

MICORRIZAS E SUA IMPORTÂNCIA AGROECOLÓGICA

Marciana Christo Berude¹, Déborah Sampaio de Almeida¹, Mayara Mezabarba Riva¹, Priscila Alvarez Cabanêz¹, Atanásio Alves do Amaral²

1. Pós graduandas em Agroecologia pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – Campus de Alegre, Alegre, ES, Brasil; (deborahsampaio12@gmail.com).
2. Professor Titular-Livre no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – Campus de Alegre, Alegre, ES, Brasil.

Recebido em: 08/09/2015 – Aprovado em: 14/11/2015 – Publicado em: 17/12/2015

RESUMO

O estudo do solo tem sido intensificado nas últimas décadas, sobretudo nos aspectos relacionados aos microrganismos, dentre os quais se destacam as micorrizas. As micorrizas consistem em associações mutualísticas entre fungos do solo e raízes de plantas. Estes microrganismos favorecem o crescimento das plantas, contribuem para a estruturação das comunidades vegetais. Em sistemas agrícolas, contribuem para a sustentabilidade. Por exercerem significativo papel para a funcionalidade e manutenção dos ecossistemas naturais e manejados, inclusive os degradados, as micorrizas são úteis para a natureza e para o homem. Entretanto, apesar da importância para a agricultura, as micorrizas ainda são pouco estudadas e divulgadas. Assim, sugere-se a realização de novos estudos sobre as aplicações das micorrizas.

PALAVRAS-CHAVE: Micorrizas arbusculares, mutualismo, sustentabilidade agrícola

MYCORRHIZAE AND ITS AGROECOLOGICAL IMPORTANCE

ABSTRACT

The soil survey has been intensified in recent decades, especially in aspects related to microorganisms, among which stand out the mycorrhizae. The mycorrhizae consist of mutualistic associations between soil fungi and the roots of most plants. These microorganisms promote the growth of plants, contributing to the structuration of plant communities. In agricultural systems, it contributes to sustainability. By exercising significant role in the functionality and maintenance of natural and managed ecosystems, including degraded areas, it are important to the nature and to the people. However, despite the importance to agriculture, mycorrhizae are still poorly studied, and disseminated. So it is suggest further studies on the applications of mycorrhizae.

KEYWORDS: agricultural sustainability, arbuscular mycorrhiza, mutualism

INTRODUÇÃO

O estudo do solo tem sido intensificado nas últimas décadas, sobretudo nos aspectos relacionados aos microrganismos, dentre os quais se destacam as micorrizas. O termo micorriza foi proposto pelo botânico alemão Albert Bernard

Frank, em 1885, originado do grego em que “mico” significa fungo e “riza” raízes (SOUZA et al., 2006). Estas consistem em associações simbióticas mutualistas entre fungos do solo e a maioria das plantas vasculares (SANTOS, 2006). Cerca de 90% das plantas terrestres formam associações micorrízicas, as quais foram estabelecidas há mais de 400 milhões de anos e hoje são encontradas em quase todos os habitats no mundo (KISTNER & PARNISKE, 2002).

Esforços vêm sendo feitos para que a produção animal e vegetal de base ecológica se desenvolva no Brasil, seja no campo legislativo, com a criação da Lei dos orgânicos, e de políticas públicas com a implementação do Plano Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (BRASIL, 2012), seja no alinhamento de pesquisas com a criação do marco referencial em agroecologia (EMBRAPA, 2006) e do portfólio de projetos em sistemas de produção de base ecológica da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2012). As boas práticas agropecuárias garantem terras férteis, viabilidade econômica da atividade, preservação do solo e da água e satisfação de todos os envolvidos.

O aumento da capacidade de absorção de nutrientes é promovida pela interação dos fungos micorrízicos com as espécies vegetais, proporcionando vários benefícios, além de aumentar a capacidade de sobrevivência das plantas no solo por meio da expansão do sistema radicular, causada pela simbiose dos fungos micorrízicos com as raízes (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006; CHAGAS JUNIOR et al., 2010; BRAHMAPRAKASH & SAHU, 2012).

Pesquisas envolvendo as micorrizas têm, como objetivo prático, aumentar a produção, reduzir o uso de fertilizantes químicos e contribuir para alcançar um padrão de agricultura mais sustentável e menos dependente de insumos (SIQUEIRA et al., 2006). Esse trabalho é uma revisão de literatura sobre as micorrizas, abordando as características gerais e a importância para a agricultura, ecológica, econômica e industrial.

