



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Micorrizas Arbusculares como Indicador Biológico para Seleção Modelos de Agroecossistemas Multifuncionais: 1. Olerícolas

Patrícia Barbosa da Silva¹, Vanderlise Giongo², Regina Lúcia Félix de Aguiar Lima³

¹Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA), Universidade de Pernambuco Campus Petrolina, BR 203 Km 2, sn – Campus Universitário - Cidade Universitária, CEP 56.300-000, Petrolina -Pernambuco; E-mail: patricia.bl@hotmail.com; ² Docente permanente do PPGCTA e Pesquisadora da Embrapa Semiárido, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; BR-428, Km 152, s/n - Zona Rural, Petrolina - Pernambuco, 56302-970. Email: vanderlise.giongo@embrapa.br. ³ Prof^ª Dr^ª do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA), Universidade de Pernambuco Campus Petrolina, regina.aguiar@upe.br.

Artigo recebido em 30/09/2020 e aceito em 23/08/2021

RESUMO

O cultivo de meloeiro em áreas irrigadas do submédio do Vale do São Francisco é feito geralmente em sistema convencional, com uso de fertilizantes inorgânicos. Tais manejos podem afetar os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), componentes da comunidade microbiana do solo que contribuem para a nutrição vegetal. Com objetivo de avaliar na cultura do meloeiro no semiárido o efeito da adubação verde e do sistema de cultivo, convencional ou plantio direto, sobre a colonização micorrízica e o número de esporos de FMA nativos do solo, foram analisadas amostras de raiz de meloeiro e solo rizosférico coletadas em 2012 e 2017 em experimento de longa duração. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com 3 tipos de adubação verde (coquetel vegetal 1, coquetel vegetal 2 e vegetação espontânea), 2 sistemas de cultivo (convencional e plantio direto) e 4 repetições. O coquetel vegetal 1 sendo constituído por 75% leguminosas + 25% não leguminosas, e o coquetel vegetal 2, por 25% leguminosas + 75% não leguminosas. A adubação verde e os sistemas de cultivo tiveram efeito semelhante sobre a colonização micorrízica do meloeiro, dentro de cada ano avaliado ($p < 0,05$). Contudo, em longo prazo houve diminuição na colonização micorrízica sob efeito do teor de fósforo no solo, que se correlacionou negativamente com o grau de colonização. O número de esporos foi maior no sistema de plantio direto dentro de cada ano, mas diminuiu em longo prazo no plantio convencional nos tratamentos com aplicação de coquetel vegetal 1 e de vegetação espontânea.

Palavras-chave: Cucumis melo; coquetel vegetal; revolvimento do solo; FMA; adubação verde.

Arbuscular Mycorrhizae as a Biological Indicator for Selection Models of Multifunctional Agroecosystems: 1. Olericola

ABSTRACT

Melon cultivation in irrigated areas of the São Francisco Valley sub-medium is usually done in a conventional system using inorganic fertilizers. Managements that can affect arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), components of the soil microbial community that contribute to plant nutrition. Aim evaluate the melon culture in semiarid region, the effect of green manure and the conventional or no-tillage system on mycorrhizal colonization and the density of AMF spores native to the soil. Samples of melon root and rhizospheric soil collected in 2012 and 2017 were analyzed in a long-term experiment. Experimental design was randomized blocks, with 3 types of green manure (mix plant 1, mix plant 2 and spontaneous vegetation), 2 cultivation systems (conventional and no-tillage) and 4 replications. Mix plant 1, consisting of 75% legumes + 25% non-legumes, and mix plant 2, consisting of 25% legumes + 75% non-legumes. Green manure and cultivation systems had a similar effect on melon mycorrhizal colonization, within each year evaluated ($p < 0.05$). However, in the long term there was a decrease in mycorrhizal colonization due to the phosphorus content in the soil, which was negatively correlated with the degree of colonization. The spore density was higher in the no-tillage system within each year but decreased in the long term in conventional tillage in treatments with application of mix plant 1 and spontaneous vegetation.

Keywords: Cucumis melo, mix plant, soil revolving, AMF, green manure.

Introdução

A fruticultura irrigada no Vale do Submédio do São Francisco tem grande importância econômica no Nordeste do Brasil. Esta região responde por 27% da produção nacional de frutas, dentre as quais se destaca o melão (*Cucumis melo L.*), uma das principais frutas de exportação do país (Vidal e Ximenes, 2016; Santos, 2019). O meloeiro é uma espécie perene na natureza, mas na agricultura industrial essa olerícola é explorada durante ciclos curtos de produção. As condições de alta temperatura, luminosidade e baixa umidade, prevalentes na região, favorecem a produção vegetal, onde a cultura do melão apresenta alta produtividade, qualidade dos frutos e teor de açúcar (Santos, 2019).

A área cultivada com melão em 2017 no Brasil foi cerca de 20 mil hectares, com produção de 500 mil toneladas (Anuário Brasileiro de Fruticultura, 2017). Esse cultivo se concentra na região nordeste, nos estados do Rio Grande do Norte, Ceará, Bahia e Pernambuco, representando 96% da produção nacional (IBGE, 2017; Santos, 2019). Esses estados estão inseridos no semiárido, onde a produtividade das plantas é limitada pela escassez das chuvas e baixa fertilidade do solo (Sampaio et al., 2009; Santos et al., 2016; Hu et al., 2015; Withers, 2018).

Nesse contexto, a produção de melão pela agricultura industrial da região é viabilizada pela irrigação e uso de adubação inorgânica, que viabiliza a atividade agrícola e o desenvolvimento do semiárido (Sampaio et al., 2009; Vidal e Ximenes, 2016; Santos, 2019). Além de irrigação e adubação inorgânica, o cultivo de meloeiro no semiárido inclui práticas como o uso de maquinário e defensivos agrícolas. Essas práticas adotadas favorecem a produção, mas podem ter consequências negativas como a compactação do solo, perda da diversidade microbiana e dos nutrientes (Verzeaux et al., 2017).

Visando a sustentabilidade dos sistemas de produção, podem ser adotadas práticas alternativas de manejo como o uso de adubação verde e plantio direto com potencial de contribuir para mitigação dos problemas ambientais ocasionados, podendo trazer benefícios imediatos ou de longo prazo (Rouphael et al., 2015; Scrase et al., 2019).

Sistemas de produção agrícola conservacionistas que incluam práticas como adubação verde e o plantio direto podem trazer benefícios para a produção de alimentos, pela diminuição da quantidade de insumos agrícolas

necessários, aumento na matéria orgânica do solo e da produtividade das culturas (Reis et al., 2012; Alves et al., 2014; Giongo et al., 2016), além de aumentar a diversificação e a população da comunidade microbiana do solo, dentre eles os fungos micorrízicos (Gottshall et al., 2017).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são microrganismos da comunidade microbiana do solo, estando associados ao sistema radicular da maioria das espécies de plantas, seja em ecossistemas naturais ou agrícolas, incluindo o semiárido brasileiro (Lima et al., 2013; Pedone et al., 2018) onde promovem incremento na absorção de água e nutrientes do solo (Freschet et al., 2020; Alarcon et al., 2019), outro benefício importante nessa região é a tolerância ao estresse hídrico (Barros et al., 2018). Dentre os nutrientes que tem a absorção aumentada pelas micorrizas arbusculares o fósforo tem destaque, pois é um macronutriente, com baixa disponibilidade nos solos do semiárido a qual é agravada pela fixação pelo teor argila dos solos (Hu et al., 2015; Jesus et al., 2019; Lima, 2020; Withers, 2018). Além desses benefícios, a associação micorrízica participa da ciclagem de nutrientes nos ecossistemas e da manutenção/recuperação da estrutura dos solos (Freschet et al., 2020).

As plantas apresentam graus diferentes de relação com os FMAs (Cosme et al., 2018), o meloeiro está incluído entre as plantas que apresentam dependência micorrízica (Cakmakci et al., 2017). O potencial micorrízico da simbiose em contribuir para o crescimento vegetativo, a produção e a qualidade dos frutos do meloeiro e outras olerícolas é reconhecido a partir de estudos sob condições experimentais controladas em viveiros (Noor et al., 2019). Esse potencial também se apresentou em experimentos que associaram inoculação micorrízica e fertilização inorgânica ou orgânica (Noor et al., 2019). Contudo são necessários estudos que contribuam para a integração efetiva da tecnologia de micorrizas na sua produção em condições de campo.

Sistemas de produção convencionais adotados em ambientes agrícolas podem diminuir a abundância de FMA no solo e sua associação com as plantas cultivadas (Gottshall et al., 2017). Devido às limitações hídricas e fertilidade do solo, especialmente no semiárido, a associação de plantas com FMA, desempenha um papel importante na absorção de água pelas plantas, particularmente em agroecossistemas de sequeiro (Bakhshandeh et al., 2017; Baum et al., 2015).

