ROSSI, A. et al. Diferentes manejos da cobertura vegetal de aveia preta em pomar no sul do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 3, p. 457-463, 2007.
- SANTI, A.; AMADO, T. J. C.; ACOSTA, J. A. A. Adubação nitrogenada da aveia preta. I- Influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27 p. 1075-1083, 2003.
- SILVA, A. C.; TORRADO, P. V.; ABREU-JUNIOR, J. S. Métodos de quantificação da matéria orgânica do solo. **Revista da Universidade de Alfenas**, v. 5, p. 21-26, 1999.
- SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO_2)**. Comunicado Técnico 99, Seropédica-RJ: Embrapa, ago. 2007. 4 p.
- SILVA, R. R. et al. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiológica Campos das Vertentes – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1585-1592, 2010.
- SIQUEIRA, J. O. et al. **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. 716 p.
- SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal Symbiosis**. 3. ed. London: Academic Press, 2008. 815 p.
- SOUZA, F. A. **Banco ativo de Glomales da Embrapa Agrobiologia: catalogação e introdução de novos isolados desde 1995**. Seropédica, 2000. Documentos, n. 123, EMBRAPA-Agrobiologia, 40 p.
- SOUZA, F. A.; GUERRA, J. G. M. **Emprego da técnica do número mais provável (NMP) no estudo de populações**

de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). Seropédica: EMBRAPA-CNPAB. Circular Técnica, 2, 1998. 34 p.

SOUZA, G. I. A. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi in agricultural and Forest systems. **Global Science and Technology**, v. 3, n. 2, p. 1-9, 2010.

SOUZA, R. G. et al. Diversidade e potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares em área de caatinga, na Região de Xingó, Estado de Alagoas, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 26, p. 49-60, 2003.

WILSON, M. J.; TRINICK, J. M. Factors affecting the estimation of numbers of infective propagules of vesicular arbuscular fungi by the most probable number method. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 21, p. 73-81, 1983.

ZANGARO, W. et al. Investment in Fine Roots and Arbuscular Mycorrhizal Fungi Decrease During Succession in Three Brazilian Ecosystems. **Biotropica**, Lawrence, v. 44, p. 141-150, 2012.

ZANGARO, W. et al. Changes in arbuscular mycorrhizal associations and fine root traits in sites under different plant successional phases in southern Brazil. **Mycorrhiza**, Berlin, v. 19, p. 37-45. 2008.