CLASSIFICAÇÃO DAS MICORRIZAS

As micorrizas foram classificadas originalmente em três grupos, de acordo com o aspecto morfológico e anatômico da colonização radicular: ectomicorriza, endomicorriza e ectoendomicorriza. (GERDEMANN, 1968; LOPES et al., 1983 citados por RUSSOMANNO, 2006).

As endomicorrizas são frequentemente chamadas fungos micorrízicos arbusculares (FMA), em que a penetração do micélio interno no córtex da raiz ocorre inter e intracelularmente. As ectomicorrizas são caracterizadas pelo crescimento intercelular, formando um manto de hifas ao redor da raiz, (BERTOLAZI et al., 2010; CANTON, 2012). Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são organismos biotróficos obrigatórios, que se associam com raízes de plantas vasculares, formando uma relação simbiótica mutualista (SOUZA et al., 2010).

A classificação dos fungos micorrízicos arbusculares tem passado por algumas alterações em virtude do avanço da utilização de técnicas moleculares do estudo filogenético (SAGGIN JUNIOR & SILVA, 2005). Os fungos micorrízicos arbusculares pertencem ao filo *Glomeromycota* (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006), e são reconhecidas quatro ordens para esse filo: a Archaeosporales, a Diversisporales, a Glomerales e Paraglomerales, que contém 13 famílias e 19 gêneros (OEHL et al., 2008), totalizando aproximadamente 220 espécies (GOTO et al., 2010), com mais da metade já descritas no Brasil (CARNEIRO et al., 2012). A ordem Glomerales inclui duas subordens: Glomineae e Gigasporineae. A subordem Glomineae tem quatro famílias: Glomaceae, Acaulosporaceae, Archeosporaceae e

Paraglomaceae. A subordem Gigasporineae, por sua vez, tem apenas uma família: Gigasporaceae (OEHL et al., 2008).

Os fungos mutualísticos que predominam nas raízes e nos solos de culturas agrícolas e de ecossistemas florestais são os micorrízicos arbusculares, estão incluídos no filo Glomeromycota (SCHÜBLER et al., 2001), Classe Glomeromycetes (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006), com quatro ordens: Diversisporales, Glomerales, Archaeosporales e Paraglomerales (BERBARA et al., 2006).

CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS MICORRIZAS

Quase todas as plantas necessitam de uma associação mutualística com fungos. Sem auxílio, os pelos radiculares dessas plantas não absorvem água ou nutrientes necessários para manter o crescimento. Entretanto, essas raízes são infectadas por fungos, formando uma associação chamada micorriza. As micorrizas podem ser ectomicorrizas, em que o fungo enrola-se à raiz, mas não penetram ou micorrizas arbusculares, no qual as hifas do fungo entram na raiz e penetram a parede celular das células radiculares formando estruturas arbusculares, dentro da parede celular, mas fora da membrana plasmática (SADAVA et al., 2009).

A associação entre FMA e raízes de plantas está presente na maioria das plantas superiores, formando as micorrizas (BAREA et al., 2011 citado por COLODETE et al., 2014). As micorrizas arbusculares são o tipo mais comum de micorrizas, ocorrendo em 80 % das espécies de plantas vasculares e resultam da colonização das raízes por fungos simbióticos obrigatórios (Filo Glomeromycota, com cerca de 230 espécies) (OEHL et al., 2011).

Os fungos micorrízicos arbusculares associam-se mutualisticamente com o sistema radicular de plantas superiores (BARBOSA, 2013). Muitos são os gêneros de fungos capazes de formar associação com plantas. Entretanto, existem diferentes graus de especificidade fungo-planta existindo uma compatibilidade diferenciada entre as espécies de fungos micorrízicos do solo e as variações nas características genéticas do hospedeiro determinando, dessa forma, a dependência micorrízica (CANTON, 2012).

Esses fungos estabelecem simbiose mutualística com raízes de plantas e o micélio extra-radicular explora o solo, adquirindo água e nutrientes com eficiência, notadamente o fósforo (SOUZA et al., 2011). Esta simbiose é formada entre fungos do solo pertencentes ao filo Glomeromycota e raízes de plantas (SMITH & READ, 2008).

O estabelecimento da simbiose ectomicorrízica se inicia pela ativação dos propágulos do fungo (esporos) que germinam e formam um tufo de hifas na rizosfera. Quando as hifas no solo reconhecem uma fina raiz emergindo da planta hospedeira, conduzem o crescimento em direção a estas raízes e colonizam a superfície formando um manto de hifas, cercando-as e isolando-as do solo ao redor (BERTOLAZI et al., 2010).