Considera-se que a adoção de práticas conservacionistas no semiárido possam, em longo prazo, aumentar a atividade dos FMA nativos do solo, favorecendo a infectividade e a colonização micorrízica em ambientes agrícolas, pelo aumento da quantidade de propágulos infectivos (Reis et al., 2012; Brito et al., 2019), do estabelecimento e funcionamento das micorrizas arbusculares, e assim, contribuir para a manutenção da capacidade produtiva do solo e das plantas (Giongo et al., 2016; Verzeaux et al., 2017).

Além do aumento da atividade dos FMAs pode ser devido ao manejo, mas também pela inoculação do solo com esporos de FMA. Isso promoveu o desenvolvimento radicular, a produtividade das plantas que produziram frutos de melhor qualidade (Alarcon et al., 2019).

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, FMAs de um ambiente (Gonçalves et al., 2019; Jansa et al., 2019; Aslani et al., 2019).

A agricultura industrial tem sido praticada sem que seja considerada a atividade dos FMAs e os benefícios relevantes produzidos nos diferentes sistemas de cultivo. Assim, é importante a realização de estudos em sistemas agrícolas para conhecer a funcionalidade dos FMAs nos agrossistemas e os fatores que estimulam ou limitam sua ocorrência e atividade (Rillig et al., 2018; Ryan; Graham, 2018).

Os estudos aqui apresentados sobre os FMAs têm atestado seus efeitos benéficos em diferentes culturas e a sua ubiquidade. Com base nisso tendo a hipótese de que esses fungos estejam presentes nos agroecossistemas e associados às plantas cultivadas e contribuindo para o crescimento, nutrição e a produtividade das culturas em condições de campo, sob influência dos manejos aplicados.

Esse estudo pode contribuir para análise da utilização das micorrizas arbusculares como indicador biológico na seleção de modelos de agroecossistemas multifuncionais com cultivo de olerícolas. Dessa forma, foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o efeito do cultivo em sistema convencional ou plantio direto e da adubação com coquetéis vegetais ou plantas espontâneas na caatinga sobre as micorrizas arbusculares na cultura do meloeiro no semiárido.

Material e métodos

O estudo foi realizado em experimento de campo de longa duração, o qual foi implantado em área de semiárido no ano 2012, e repetido nos anos seguintes.

O experimento consiste no cultivo de meloeiro sob plantio direto (sem revolvimento do solo) ou convencional (com revolvimento do solo). Esse cultivo sendo feito após o pré-cultivo de plantas de cobertura para uso como adubo verde na área de cultivo de meloeiro.

As plantas de cobertura para aplicação como adubo verde apresentam composição variada. Foram estudadas 3 diferentes misturas de plantas, sendo duas delas coquetéis vegetais com diferentes proporções de leguminosas e não-leguminosas e por plantas de ocorrência espontânea na área.

Anualmente para o experimento foram realizados: 1) cultivo de misturas de plantas para adubação verde, feito no primeiro semestre do ano; 2) acompanhamento do crescimento das misturas de plantas por 70 dias; 3) aplicação da fitomassa produzida ao solo, feita por deposição superficial ou por incorporação com revolvimento; 4) cultivo de melão, feito após período de 15 dias da aplicação da fitomassa, no segundo semestre do ano. Essas etapas foram repetidas sequencialmente a cada ano.

O estudo apresentado inclui análises das amostras coletadas nos anos 2012 e 2017. Entre 2012 e 2017 foram realizados 6 ciclos de cultivo de meloeiro com aplicação de adubo verde constituído de misturas de plantas. O experimento não incluiu inoculação do solo com esporos de FMA, e avaliou-se a atividade de FMA nativos, presentes no solo.

Área do experimento de campo: caracterização e histórico de uso

O experimento de longa duração com cultivo de meloeiro foi instalado em 2012 na Estação Experimental Bebedouro (9°08' S, 40°8' W) da Embrapa Semiárido, em Petrolina-PE. O clima local é do tipo BSwH, semiárido muito quente, segundo a classificação de Köppen. Área com relevo plano e solo do tipo argissolo vermelho-amarelo. No decorrer do experimento a temperatura média foi igual a 26,2 °C, a umidade relativa média foi 56,4%, a precipitação média foi 208,2 mm e a evaporação média foi 1.943,5 mm (Tabela 1).

O histórico da área mostra que a cobertura vegetal original, do tipo caatinga hiperxerófila, foi substituída no final da década de 80 por cultivo de

tamareiras, o qual foi mantido por cerca de 20 anos. Passando, nos anos seguintes, por cultivo com tamareiras, depois com feijão e por fim

estava em período de pousio quando foi destinada ao uso para iniciar experimento com meloeiro.

Tabela 1: Valores médios anuais dos dados meteorológicos da Estação Experimental Bebedouro no período do experimento

Ano	Temperatura (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Umidade relativa (%)	Precipitação (mm)	Evaporação (mm)
2012	26,7	33,2	20,7	52,9	93,0	2.044,0
2013	26,1	32,4	20,7	55,4	270,0	1.934,5
2014	24,4	30,1	19,5	57,9	192,0	1.715,5
2015	26,5	32,9	21,1	54,9	268,0	1.934,5
2016	26,7	33,7	20,9	55,7	303,0	1.898,0
2017	27,1	33,5	21,5	61,9	123,0	2.080,5

Fonte: Estação Agrometeorológica do Bebedouro - Embrapa Semiárido.

Em 2011, a área foi preparada para implantação do experimento de meloeiro em longo prazo, para isso procedeu-se a limpeza do terreno pela retirada da vegetação e seguida de coleta de amostras para caracterização das condições iniciais do solo na área do experimento.

A coleta de amostras de solo para caracterização física e química do solo (Tabela 2), foi feita na camada 0-10 cm, em 5 pontos de um transecto, com distância de 10 metros entre os

pontos. As amostras foram processadas e submetidas às análises dos atributos físicos e químicos (Teixeira et al., 2017).

Além disso, coletou-se amostras de solo em área referência de caatinga preservada próxima à área do experimento de cultivo de meloeiro, também em cinco pontos amostrais e na camada 0-10 cm. Também submetidas a análise para caracterização do solo (Teixeira et al., 2017) em relação aos aspectos químicos (Tabela 2).

Tabela 2: Caracterização física e química do solo da área de implantação do experimento e de caatinga de referência

Áreas	Areia	Silte g/kg	Argila	pH H ₂ O	CE dS/m	P mg/dm ³	SB cmolc/dm ³	CTC %	V
Experimento	831,8	155,6	12,7	5,9	0,74	47,3	2,9	5,1	58
Caatinga	na	na	na	5,6	0,42	2,9	3,4	4,8	71

pH, potencial hidrogeniônico; CE, condutividade elétrica; P, fósforo; SB, soma de bases; CTC, capacidade de troca catiônica; V, volume; na: não avaliado.

As amostras de solo para caracterização da área do experimento, bem como da caatinga de referência, foram utilizadas também para avaliação do número de esporos de FMA (Johnson et al., 1999).

Após a limpeza da área e coleta de amostras para caracterização da área, foram delimitados 4 blocos, cada um contendo 2 parcelas com área de 30×10 m e subparcelas de 10×10 m. Nas subparcelas foi realizado pré-cultivo das plantas para uso na adubação verde.

Adubação verde: composição, cultivo e aplicação

Os tratamentos de adubação verde foram constituídos de misturas de plantas, sejam

coquetéis vegetais ou espécies de ocorrência espontânea. As plantas para adubação verde foram cultivadas no primeiro semestre de cada ano, nas subparcelas dos blocos delimitados na área do experimento.

O estabelecimento dos coquetéis nas proporções planejadas foi feito utilizando-se diferentes quantidades de sementes (Tabela 3).

Os coquetéis vegetais foram constituídos por 14 espécies de leguminosas e não-leguminosas (gramíneas e oleaginosas) em proporções definidas.

No coquetel vegetal 1 a proporção de leguminosas e não leguminosas foi de 75% e

25%, enquanto no coquetel 2 essa proporção foi de 25% e 75%, respectivamente.

As plantas para adubação verde na forma de coquetéis vegetais foram semeadas nas subparcelas em fileiras, distantes 0,5 m entre si. Para garantir a uniformidade de germinação das sementes, inicialmente foram semeadas as de maior tamanho, e, posteriormente, as de menor tamanho.

A irrigação nas parcelas durante o período de crescimento das plantas para adubação verde, sejam os coquetéis ou a vegetação espontânea, foi feita por gotejamento, com vazão de 4,0 L h⁻¹, em intervalos de dois dias.

A vegetação espontânea para uso como adubo verde foi produzida a partir de plantas que cresceram naturalmente nas subparcelas, no período de cultivo dos coquetéis vegetais.