O comprimento de hifas extra-radulares é expresso por unidade de massa ou volume do solo, ou ainda por unidade de comprimento de raiz colonizada. A extensão e o impacto das micorrizas arbusculares sobre o volume do solo variam, principalmente, com as características radiculares e de textura do solo; raízes mais finas tendem a induzir maiores comprimentos de hifa (BERBARA et al., 2006). A camada superficial do solo (0-5 cm) é a região que mais ocorre raízes finas, raízes estas que se encontram as associações com fungos ectomicorrízicos (WINAGRASKI et al., 2013).

O diâmetro das hifas varia entre 2 – 20 µm e o das raízes é muito superior correspondendo a valores superiores a 300 µm (SMITH et al., 2010). Devido a estas diferenças de tamanho, as hifas proporcionam às plantas com Micorrizas arbusculares o acesso a poros de reduzido diâmetro, inacessíveis às raízes, fornecendo-lhes água e outros nutrientes que aí ficam retidos quando o solo seca ou fica mais compacto (SAMPAIO, 2012).

As associações ectomicorrízicas possuem um alto grau de especificidade com o hospedeiro, sendo este mecanismo governado por uma interação genética entre o fungo e a planta hospedeira (BERTOLAZI et al., 2010). A formação de ectomicorrizas no campo depende de vários fatores do ambiente, tais como, disponibilidade de nutrientes, pH do solo, temperatura, disponibilidade de água, aeração, intensidade luminosa, fisiologia da planta hospedeira, interações com os microrganismos do solo, e a toxicidade de certos pesticidas (SANTOS, 2006).

Na simbiose micorrízica arbuscular o fungo e a planta apresentam uma perfeita interação genética, morfológica e funcional em que o fungo coloniza o tecido cortical de raízes de plantas micotróficas, formando estruturas intracelulares típicas denominadas de arbúsculos e posteriormente desenvolve o micélio extrarradicular que é capaz de adquirir nutrientes do solo com eficiência (SMITH & READ, 2008; MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Os nutrientes são transferidos para as raízes micorrizadas em troca de açúcares através de transportadores de membrana específicos (SMITH & READ, 2008).

As hifas dos fungos micorrízicos são, em geral, muito mais eficientes na aquisição e no transporte de P do solo até as raízes do que o sistema radicular das plantas (SMITH & READ, 2008), principalmente, em condições de baixa disponibilidade que é o caso dos solos brasileiros (BERBARA et al., 2006). Segundo SUGAI et al. (2011), os microrganismos simbióticos, tais como os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), são importantes na manutenção dos sistemas florestais, podendo auxiliar na absorção dos nutrientes do solo e influenciar diretamente no crescimento das plantas. Além de aumentar o vigor e a capacidade de sobrevivência das plantas, pelo aumento na absorção de nutrientes, as micorrizas podem aumentar a tolerância aos patógenos radiculares e reduzir o nível de aplicação de fertilizantes após o transplante (NOGALES et al., 2009).

A matéria orgânica exerce um papel importante na distribuição das micorrizas arbusculares nos ecossistemas. Em regiões áridas, incluindo desertos e pastagens, onde os solos têm baixo conteúdo de matéria orgânica, as micorrizas arbusculares são abundantes (ALLEN et al., 1995). É provável que e a matéria orgânica, em baixas concentrações no solo, estimule a micorrização, porém as raízes finas as, as hifas de fungos micorrízicos arbusculares próximos à matéria orgânica estão em posição vantajosa para absorver nutrientes liberados na sua decomposição.

O fungo micorrízicos arbusculares (FMA) possui eficácia diferenciada, e cada espécie de planta hospedeira tem dependência variável à micorrização. Portanto, é recomendável que diferentes espécies de FMA sejam comparadas, sob diferentes condições de solo, para que possa selecionar espécies eficientes em promover o desenvolvimento das plantas e beneficiá-las nutricionalmente (BALOTA et al., 2011).

Entre os membros mais influentes da microbiota do solo, auxiliando os processos de recuperação das áreas degradadas, encontram-se os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), pois desempenham influência significativa no crescimento e na adaptação das plantas aos estresses bióticos e abióticos do solo (RAMOS et al., 2011).

Estudos realizados nas mais diversas situações de degradação têm destacado a importância e o potencial das micorrizas como agentes recuperadores de áreas impactadas. A aplicação das micorrizas arbusculares (MA) na recuperação de solos impactados concentram-se no efeito da degradação, na população micorrízica e na reintrodução de propágulos selecionados e na busca de espécies nativas adaptadas às condições de degradação (COLODETE et al., 2014).

O estabelecimento, o desenvolvimento e a conservação dos ecossistemas naturais são dependentes da associação micorrízica que propicia, aos vegetais, estratégia nutricional superior à de plantas não micorrizadas, beneficiando a sobrevivência em condições de estresse (MERGULHÃO et al., 2014). CARNEIRO et al. (2010) destacam que o manejo da simbiose micorrízica, como uma estratégia que visa à melhoria da nutrição e produtividade, com gasto mínimo de insumos, constituindo-se em uma prática promissora para uma maior viabilidade e sustentabilidade de pastagens, em solos tropicais.

IMPORTÂNCIA ECOLÓGICA, INDUSTRIAL E ECONÔMICA DAS MICORRIZAS

Os fungos micorrízicos apresentam significativa importância ecológica e econômica, tornando imprescindível a distinção entre as espécies para aplicabilidade do seu potencial. A utilização de técnicas moleculares pode ser útil para esclarecer a identidade e variabilidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em ambientes nativos e degradados, uma vez que estudos sobre a ocorrência de FMA em ecossistemas impactados no Brasil são escassos, mas é importante conhecer FMA que ocorrem em regiões impactadas, para fornecer informações sobre espécies tolerantes a condições de estresse (MERGULHÃO et al., 2014).

FRANCO et al. (1992) desenvolveram uma tecnologia baseada na utilização de espécies de leguminosas arbóreas associadas à rizóbios e fungos micorrízicos arbusculares como forma de superar as deficiências de nitrogênio e fósforo em áreas degradadas. Pois os fungos aumentam a disponibilidade de nutrientes, dentre estes o fósforo, potencializam a absorção de água, garantindo maior resistência à seca nas plantas hospedeiras (AZEVEDO, 2010).

A hifa externa do fungo micorrízico arbuscular quanto ao benefício nutricional da simbiose, pode fornecer 80% do fósforo, 25% do nitrogênio, 10% do potássio, 25% do zinco e 60% do cobre (MARSCHNER & DELL, 1994). A simbiose com fungos micorrízicos arbusculares também pode apresentar relevância na proteção de plantas contra estresse salino (GIRI et al., 2002). Frequentemente plantas micorrizadas apresentam melhor resistência à seca que plantas não colonizadas por fungos micorrízicos (EMBRAPA, 2006).

Micorrizas arbusculares são um método de controle biológico de patógenos, cuja eficiência varia muito, em função das espécies envolvidas e de condições ambientais (DUMAS-GAUDOT et al., 1996). Corroborando com SIKES et al. (2009) que descreveram que alterações morfológicas do sistema radicular das plantas provocadas pela colonização micorrízica podem diminuir os sítios de infecção para os patógenos.

Fungos micorrízicos podem ser considerados canais de drenagem do carbono da atmosfera para o solo, via planta, por terem acesso direto a fontes de carbono da planta (BERBARA et al., 2006). Estão também envolvidas na conservação, armazenagem e ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. Uma das culturas florestais mais importantes do Brasil é a cultura de eucalipto, que estabelece fonte de energia e madeira renovável (MASSON et al., 2011), sendo o

eucalipto capaz de formar associação tanto com micorrizas arbusculares, quanto com ectomicorrizas.

Para a maioria das espécies de eucalipto, os gêneros mais comumente encontrados na interação são *Pisolithus* spp. e *Scleroderma* spp. (CAMPOS et al., 2011). Segundo estes autores, a idade do plantio e o tipo de manejo das plantas de eucalipto influenciam diretamente na colonização micorrízica e na diversidade de fungos ectomicorrízicos.

O pinheiro (*Pinus* spp.) é uma árvore de importância comercial para o Brasil, totalizando 25,2 % de áreas de reflorestamento nacional (ABRAF, 2012). Esta espécie se desenvolve em terrenos extremamente pobres em nutrientes, normalmente sem adição de adubo, resultando em produções abaixo do satisfatório. Por este motivo, o cultivo de pinheiro no Brasil depende de fungos ectomicorrízicos, para garantir a sobrevivência e o crescimento inicial das mudas (SCHNEIDER, 2011; BERBARA et al., 2006).

A seleção de ectomicorrizas eficientes na promoção do crescimento de mudas de plantas apresenta-se como uma alternativa biotecnológica capaz de promover ganhos na produção e aumento da oferta de madeira, através de produção e uso de inoculantes em programas de controle de micorrização para reflorestamentos (CANTON, 2012).