Tabela 3: Quantidade de sementes usadas para composição do coquetel vegetal 1 (75% leguminosas + 25% não leguminosas) e coquetel vegetal 2 (75% leguminosas + 25% não leguminosas)

Grupos de Plantas Nome científico (nome comum) família botânica	Coquetel	Coquetel
	vegetal 1	vegetal 2
	kg de sementes ha ⁻¹	
Oleaginosas		
<i>Helianthus annuus</i> L. (Girassol) Asteraceae	3,1	9,3
<i>Ricinus communis</i> L. (Mamona) Euphorbiaceae	30,0	90,0
<i>Sesamum indicum</i> L. (Gergelim) Pedaliaceae	1,0	3,0
Gramíneas		
<i>Zea mays</i> L. (Milho) Poaceae	15,0	45,0
<i>Pennisetum americanum</i> (L.) Leeke (Milheto) Poaceae	1,0	3,0
<i>Sorghum vulgare</i> Pers. (Sorgo) Poaceae	2,5	7,5
Leguminosas		
<i>Crotalaria spectabilis</i> Roth Fabaceae	5,2	1,7
<i>Crotalaria juncea</i> L. Fabaceae	13,5	4,5
<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC. (Feijão de porco) Fabaceae	187,5	62,5
<i>Calopogonium mucunoide</i> Desv. (Calopogônio) Fabaceae	3,7	1,2
<i>Stizolobium aterrimum</i> Piper & Tracy (Mucuna Preta) Fabaceae	101,2	33,7
<i>Cajanus cajan</i> L. Millsp. (Feijão guandu) Fabaceae	12,7	4,2
<i>Dolichos lablab</i> L. (Lab-lab) Fabaceae	60,0	20,0
<i>Mucuna cochinchinensis</i> (Lour.) A. Chev. (Mucuna Cinza) Fabaceae	101,2	33,7

As plantas mais frequentes no tratamento com vegetação espontânea foram das espécies *Desmodium tortuosum* (Sw.) DC., *Macropodium lathyroides* (L.) Urb., *Digitaria bicornis* (Lam.) Roem. Schult., *Dactyloctenium aegyptium* (L.) Willd., *Commelina difusa* Burm. f., *Acanthospermum hispidum* DC., *Euphorbia chamaeclada* Ule, *Waltheria rotundifolia* Schrank, *Waltheria sp.* L., *Tridax procumbens* L., *Ipomoea mauritiana* Jacq., *Ipomoea bahiensis* Willd. Ex. Roem. Schult. e *Amaranthus deflexus* L.

O período de crescimento das misturas de plantas para adubação verde nas parcelas era de 70 dias, esse tempo coincidia com o estágio de floração da maioria das espécies.

Ao final do primeiro ciclo de cultivo das plantas para adubação verde, em 2012, foram coletadas amostras de solo das parcelas cultivadas

com as 3 misturas de plantas, na camada de 0-10 cm, para avaliação do número de esporos de FMA no solo (Johnson et al., 1999).

Ao término do período de cultivo dessas plantas, a parte aérea das plantas era cortada e aplicada ao solo. No preparo do solo para cultivo de meloeiro em sistema convencional, o processo de corte era feito com gradagem de disco (0,4 m de profundidade), e resultava em revolvimento do solo para incorporação da fitomassa. No sistema de cultivo por plantio direto, não havia revolvimento do solo, pois o corte era feito com roçadeira manual a 5 cm da superfície do solo e a fitomassa da parte aérea depositada na superfície do solo.

O cultivo de melão era realizado após 15 dias da aplicação da fitomassa ao solo, nas subparcelas contendo diferentes composições de

adubo verde, aplicados com ou sem revolvimento do solo.

Cultivo de Meloeiro: desenho experimental e manejo

O plantio anual de meloeiro foi realizado no segundo semestre de cada ano, feito em dois sistemas de preparo do solo: plantio direto (sem revolvimento do solo) ou convencional (com revolvimento do solo), combinados com três composições de adubo verde: coquetel vegetal 1 (75% leguminosas + 25% gramíneas e oleaginosas), coquetel vegetal 2 (25% leguminosas + 75% gramíneas e oleaginosas) e vegetação espontânea.

O delineamento experimental foi de blocos casualizados com parcelas subdivididas, e quatro repetições. O fator de parcela foi o sistema de preparo do solo, e os tipos de adubo verde o fator de subparcela. As parcelas com área de 30 x 10 m, e subparcelas contíguas com área de 10 x 10 m. A distância entre os blocos foi igual a 4 metros e entre parcelas, 2 metros.

As plântulas de meloeiro foram produzidas em casa de vegetação e transplantadas para o campo, em fileiras com espaçamento de 2,0 m entre elas e de 0,4 m entre plantas.

O cultivo de melão teve duração de 70 dias, tendo recebido irrigação e adubação inorgânica durante o cultivo. A irrigação foi feita por gotejamento, sendo igualitária entre os tratamentos. As lâminas de irrigação foram determinadas a partir da evapotranspiração da cultura durante o crescimento da planta.

A adubação foi aplicada via fertirrigação, feita com frequência de três vezes por semana durante o ciclo do meloeiro e parcelamento em 22 aplicações. Em 2012 as quantidades de fertilizantes aplicadas (por ha) no experimento foram: 120 kg de nitrogênio, 40 kg de fósforo e 40 kg de potássio. Já em 2017 foram aplicados 118 kg de nitrogênio, 106 kg de fósforo e 195 kg/ha de potássio.

Amostras de raízes de meloeiro e do solo rizosférico (camada 0 a 10 cm) foram coletadas ao final do primeiro (2012) e do sexto (2017) ciclos de cultivo para avaliação de parâmetros micorrízicos e o solo foi avaliado quanto ao teor de fósforo.

Micorrizas arbusculares: análises

As amostras de solo coletadas em diferentes etapas/períodos do experimento, bem como na área de caatinga de referência, foram

utilizadas para avaliação do número de esporos de FMA.

Foram coletadas amostras de solo nas seguintes etapas/períodos: 1) caracterização da área de implantação do experimento (2011); 2) ao final do primeiro ciclo de cultivo das plantas de cobertura (2012), c) ao final do primeiro ciclo de cultivo de meloeiro (2012), e d) ao final do sexto ciclo do meloeiro (2017).

As amostras de solo foram destorroadas, submetidas à secagem em temperatura ambiente e utilizadas para avaliação do número esporos de FMA. A extração de esporos de FMA de 50 g de solo foi feita por peneiramento úmido e centrifugação em solução de sacarose (Johnson et al. 1999). O número de esporos foi quantificado pela contagem dos esporos com conteúdo celular, feita com uso de placa canaletada e estereomicroscópio.

As raízes de meloeiro, coletadas ao final do primeiro e do sexto ciclo de cultivo, em 2012 e 2017 respectivamente foram processadas para avaliação dos parâmetros micorrízicos. As raízes foram lavadas, clareadas com KOH (2,5%), acidificadas com HCl (1%), e coradas com azul de tripano (0,1%) (Johnson et al., 1999). A quantificação da colonização micorrízica total, vesicular e arbuscular das raízes do meloeiro foi realizada pelo método de análise de segmentos (McGonigle et al., 1990).

Os dados de número de esporos e de colonização micorrízica foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 5\%$). A comparação temporal desses parâmetros, entre os anos de 2012 e 2017, foi feita usando o teste de t pareado. Foi avaliada a correlação entre os dados de colonização micorrízica das raízes e teor de fósforo no solo.

Resultados e discussão

Número de esporos de FMA no solo: dados pré-cultivo

O número de esporos de FMA aumentou pela mudança de uso do solo pela atividade agrícola. Apresentado maiores médias ao final do primeiro ciclo de cultivo das plantas para adubação verde, especificamente do cultivo dos coquetéis vegetais quando comparados à caatinga de referência (Tabela 4). Em ambientes naturais, áridos e semiáridos, como a caatinga o número de esporos é baixo de modo geral (Cardozo Junior et al., 2018; Teixeira-Rios, et al., 2018; Lima et al, 2020).

O aumento na quantidade de esporos pode ser explicado por fatores das plantas, pois o grau de associação micorrízica apresentado pelas plantas de cobertura ou cultivadas para adubação verde (Souza et al., 1999; Reis et al., 2012; Scrase et al., 2019). Esse aumento também é influenciado por fatores do manejo do solo na atividade agrícola, como a realização de irrigação, essencial para o desenvolvimento vegetal, também para a microbiota do solo, incluindo-se entre eles os FMAs. O uso de fertilização, pelo fornecimento de minerais para a nutrição das plantas e seu desenvolvimento, também pode ter efeitos benéficos para a biologia dos FMAs (Verzeaux et al., 2017; Rillig et al., 2019).