Vários são os relatos de inibição da atividade fotossintética causada por metais em plantas sensíveis, porém poucos são os estudos abordando interações mutualísticas e efeitos dos metais nas trocas gasosas (HOSSAIN et al., 2010; HOSSAIN et al., 2012). A contaminação do solo por metais pode promover alterações na fisiologia das plantas e também na biodiversidade do solo, especialmente nas comunidades microbianas (HOSSAIN et al., 2012), interferindo nas funções do ecossistema, com consequências ao meio ambiente e à saúde pública (BERTOLAZI et al., 2010). A introdução de espécies vegetais torna-se uma alternativa promissora para a recuperação do ambiente contaminado com metais, principalmente se acoplada ao potencial bioacumulador de metais por fungos ectomicorrízicos (NOGUEIRA & SOARES, 2010). Plantas com esse tipo de associação produzem maior quantidade de massa vegetal e absorvem e acumulam mais metais que plantas sem esses fungos (SILVA et al., 2006).

Os fungos micorrízicos são importantes também por aumentar a tolerância das plantas aos metais pesados existentes em solos contaminados, uma vez que são capazes de retê-los nas raízes abrandando a translocação para a parte aérea (CABRAL et al., 2010), além de, juntamente com as hifas, aumentarem a agregação de partículas (VIANA & SANTOS, 2010).

Os fungos formadores de micorrizas arbusculares constituem um dos componentes mais valiosos da biota dos solos. Por seus efeitos nutricionais positivos sobre o rendimento de cultivos agrícolas e plantações florestais e por seus benefícios ambientais, devem ser considerados como um recurso biótico de utilidade na gestão sustentável dos solos (SIEVERDING, 1991).

Os FMAs são de ocorrência generalizada, estando presentes mesmo em ambientes degradados. As micorrizas são um excelente artifício para o restabelecimento da vegetação, em ecossistemas frágeis ou degradados, pois ajudam na conservação da biodiversidade de plantas e no funcionamento do ecossistema, assegurando a sustentabilidade do processo de restauração (SCABORA, 2011; CARNEIRO et al., 2012; GUIMARAES et al., 2013).

SCABORA (2011), descreve ainda que o processo de recuperação de áreas degradadas não se baseia exclusivamente na reconstituição florística, mas, além

disso, nos procedimentos necessários para que o sistema seja auto-sustentável, por meio do restabelecimento das interações dessa com os componentes bióticos. Dentre as interações significativas na recuperação e repovoação, enfatiza-se a associação das plantas aos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). Diante da importância das micorrizas na recuperação de áreas degradadas, os mecanismos de tolerância conferidos pela simbiose carecem de mais estudos (SCHNEIDER et al., 2012).

Na indústria, os fungos são utilizados na produção de antibióticos, alimentos e bebidas alcoólicas. As micorrizas são fungos com enormes possibilidades para a exploração comercial, visando aumentar a produção de madeira, fibras e alimentos e, ainda, reduzir os custos financeiros e o impacto dos sistemas modernos de produção sobre o meio ambiente (SOUZA et al., 2006).

INOCULAÇÃO DE MICORRIZAS ARBUSCULARES EM PLANTAS CULTIVADAS

Para entender as relações entre as plantas e o meio ambiente é necessário conhecer e pesquisar a diversidade dos microrganismos presentes no solo e na rizosfera. Dessa forma a especificidade das associações e interações entre os organismos que habitam o solo e a rizosfera é chave para o sucesso da inoculação e maximização dos benefícios na produção vegetal. O estudo das interações deve ser realizado para entender o funcionamento e planejar o uso destas biotecnologias a campo de forma correta (SEI, 2012).

O interesse na utilização de microrganismos na agricultura tem aumentado significativamente devido a uma maior conscientização sobre a preservação do meio ambiente, com a busca de alternativas para a redução do uso de insumos químicos. DUAN et al. (2011) referem que práticas agrícolas com mobilização reduzida e incorporação dos resíduos das culturas são benéficas para as relações de simbiose entre os FMAs e as culturas beneficiando o crescimento.

Os fungos micorrízicos arbusculares são biotróficos obrigatórios, dependendo inteiramente da simbiose para completar o ciclo de vida. Essa característica tem dificultado tanto estudos básicos sobre a biologia e a genética desses fungos como também o desenvolvimento de tecnologia para a utilização de inoculantes micorrízicos em larga escala (SOUZA et al., 2011).