Estudos na caatinga em situação de mudanças no uso do solo para agrário ou pastagem relatam aumentos, diminuição, ou até manutenção na quantidade de esporos (Lima et al., 2013; Sousa et al., 2014; Cardozo Junior, 2018). Nesses estudos tiveram influência a espécie da planta, a sazonalidade (período seco/chuvoso), e manejo do tipo convencional ou conservacionista. Em estudo realizado em ambiente árido a agricultura orgânica foi considerada uma estratégia de manejo agrícola adequada com efeitos benéficos na biodiversidade e abundância de FMA em comparação com a agricultura convencional (Mullath et al., 2019).

Tabela 4: Número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e teor de fósforo na área de caatinga de referência e na área do experimento, em diferentes períodos

Áreas/Etapas	Número de esporos de FMA (50 g de solo)	Fósforo (mg/dm ³)
Caatinga de referência	13,4 b	2,9 b
Área do experimento		
Pré-cultivo caracterização inicial	23,7 ab	47,3 a
Pós-cultivo das plantas para adubação verde		
Coquetel vegetal 1	56,6 a	33,4 a
Coquetel vegetal 2	52,5 a	28,7 a
Vegetação espontânea	49,6 ab	32,0 a

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O teor de fósforo da área de caatinga usado como referência é baixo, sendo essa a condição predominante dos solos do semiárido (Sampaio et al., 2009; Jesus et al., 2019).

O aumento do teor de fósforo na área do experimento em relação à caatinga se deu por conta das práticas agrícolas adotadas nos cultivos de tamareiras, feijão e das plantas para adubação verde, que incluem o uso de fertilizantes (Tabela 4), pois parte do fósforo aplicado ao solo nas lavouras é fixada no solo, permanecendo acumulado nas áreas cultivadas (Bakhshandeh et al., 2017; Whitiars et al., 2018).

Apesar de não haver diferença estatística, há um decréscimo do teor de P no solo verificado na etapa de caracterização da área e após o primeiro ciclo de cultivo das plantas para adubação verde.

Número de esporos de FMA no solo: efeito do cultivo de meloeiro

O número de esporos de FMA na rizosfera do meloeiro ao final do ciclo de cultivo de 2012 apresentou médias variando entre 31 a 78 esporos em 50 g de solo, já no ciclo de 2017, a variação foi entre 19 e 67 esporos (Tabela 5).

O número de esporos de FMA no solo ao final do primeiro ciclo de cultivo de meloeiro apresentou maiores médias sob efeito do sistema de plantio direto, com aplicação de adubo feita por deposição da fitomassa na superfície do solo. Esse efeito do sistema de cultivo se manteve em longo prazo, ou seja, continuou maior o número de esporos em 2017 ($p < 0,01$) (Tabela 5). Em sistema de plantio direto em longo prazo (Gottshall et al., 2017), verificou-se o aumento da diversidade de FMA e a estabilidade da comunidade.

A deposição superficial da adubação verde feita sem revolvimento do solo pode beneficiar os FMAs e demais microrganismos devido às melhorias das características físico-químicas e biológicas do solo em médio e longo

prazo (Angelini et al., 2012; Sousa et al., 2012). Como maior teor de fósforo disponível nas camadas superficial do solo (Pereira Filho et al., 2016).

As diferentes misturas de plantas para adubo verde apresentam efeito semelhante sobre o número de esporos, dentro de cada sistema de cultivo (Tabela 5). Além do efeito do sistema de cultivo, o alto grau micotrófico (Angelini et al., 2012) e de colonização da maioria das plantas dos coquetéis vegetais e vegetação espontânea (Souza et al., 1999; Reis et al., 2012; Aslani et al., 2019) podem ter contribuído para esse resultado.

Estudo experimental em campo cultivado com meloeiro em ambiente semiárido, manejado com adição de inoculo de FMA ao solo, na forma do produto comercial MycoUp, resultou em aumento tanto no grau de colonização micorrízica e quanto na produtividade de frutos (Alarcon et al., 2019). O efeito estimulante do pré-cultivo das

plantas para adubação verde sobre o número de esporos de FMA nativos pode ser capaz de produzir resultado semelhante.

O número média de esporos de FMA no solo adubado com CV2 (Tabela 5) apresentou valores semelhantes, nos dois sistemas de plantio e nos dois ciclos de cultivo avaliados. Isso pode decorrer da alta proporção de gramíneas (milho, milheto e sorgo) no CV2, pois espécies desse grupo de plantas produzem aumento da esporulação, devido ao sistema radicular fasciculado, com raízes finas, abundante e de rápido crescimento e com alta eficiência fotossintética que resulta em maior capacidade de fornecer fotossintatos aos FMA (Freschet et al., 2020). Gramíneas são indicadas para utilização na multiplicação de esporos no solo para produção de inoculo micorrízico (Lima et al., 2013).

Tabela 5: Número de esporos de FMAs no solo com cultivo de meloeiro em longo prazo, sob irrigação no semiárido, com diferentes sistemas de cultivos e composição da adubação verde

Sistema de cultivo (SC)	Mistura de plantas para adubação verde (AV)	Esporos de FMA (50 g de solo)	
		Ciclo 1 (2012)	Ciclo 6 (2017)
Plantio direto (deposição da fitomassa na superfície do solo)			
	Coquetel vegetal 1	48,6 ab A	67,1 a A
	Coquetel vegetal 2	42,6 ab A	37,9 ab A
	Vegetação espontânea	77,8 a A	67,1 a A
Convencional (incorporação da fitomassa ao solo por revolvimento)			
	Coquetel vegetal 1	31,0 b A	22,1 b B
	Coquetel vegetal 2	34,2 b A	48,0 ab A
	Vegetação espontânea	31,8 b A	19,5 b B
Valor de P			
	SC*	0,004	0,003
	AV	0,160	0,984
	SC x AV	0,124	0,014

Médias seguidas por letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade. Coquetel Vegetal 1 (75% leguminosas + 25% não-leguminosas), Coquetel Vegetal 2 (25% leguminosas + 75% não-leguminosas).

O número médio de esporos de FMA no solo adubado com CV1 e VE apresentou, de modo geral, valores relativamente altos no sistema de plantio direto, e se manteve assim em longo prazo, continuando altos após 6 anos de cultivo. Contudo, no sistema convencional houve diminuição no número de esporos nesses tratamentos em longo prazo (Tabela 5). Nos grupos de plantas predominantes nesses tratamentos a associação micorrízica foi mais afetada que em CV2, possivelmente por efeito das

características do sistema radicular e do metabolismo delas (Cardozo Junior et al., 2018).

Em cafeeiro, a permanência de espécies de plantas espontâneas nas entrelinhas promoveu aumento no número de esporos de FMA (Melloni et al., 2017), corroborando o resultado obtido no cultivo de melão, pois as subparcelas onde cresceu a vegetação espontânea no sistema de plantio direto apresentaram alto quantidade de esporos, bem como da importância potencial dessas plantas para a sustentabilidade na agricultura (Aslani et al., 2019).

A diminuição do número de esporos de FMA no sistema convencional se deve também ao uso das práticas de preparo do solo como aração e gradagem. Essas práticas provocam o rompimento das hifas, que resulta na redução do potencial de inóculo de FMA do solo e na diminuição na produção de esporos (Angelini et al., 2012). Sistemas convencionais na cultura em longo tempo produziram efeitos negativos na comunidade microbiana do solo, como a redução do número de esporos de FMA também em experimento no cerrado (Schneider et al., 2011).

As práticas conservacionistas como o uso de plantas de cobertura e plantio direto podem proporcionar melhorias na qualidade do solo e beneficiar os FMAs, pois geralmente, a comunidade dos FMAs é numerosa em sistemas agrícolas que englobam, principalmente, uso reduzido de agroquímicos, cultivo mínimo,

rotação de culturas e semeadura de gramíneas (Angelini et al., 2012).

Colonização micorrízica total do meloeiro

A colonização micorrízica total do meloeiro em 2012, primeiro ano de cultivo de melão, foi relativamente alta, com médias variando entre 68 e 83% (Figura 1). Houve semelhança no efeito do sistema de cultivo e das misturas de plantas para adubação verde ($p < 0,05$).

O efeito em longo prazo avaliado em 2017 a colonização diminuiu ($p < 0,05$), apresentando variação entre 19 e 38% (médias com símbolo ▲, Figura 1). A semelhança dos efeitos do sistema de cultivo e das misturas de planta se repetiu de modo geral. Sendo exceção, o tratamento com deposição da fitomassa do coquetel vegetal 2 ao solo.