As recomendações de manejo da micorriza arbuscular dizem respeito aos fungos micorrízicos arbusculares existentes no solo e visam o aumento da população. A aplicação desses fungos em grandes áreas deve ser através da inoculação, que ainda é restringida pela baixa disponibilidade de inoculantes comerciais (SOUZA et al., 2006). O desenvolvimento das micorrizas arbusculares é um processo complexo e assíncrono, cujos mecanismos de regulação ainda são pouco conhecidos (LAMBAIS & RAMOS, 2010).

Devido à baixa fertilidade natural e ao baixo potencial de inóculo no solo, na maioria das áreas destinadas ao reflorestamento, o conhecimento sobre a capacidade das espécies em formar simbioses com certos fungos do solo é de fundamental importância para o sucesso do reflorestamento, podendo determinar a necessidade ou não de inoculação das plantas na fase de formação de mudas (JASPER et al., 1991). É importante mencionar que a dependência micorrízica de uma planta varia com a espécie de fungo inoculada; para uma mesma planta, a resposta pode variar desde levemente negativa até altamente positiva (SIEVERDING, 1991).

A eficiência da simbiose depende da compatibilidade genética entre o genoma do fungo e da planta hospedeira para uma dada condição edafoclimática.

No Brasil, a maioria dos estudos sugere que estirpes do gênero *Glomus* apresentam-se efetivas para promoção do crescimento de gramíneas (CARDOSO et al., 2010).

De acordo com SOUZA (2011), empregar inoculante micorrízico de qualidade é essencial para garantir uma colonização rápida das raízes da planta hospedeira e é por isso que o desenvolvimento de inoculantes contendo alta densidade de propágulos de FMA é considerado fundamental para o sucesso da inoculação em campo. Este mesmo autor relata que é necessário avaliar a eficácia e a dose de inóculo a ser aplicado para obter uma colonização radicular rápida e intensa, garantindo a predominância do fungo inoculado frente à comunidade de fungos indígenas. A prática de inoculação é mais recomendada na produção de mudas em viveiro, pois esse procedimento utiliza-se, com frequência de subsolo ou solo esterilizado, livre de patógenos e também fungos micorrízicos arbusculares nativos (SOUZA et al., 2006).

O crescimento das hifas de um FMA foi monitorado por BÉCARD & PICHÉ (1989), em um sistema "in vitro", utilizando raízes transformadas de cenoura (*Daucus carota*) e esporos de *G. margarita*. Os autores observaram que as raízes têm mecanismos que contribuem para o crescimento fúngico. Resultados obtidos por SILVA et al. (2004) mostraram que *Gigaspora albida* promoveu respostas significativas no crescimento de mudas de maracujazeiro-doce (*Passiflora alata* Curtis).

CHU (2005) em seu estudo com mudas de pimenteira-do-reino, oriundas de sementes, em solo fumigado, demonstrou elevada dependência desta planta com os fungos micorrízicos, verificou que com a falta de fungos micorrízicos as mudas não cresceram, mesmo quando adubadas. A inoculação com micorrizas arbusculares aumentou até 10.000% a produção de matéria seca da planta, no solo com a adubação. Mudas de estacas de pimenteira cultivadas em solo natural também obtiveram benefícios com a inoculação (59% de aumento máximo na produção de matéria seca), embora menor que as cultivadas em solo fumigado. Nestas, a inoculação aumentou a absorção de nitrogênio, fósforo e cálcio, com destaque para mudas inoculadas com *Scutellospora gilmorei*, espécie que proporcionou o maior crescimento das plantas de pimenteira-do-reino (CHU, 2005).

Estudos realizados no México com inoculação de micorrizas arbusculares em milho têm recomendado a peletização das sementes a partir de inoculante contendo o fungo *Glomus intraradices*, sendo reportados aumentos de produção da ordem de 4 a 19%, dependendo da localidade, da variedade e do nível de fertilização (MEDINA et al., 2010). PEREIRA (2011) concluiu, em sua pesquisa com soja, que a inoculação isolada de fungos micorrízicos *G. margarita* e *G. clarum* influenciou de modo significativo a biomassa de parte aérea seca e de raiz seca e a relação entre elas, número de nódulos, biomassa de nódulos secos, teores de fósforo na parte aérea seca, na raiz seca e no total da planta e a densidade de actinomicetos na rizosfera de soja.