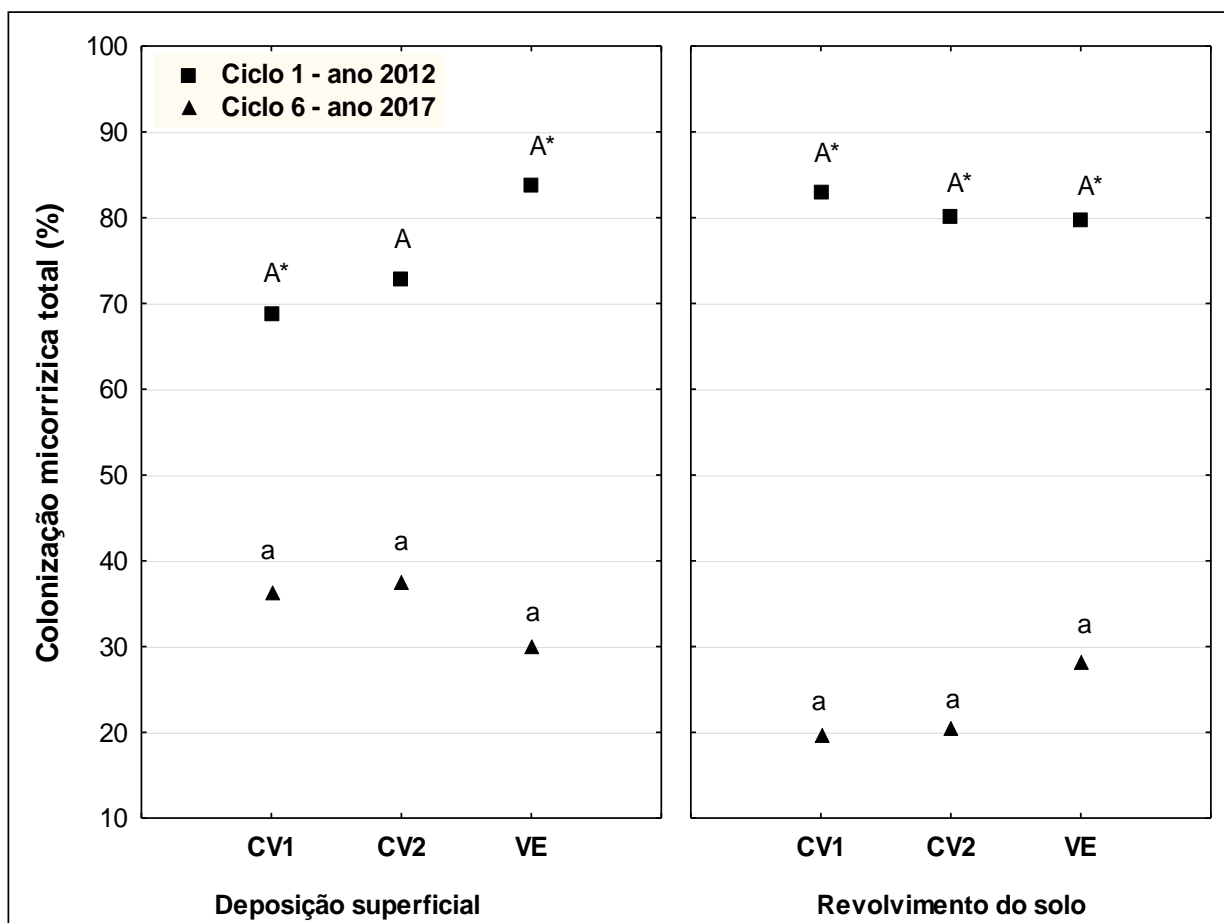


Figura 1. Grau de colonização micorrízica total (%) de raízes de meloeiro por estruturas de fungos micorrízicos arbusculares em experimento irrigado no semiárido, com diferentes sistemas de cultivos e tipos de adubo verde. Médias com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas para comparação em 2012 e minúsculas para 2017. Presença de * indica diferença estatística entre médias de 2012 e 2017, pelo teste de t pareado a 5% de probabilidade. CV1: Coquetel Vegetal 1 (75% leguminosas + 25% não-leguminosas); CV2: Coquetel Vegetal 2 (25% leguminosas + 75% não-leguminosas); VE: vegetação espontânea.

Assim, após 6 anos cultivo de meloeiro numa mesma área, sempre antecedido do cultivo e aplicação das misturas de plantas para adubação verde, a colonização micorrízica total do meloeiro foi afetada negativamente. Em estudo de cultivo meloeiro em ambiente protegido com telado, também no Vale do São Francisco, com e sem inoculação de FMA, sob estresse hídrico nos anos 2015 e 2016, a média da colonização micorrízica foi igual a 36,2% no primeiro ano e igual a 40% no segundo ano (Melo, 2017). Essas médias foram menores que as verificadas no primeiro ciclo de cultivo desse estudo, se assemelhando aos resultados do após 6 anos de cultivo.

A variação verificada no pode estar relacionada com as diferenças nas condições

experimentais, como disponibilidade hídrica, teor de nutrientes no solo e do manejo adotado (Melo et al., 2017). Visto que variações no teor de nutrientes e pH do solo influenciam fortemente a composição das comunidades de FMAs e o estabelecimento da simbiose (Vorišková et al., 2016).

As diferentes misturas de plantas utilizadas para adubação verde produziram resultados semelhantes na colonização micorrízica, tanto no primeiro ciclo de cultivo (2012) quanto em no sexto ciclo (2017). Assim, para os FMA a composição das misturas de plantas no pré-cultivo não produziu diferenças nos propágulos do solo de forma que pudesse afetar a colonização de meloeiros.

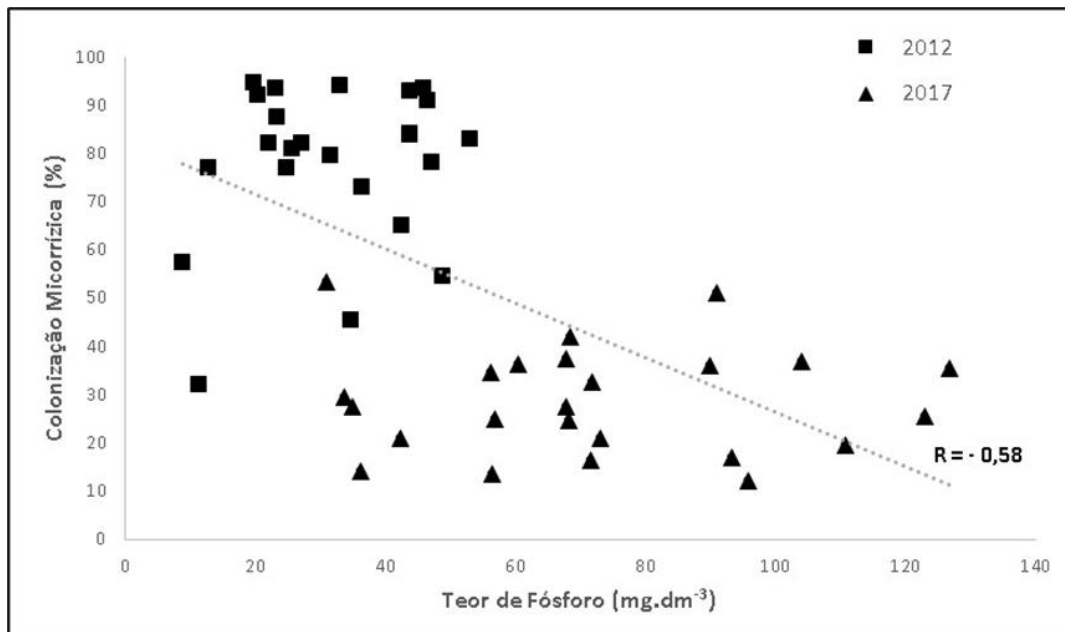


Figura 2: Correlação entre teor de fósforo no solo (mg dm^{-3}) e grau de colonização micorrízica ($p < 0,05\%$).

Os FMA não apresentam especificidade em relação as espécies de plantas com as quais estabelecem associação (Vorišková et al., 2016), essa característica possibilita que em condições de manejo com plantas de cobertura para adubação verde, se associem tanto às plantas do pré-cultivo quanto à cultura principal, nesse caso o meloeiro. A avaliação da colonização micorrízica das plantas de pré-cultivo desse experimento cultivadas em 2012 mostrou que as plantas eram micotróficas com alto grau de colonização nas condições de cultivo (Souza et al., 1999).

A diminuição do grau de colonização micorrízica do meloeiro em longo prazo foi influenciada pelo teor de P no solo (Figura 2). A correlação entre colonização micorrízica e teor de P foi moderada e negativa ($R = -0,58$), assim maiores valores de colonização micorrízica (predominantemente maiores que 65%) aconteceram no primeiro ano de cultivo (2012) e estiveram associados a teores de P menores que 50 mg.dm^{-3} . Em 2017, maiores valores de teor de P no solo se correlacionaram a colonização micorrízica que variou entre 10 e 55%.