Estudos têm sido realizados ao longo da modernização da agricultura, utilizando a fertilização biológica, com base na inoculação (BRAHMAPRAKASH & SHU, 2012). A biotecnologia que utiliza inoculantes gera benefício socioeconômico e ambiental, por diminuir o uso de fertilizantes solúveis e reduzir os custos de produção (BARBOSA, 2013). Assim, do ponto de vista agrônomo, a micorrização é fundamental para o cenário agrícola brasileiro, pois aumenta a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Isso ocorre devido ao aumento da zona de absorção das raízes, mediante o desenvolvimento das hifas (CHAGAS JUNIOR et al., 2010).

Um processo de grande importância é a disponibilidade de fósforo pela solubilização, mecanismo desenvolvido por alguns grupos de fungos que produzem ácidos orgânicos. Esses fungos dissolvem o fosfato de rochas naturais, disponibilizando-o para as plantas, na forma iônica, por meio da solução do solo. A utilização desses fungos na agricultura pode diminuir o custo de produção e maximizar a eficiência do uso de fósforo (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006; CHAGAS JUNIOR et al., 2010).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As micorrizas são úteis para a natureza e para o homem, pois exercem papel significativo para a funcionalidade e a manutenção dos ecossistemas naturais e manejados, auxiliam no desenvolvimento das plantas e contribuem para a estruturação de comunidades vegetais. As micorrizas são essenciais para a recuperação de solos poluídos e de áreas degradadas. Entretanto, apesar da importância ecológica e econômica, as micorrizas são pouco estudadas e pouco divulgadas. Assim sugere-se a realização de novos estudos sobre as aplicações das micorrizas.

REFERÊNCIAS

ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2012, ano base 2011**. Brasília: ABRAF., 2012. 150 p.

ALLEN, E. B.; ALLEN, M. F.; HELM, D. J.; TRAPPE, J. M.; MOLINA, R.; RINCON, E. Patterns and regulation of mycorrhizal plant and fungal diversity. **Plant and Soil**. Hague, v. 170, p. 47-62, 1995.

AVIO, L.; CRISTIANI, C.; STRANI, P.; GIOVANNETTI, M. Genetic and phenotypic diversity of geographically different isolates of *Glomus mosseae*. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 55, p. 242-253, 2009.

AZEVEDO, J. M. A. **Variabilidade genética entre acessos de Amendoim Forrageiro quanto à associação micorrízica e resposta ao fósforo**. 2010. 156 f, Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós- Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal do Acre, 2010.

BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; STENZEL, N. M. C. Resposta da acerola à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares em solo com diferentes níveis de fósforo. **Bragantia**. Campinas, v. 70, n. 1, p. 166-175, 2011.

BARBOSA, M. V. **Utilização de rizóbios e fungo micorrízico arbuscular na implantação de um sistema agroflorestal no semiárido pernambucano**. 2013. 77 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada – PE, 2013.

BÉCARD, G.; PICHÉ, Y. Establishment of vesicular-arbuscular mycorrhizal in root organ culture: review and proposed methodology. In: NORRIS, J. R.; READ, D. J.;

VARMA, A. K. **Methods in microbiology**: techniques for study of mycorrhiza, p. 89-108.1989.

BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: FERNADES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 53-88.2006.

BERTOLAZI, A. A.; CANTON, G.C.; AZEVEDO, I.G.; CRUZ, Z. M. A.; SOARES, J. M.; SANTOS, W. O.; RAMOS, A. C. O papel das ectomicorrizas na biorremediação de metais pesados no solo. **Natureza on line**. v. 8, p. 24-31, 2010.

BRAHMAPRAKASH, G. P.; SAHU, P. K. Biofertilizers for sustainability. **Journal of the Indian Institute of Science**. v. 92, n. 1, p. 37-62, 2012.

CABRAL, L.; SIQUEIRA, J. O.; SOARES, C. R. F. S.; PINTO, J. E. B. P. Retenção de metais pesados em micélio de fungos micorrízicos arbusculares. **Química Nova**, v. 33, n.1, 2010.

CAMPOS, D. T. S.; SILVA, M. C. S.; LUZ, J. M. R.; TELESFORA, R. J.; KASUYA, M. C. M. Colonização micorrízica em plantios de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 35, n. 5. p. 965-974, 2011.

CANTON, G. C. **Efeito do manganês sobre a ecofisiologia e bioquímica de ectomicorrizas**. 2012. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ecossistemas) - Universidade de Vila Velha, Vila Velha, ES, 2012.