O aumento da disponibilidade de P no solo pode diminuir a colonização de FMA nas raízes dos hospedeiros (Bakhschandeh et al., 2017; Ferrol et al., 2018), tal como confirmado pelos resultados obtidos. Isso indica a importância de ajustes na fertilização inorgânica para permitir que a simbiose micorrízica promova os benefícios nutricionais já amplamente descritos na literatura e para economia em termos de fertilizantes e ganhos em sustentabilidade da prática agrícola (Bhale et al., 2018; Ferrol et al., 2018). De qualquer forma, os teores verificados nas diferentes fases do experimento são considerados altos (Sampaio et al., 2009; Santos et al 2016).

Colonização vesicular do meloeiro

A colonização das raízes do meloeiro por vesículas de FMA apresentou médias variando de 6 a 23% no primeiro ciclo de cultivo (médias com símbolo ■, Figura 3). No sexto ciclo de cultivo, as médias diminuíram com variação de 0 a 5 % (médias com símbolo ▲, Figura 1).

Assim, em longo prazo a colonização por vesículas diminuiu por efeito do sistema de cultivo convencional, com aplicação da fitomassa por incorporação ao solo ($p < 0,05$), sendo significativo no CV2 e na vegetação espontânea. Resultado semelhante foi verificado em estudo de longa duração, com redução da colonização por vesículas de FMA em soja cultivada em sistema convencional, com revolvimento do solo, e em manejo consorciado com ervilhaca e nabo forrageiro (Schneider et al., 2011).

A colonização vesicular do meloeiro apresentou tendência semelhante à verificada na colonização micorrízica total. Com maiores médias no primeiro ciclo de cultivo do e diminuição no sexto ciclo de cultivo. Também como visto na colonização total, a proporção de vesículas.

As vesículas são estruturas de armazenamento dos FMA, que podem também funcionar como propágulos (Müller et al., 2017), e assim como as demais estruturas dos FMA, o seu desenvolvimento pode ser afetado por condições ambientais, por práticas de manejos e pela concentração de P (Vorišková et al., 2016; Verzeaux et al., 2017).

Colonização arbuscular do meloeiro

A colonização por arbúsculos na raiz de meloeiro apresentou médias variando entre 2 e

12% em 2012 e entre 1 a 17 % em 2017 (médias com símbolo ■, Figura 4). De modo geral, são valores baixos de colonização arbuscular e podem ter sido influenciados pelos teores altos de fósforo no solo, pois a maior parte das amostras apresentou teores entre 20 a 80 mg dm⁻³ (Figura 2).

O aumento da absorção de fósforo pelos FMA é um dos principais benefícios nutricionais das micorrizas arbusculares e os arbúsculos são o principal sítio de transferência do P absorvido pelos FMAs para as plantas (Baum et al., 2015). A baixa proporção de arbúsculos pode ser devido à contribuição dos FMA na absorção de P diminuir em solo com P abundante (Lima, 2020).

Para essa variável, de modo geral, não foi verificado efeito negativo de longo prazo, temporal, mas verificou-se interação entre os fatores sistema de cultivo e composição do adubo verde. Dessa forma, a Figura 4 foi construída para destacar esse resultado, onde os dados foram agrupados por ciclo de cultivo, tendo estrutura diferente das Figuras 1 e 2, onde as médias foram agrupadas pelo sistema de cultivo.

Os arbúsculos são estruturas temporárias formadas nas raízes para troca de nutrientes entre simbiontes quando a associação micorrízica está em grande atividade. Tem tempo de duração de 2 a 8 dias antes de começar a colapsar (Luginbuehl e Oldroyd, 2017). Os baixos valores verificados podem ser decorrentes do período em que a amostragem foi feita, já no final do ciclo da cultura, quando as plantas entram em senescência e a associação simbiótica em declínio. A taxa e a extensão da colonização das raízes por estruturas dos FMAs podem variar ao longo do ciclo de uma determinada cultura, à medida que as plantas se aproximam da maturidade fisiológica (Claassens et al., 2018).

Estudos em que se avalia a presença de arbúsculos nas raízes não são muito frequentes, mas Schneider et al. (2011) verificaram diminuição na colonização por arbúsculos em sistema convencional de cultivo. Estudos de sistemas de plantio direto tem mostrado que a permanência dos resíduos vegetais na superfície do solo promove menores impactos nas propriedades do solo, maior disponibilidade de nutrientes e melhores condições para a atividade microbiana (Schneider et al., 2011; Gottshall et al., 2017).

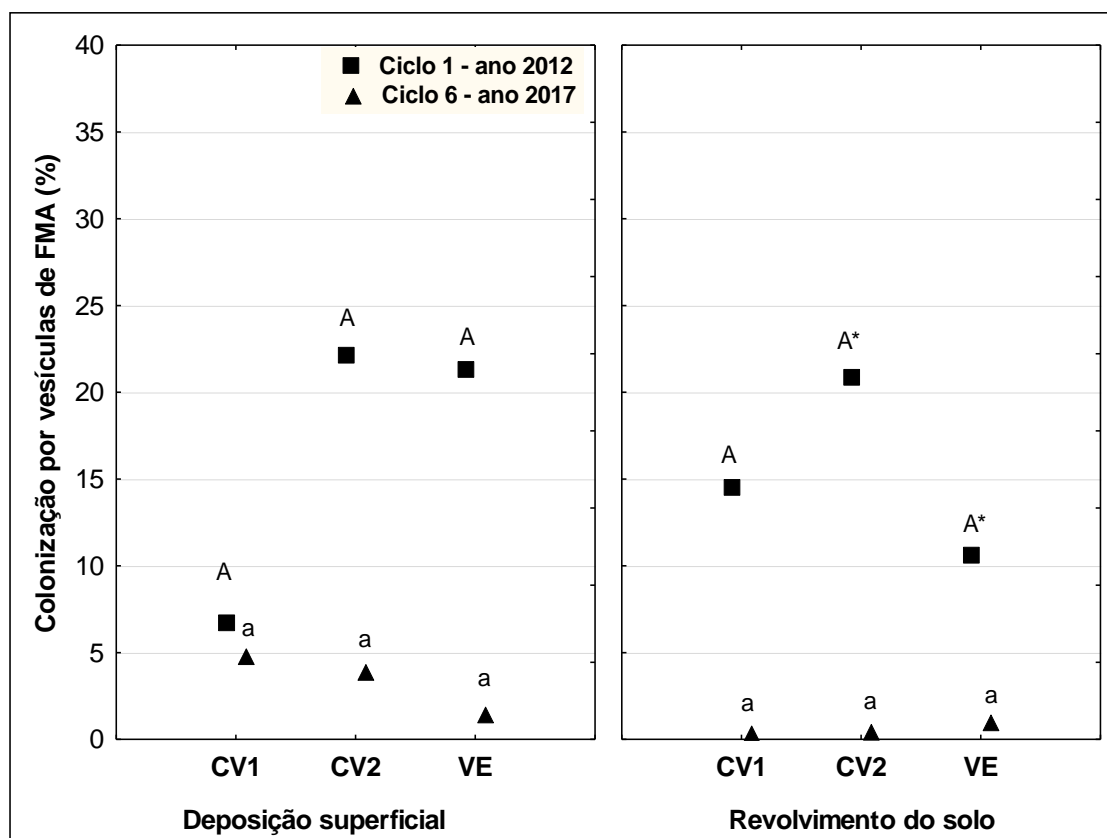


Figura 3. Grau de colonização (%) de raízes de meloeiro por vesículas de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em experimento irrigado no semiárido, com diferentes sistemas de cultivos e tipos de adubo verde. Médias com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas para compara médias de 2012 e minúsculas as de 2017. Presença de * indica diferença estatística entre médias de 2012 e 2017, pelo teste de t pareado a 5% de probabilidade. CV1: Coquetel Vegetal 1 (75% leguminosas + 25% não-leguminosas); CV2: Coquetel Vegetal 2 (25% leguminosas + 75% não-leguminosas); VE: vegetação espontânea.

Ainda que sejam escassos estudos que incluem quantificação de arbúsculos, bem como de vesículas, nas raízes de plantas micorrizadas, especialmente em experimentos naturais ou de campo, há necessidade de esforços para que se tenha registros mais abundantes para ampliar o conhecimento sobre os fatores que afetam essas estruturas dos fungos micorrízicos e de que modo as afetam (Rillig et al., 2019).

Destaca-se por fim os efeitos verificados da vegetação espontânea sobre as micorrizas arbusculares que foram semelhantes aos obtidos pela aplicação de coquetéis vegetais, tendo potenciais benefícios no semiárido, tanto no aspecto econômico quanto no ambiental. O benefício econômico é decorrente de não haver custos com compra de sementes para composição dos coquetéis e de mão de obra para o plantio.

O manejo das plantas nativas, além de ter menor custo, tem benefícios ecológicos, pois se espera grande diversidade de FMA nativos, bem adaptados às plantas e às condições edafoclimáticas da região, com isso apresentem grande diversidade funcional (Brito et al., 2019).

O benefício ambiental deriva de essa prática agrícola ser conservacionista, pois se utiliza recursos vegetais naturais e isso contribui para a manutenção da biodiversidade. Dessa forma, a divulgação desses resultados e a recomendação para adoção dessa prática na agricultura familiar do semiárido podem contribuir para ampliação do conhecimento e a promoção da conservação e manejo sustentável da vegetação. Conhecimento para a população e ações de preservação são necessidades verificadas na região (Lima et al., 2013; Santos et al., 2019).

Ainda que haja estudo em que se considera que sejam otimistas em relação à importância dos FMAs na agricultura, e pessimistas sobre interpretações sobre o impacto de algumas práticas agrícolas convencionais sobre a comunidade microbiana (Ryan; Graham, 2018). Há também que se considerar aspectos de sustentabilidade e buscar alinhamento com a produção e o rendimento. Inclusive considerando

que os solos cultiváveis e os fertilizantes fosfatados são recursos não renováveis. Agroecossistemas são ambientes mais compatíveis com os FMAs e podem contribuir para o aproveitamento do seu potencial benéfico já conhecido para a atividade agrícola, bem como demais serviços ecossistêmicos que podem prestar (Rillig et al., 2018).

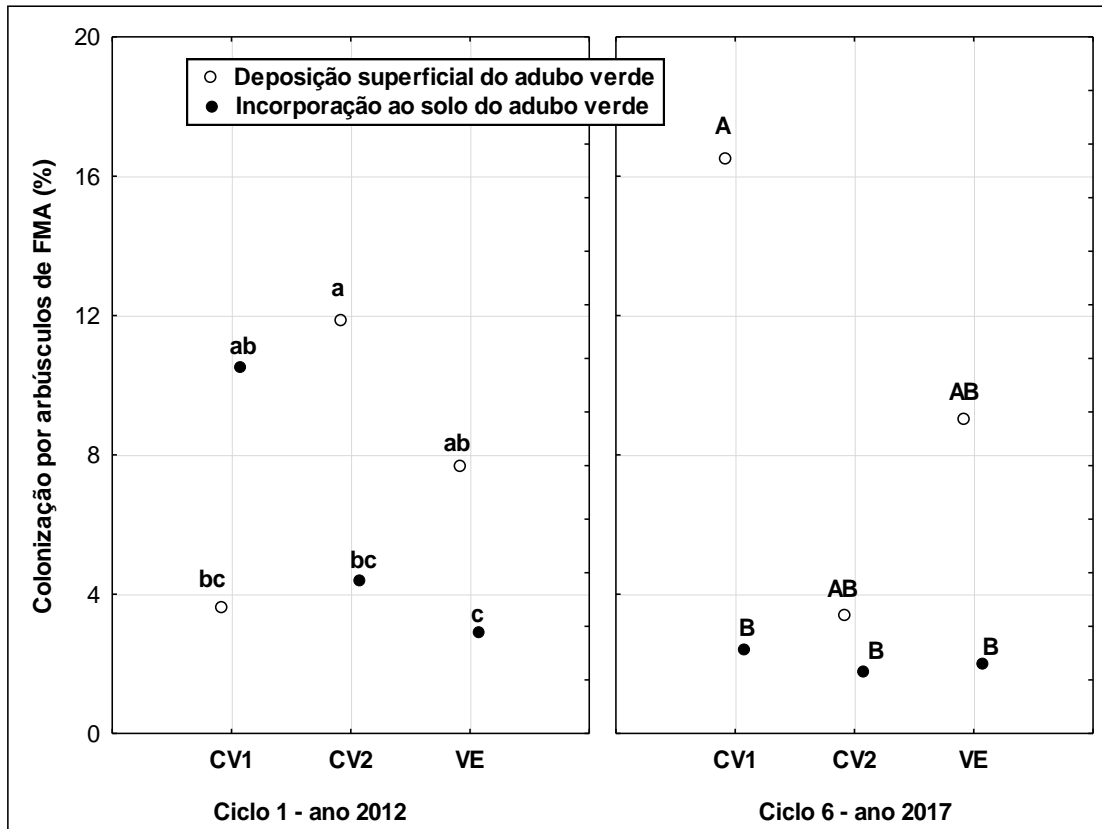


Figura 4. Colonização (%) por arbusculos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e raízes de meloeiro em experimento irrigado no semiárido, com diferentes sistemas de cultivos e tipos de adubo verde. Médias com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras minúsculas para comparação de médias em 2012 e maiúsculas para 2017. Presença de * indica diferença estatística entre médias de 2012 e 2017, pelo teste de t pareado a 5% de probabilidade.

Conclusões

O uso agrícola do solo para cultivo de meloeiro em agroecossistemas com adubação orgânica favoreceu o aumento do número de esporos, e essa condição foi mantida em longo prazo.

A adubação verde com coquetéis vegetais e plantas espontâneas produziu efeitos semelhantes entre si sobre a colonização micorrízica e sobre o número de esporos dentro de cada sistema de manejo.

Em longo prazo, a colonização micorrízica de meloeiro e o número de esporos de FMAs no solo rizosférico apresentaram manutenção das médias no sistema de plantio direto e diminuição, no sistema convencional.

A diminuição no grau de colonização micorrízica do meloeiro esteve correlacionada com o aumento do teor de fósforo no solo, em longo prazo.

Agradecimentos

Ao financiamento da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Brasil, Código de Financiamento 001.

Ao financiamento do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA), da Universidade de Pernambuco e da Embrapa Semiárido.

Referências

- Aslani, F., Juraimi, A. S., Ahmad-Hamdani, M. S., Alam, M. A., Hasan, M. M., Hashemi, F. S. G., Bahram, M., 2019. The role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant invasion trajectory. *Plant Soil* 441, 1–14. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04127-5>
- Alarcon, A. L., Gómez-Bellot, M. J., Bernabe, A. J., Calvo, G., Martín, F. F., 2019. Changes in root architecture and productivity of melon (*Cucumis melo* L. cv. Hispano Nunhems) promoted by *Glomus iranicum* var. *tenuihypharum*. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. Disponível: <https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1681906>
- Angelini, R. G. A., Loss, A., Pereira, M. G., Torres, J. L. R., Saggin Júnior, O. J., 2012. Colonização micorrízica, densidade de esporos e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em solo de cerrado sob plantio direto e convencional. *Semina: Ciências Agrárias* 33 (1), 115-130.
- Anuário Brasileiro de Fruticultura, 2017. Santa Cruz do Sul: Gazeta, 88.
- Bakhshandeh, S., Corneo, P. E., Mariotte, P., Kertesz, M. A., Dijkstra, F. A., 2017. Effect of crop rotation on mycorrhizal colonization and wheat yield under different fertilizer treatments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 247, 130–136.
- Barros, V., Frosi, G., Santos, M., Ramos, D. G., Falcão, H. M., Santos, M. G., 2018. Arbuscular mycorrhizal fungi improve photosynthetic energy use efficiency and decrease foliar construction cost under recurrent water deficit in woody evergreen species. *Fungal Ecology* 40, 72-81. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.04.016>
- Baum, C., El-Tohamy, W., Gruda, N., 2015. Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: a review. *Scientia Horticulturae* 187, 131-141. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.002>
- Bhale, U.; Bansode, S.; Singh, S. Multifactorial role of arbuscular mycorrhizae in agroecosystem. In *Fungi and Their Role in Sustainable Development: Current Perspectives*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2018; pp. 205–220: Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/327720150>
- Brito, I., Goss, M. J., Alho L., Brígido, C., van Tuinen, D., Felix, M. R., Carvalho, M., 2019. Agronomic management of AMF functional diversity to overcome biotic and abiotic stresses - The role of plant sequence and intact extraradical mycelium. *Fungal Ecology* 40 72-81. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2018.06.0011754-5048>
- Cakmakci, O., Cakmakci, T., Durak, E. D., Demir, S., Sensoy, S., 2017. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi in melon (*Cucumis melo* L.) seedling under deficit irrigation. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26 (12) 7513-7520
- Cardozo Junior, F. M., Carneiro, R. F. V., Goto, B. T., Araújo, A. S. F., 2018. Arbuscular mycorrhizal communities in different tropical pastures of the Brazilian northeast. *Revista Agrária Acadêmica*, 1 (4), 17-28
- Claassens, A., Nock, C. J., Rose, M. T., Van Zwieten, L., Rose, T. J., 2018. Colonisation dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes in the sugarcane crop cycle. *Rhizosphere*, 7, 18-26
- Cosme, M., Fernández, I. Van der Heijden, M. G. A. Pieterse, C.M.J., 2018. Non-mycorrhizal plants: the exceptions that prove the rule. *Trends in Plant Science*, 23, (7) Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.04.004>
- Ferrol, N., Azcón-Aguilar, C., Pérez-Tienda, J. 2019. Arbuscular mycorrhizas as key players in sustainable plant phosphorus acquisition: An overview on the mechanisms involved. *Plant Science*, 280, 441-447. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.11.011>
- guilar, Jacob Pérez-Tienda
- 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/hal-02918834>
- Giongo, V., Salviano, A. M., Santana, M. D. S., Costa, N. D., Yuri, J. E., 2016. Soil management systems for sustainable melon cropping in the submedian of the São

- Francisco Valley. *Revista Caatinga* 29 (3), 537-547
- 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>
- Gottshall, C. B., Cooper, M., Emery, S. M., 2017. Activity, diversity and function of arbuscular mycorrhizae vary with changes in agricultural management intensity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 241, 142–149
- 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
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017. Censo Agrário 2017. Disponível em: <http://censoagro2017.ibge.gov.br/>. Acesso em: 8 out. 2018
- Jansa, J., Forczek, S.T., Rozmoš, M., Püschel, D., Bukovská, P. Hřelová, H., 2019. Arbuscular mycorrhiza and soil organic nitrogen: network of players and interactions. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 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
- Johnson, N. C., O'Dell, T. E., Bledsoe, C. S., 1999. Methods for ecological studies of mycorrhizae. In: Robertson, G. P., Coleman, D. C., Bledsoe, C. S., Sollins, P. (Eds.) *Standard soil methods for long-term ecological research*. New York: Oxford University Press, p. 378–412
- Lima, C. E. P., Santana, A. S., Mergulhão, A. C. E. S., Lima, R. L. F. A., 2013. Micorriza Arbuscular: alternativa para uso na agricultura sustentável. In: *Tecnologias potenciais para uma agricultura sustentável*. Recife: Ipa/Emater/Seagri-AL, 113–132.
- 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
- Luginbuehl, L. H., Oldroyd, G. E. D. 2017. Understanding the arbuscule at the heart of endomycorrhizal symbioses in plants. *Current Biology* 27, R952–R963. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2017.06.04>
- McGonigle, T. P., Millers, M. H., Evans, D. G., Fairchild, G. L., Swan, J. A., 1990. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist* 115 (3), 495-501
- Melloni, R., Silve, E. M., Alvarenga, M. I. N., Melloni, E. G. P., Alcântara, E. N., 2017. Impacto do controle de plantas espontâneas sobre propágulos de FMAs e micorrização de cafeeiro. *Coffee Science* 12 (2), 207-215
- Melo, J. M. M., Marinho, L. G., Vargens, F. N., Sousa Filho, J. R., Deon, M. D., Melo, A. M. Y., 2017. Crescimento de meloeiro submetido ao estresse hídrico com e sem micorrização no vale do submédio são Francisco. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* 11 (2), 1261-1270
- Mullath, S. K., Błaszowski, J., Govindan, B.N., Dhaheri, L.A., Symanczik, S. Al-Yahya'ei, M.N., 2020. Organic farming practices in a desert habitat increased the abundance, richness, and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 31, (12), 969-979. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.9755/ejfa.2019.v31.i12.2057>
- Müller, A., Ngwene, B., Peiter, E., George, E., 2017. Quantity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungal storage organs within dead roots. *Mycorrhiza* 27 (3), 201-210
- Noor, H. M., Ahmad, H., Sayuti, Z., 2019. Effect of mycorrhiza, fertilizers and planting media on rock melon (*Cucumis Melo* Linn Cv. Glamour) growth using the canopytechure structure. *International Journal of Applied Agricultural Sciences* 5 (1), 14-19. Disponível em: <https://doi.org/10.11648/j.ijaas.20190501.12>
- Pereira Filho, A., Teixeira Filho, J., Giongo, V., Simões, W. L., Lal, R., 2016. Nutrients dynamics in soil solution at the outset of notill implementation with the use of plant cocktails in Brazilian semi-arid. *African Journal of Agricultural Research* 11 (4), 234-246. Disponível em: <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.10047>
- Reis, R. J. A., Campos, S. A., Martins, G. S. L., Jesus, E. L., Bastiani, M. L. R., Campos, A. N.

- R., 2012. Efeitos de plantas de cobertura nas associações do milho (*Zea mays* L.) com fungos benéficos do solo. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável* 2 (2), 75-80.
- Rillig, M.C., Aguilar-Trigueros, C.A., Camenzind, T., Cavagnaro, T.R., Degruene, F., Hohmann, P., Lammel, D.R., Mansour, I., Roy, J., Van der Heijden, M.G.A., Yang, G., 2018. Why farmers should manage the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist* Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nph.1560>
- Rouphael, Y., Franken, P., Schneider, C., Schwarz, D., Giovannetti, M., Agnolucci, M., Pascale, S. Bonini, P., Colla, G., 2015. Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. *Scientia Horticulturae* 196, 91–108
- Ryan, M.H.; Graham, J.H., 2018. Little evidence that farmers should consider abundance or diversity of arbuscular mycorrhizal fungi when managing crops. *New Phytologist*, v. 220, p. 1092–1107
- Sampaio, E. V. S. B., Araújo, M. S. B., Salcedo, I. H., Menezes, R. S. C., 2009. Agricultura sustentável no semi-árido nordestino. Recife: Ed. universitária da UFPE
- Santos, H. C., Oliveira, F. H. T., Souza, A. P., Salcedo, I. H., Silva, V. D. M., 2016. Disponibilidade de fósforo em função do seu tempo de contato com diferentes solos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 20 (11), 996-1001
- Santos, P.V.S., 2019. Análise SWOT acerca da produção agrícola no Vale do São Francisco: o caso do *Cucumis melo* L. *Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão* 4 (1), 95-102
- Schneider, J., Klauberg Filho, O., Fontoura, S. M. V., Alves, M. V., 2011. Influência de diferentes sistemas de manejo e calagem em experimento de longa duração sobre fungos micorrízicos arbusculares. *Ciência e Agrotecnologia*, 35, 701-709
- Scrase, F. L., Sinclair, J. F., Farrar, P. S., Pavinato, F. M., Jones, D. L., 2019. Mycorrhizas improve the absorption of non-available phosphorus by the green manure *Tithonia diversifolia* in poor soils. *Rhizosphere* 9, 27-33
- Sousa, C. S., Menezes, R. S. C., Sampaio, E. V. S. B., Lima, F. S., Oehl, F., Maia, L. C., Garrido, M. S., Lima, F. S., 2012. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi after organic fertilization in maize, cowpea and cotton intercropping systems. *Acta Scientiarum* 34 (2), 149-156
- Sousa, C. D. S., Menezes, R. S. C., Sampaio, E. V. S. B., Lima, F. S., Maia, L. C., Oehl, F., 2014. Arbuscular mycorrhizal fungi in successional stages of caatinga in the semi-arid region of Brazil. *Ciência Florestal* 24 (1), 137-148
- Souza, F. A., Trufem, S. F. B., Almeida, D. L., Silva, E. M. R., Guerra, J. G. M., 1999. Efeito de pré-cultivos sobre o potencial de inoculo de fungos micorrízicos arbusculares e produção de mandioca. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 34 (10), 1913-1923
- Teixeira, P. C., Donagemma, G. K., Fontana, A., Teixeira, W. G., 2017. Manual de métodos de análises de solos. 3 ed. Brasília: Embrapa
- Teixeira-Rios, T.; Silva, D. K. A.; Goto, B. T.; Yano-Melo, A. M., 2018. Seasonal differences in arbuscular mycorrhizal fungal communities in two woody species dominating semiarid caatinga forests. *Folia Geobot*, 53, 191–200 Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12224-018-9314-7>
- Verzeaux, J., Hirel, B., Dubois, F., Lea, P. J., Tétu, T., 2017. Agricultural practices to improve nitrogen use efficiency through the use of arbuscular mycorrhizae: basic and agronomic aspects. *Plant Science* 264, 48-56
- Vidal, M. F., Ximenes, L. J. F., 2016. Comportamento recente da fruticultura nordestina: área, valor da produção e comercialização. *Caderno Setorial ETENE* 18-26
- Vorišková, A., Janoušková, M., Slavíková, R., Pánková, H., Daniel, O., Vazacová, K., Rydlová, J., Vosátka, M., Münzbergová, Z., 2016. Effect of past agricultural use on the infectivity and composition of a community of arbuscular mycorrhizal fungi. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 221, 28-39
- 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>