CARDOSO, E. J. B. N.; CARDOSO, I. M.; NOGUEIRA, M. A.; BARETTA, C. R. D. M.; PAULA, A. M. Micorrizas arbusculares na aquisição de nutrientes pelas plantas. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A. de; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: Ed da UFLA, p. 153-214.2010.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O. E.; MOREIRA, F. M. S. Estabelecimento de plantas herbáceas em solos com contaminação de metais pesados e inoculação de fungos micorrízicos arbusculares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 36, p. 1443-1452, 2001.

CARNEIRO, R. F. V.; Cardozo Júnior, F. M.; Pereira, I. f.; Araújo, A. S. F.; Silva, G. A. Fungos micorrízicos arbusculares como indicadores da recuperação de áreas degradadas no Nordeste do Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 648-657, 2012.

CHU, E. Y. **Sistema de produção da pimenteira-do-reino**: micorrizas. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005.

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

CUENCA, G.; ANDRADE, Z.; ESCALANTE, G. Diversity of glomalean spores from natural, disturbed and revegeted communities growing on nutrient-poor tropical soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 30, n. 6, p. 711-719, 1998.

DEVI, M. C.; REDDY, M. N. Phenolic acid metabolism of groundnut (*Arachis hypogea* L.) plants inoculated with VAM fungus and Rhizobium. **Plant growth regulation**, v. 37, p. 151-156, 2002.

DUAN, T., FACCELIC, E., SMITHC, S.E., SMITHC, F.A., NANA, Z. Differential effects of soil disturbance and plant residue retention of arbuscular mycorrhizal (AM) symbioses are not reflected in colonization of roots or hyphal development in soil. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 43, n. 3, p. 571-578, 2011.

DUMAS-GAUDOT, E.; SLEZACK, S.; DASSI, B.; POZO, M. J.; GIANINAZZI-PEARSON, V.; GIANINAZZI, S. Plant hydrolytic enzymes (chitinases and b-1,3-glucanases) in root reactions to pathogenic and symbiotic microorganisms. **Plant and Soil**, v. 185, p. 211-221, 1996.

EMBRAPA. Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. **Marco referencial em Agroecologia**. Disponível em: [HTTP://www.embrapa.br/publicacoes/intitucionais/titulos-avulsos/marco_ref.pdf](http://www.embrapa.br/publicacoes/intitucionais/titulos-avulsos/marco_ref.pdf). Acesso em: 16 maio 2014.

FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C; SILVA, E. M. R.; FARIA, S. M. **Revegetação de solos degradados**. Seropédica: Embrapa-CNPS, 1992. 8 p.

GIRI, B.; KAPOOR, R.; MUREJI, K. G. VA Mycorrhizal Técnicas/ VAM Technology in establishment of plant under salinity stress conditions. In: MUREJI, K. G.; MANOHARACHARY, C.; CHAMOLA, B. P. **Techniques in mycorrhizal studies**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002.

GOTO, B. T.; SILVA, G. A. da; YANO-MELO, A. M.; MAIA, L. C. Checklist of the arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota) in the Brazilian semiarid. **Mycotaxon**, v. 113, p. 251-254, 2010.

HARLEY, J. L.; SMITH, S. E. **Mycorrhizal symbiosis**. London: Academic Press, 1983. 483 p.

HOFFMANN, L. V.; LUCENA, V. S. **Para entender micorrizas arbusculares**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. 22 p. (Documentos, 156).

HOSSAIN, M. A.; HASANUZZAMAN, M.; FUJITA, M. Up-regulation of antioxidant and glyoxalase systems by exogenous glycinebetaine and proline in mung bean confer tolerance to cadmium stress. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 16, n. 3, p. 259–272, 2010.

HOSSAIN, M. A.; PIYATIDA, P.; SILVA, J. A. T. da; FUJITA, M. Molecular mechanism of heavy metal toxicity and tolerance in plants: central role of glutathione in detoxification of reactive oxygen species and methylglyoxal and in heavy metal chelation. **Journal of Botany on line**, v. 37, n. 1, 2012.

JASPER, D. A.; ABBOTT, L. K.; ROBSON, A.D. **The effect of soil disturbance on vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in soils from different vegetation types.** *New Phytologist*, v. 118, p. 471-476, 1991.

LAMBAIS, M. R.; RAMOS, A. C. Sinalização e transdução de sinais em micorrizas arbusculares. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A. de; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil.** Lavras: Ed. da UFLA, p. 119-132.2010.

MARSCHNER, H.; DELL, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**, v. 159, p. 89-102, 1994.

MASSON, M. V.; MORAES, W. B.; MATOS, W. C.; ALVES, J. M.; FURTADO, E. L. Eficiência e viabilidade econômica do controle químico da ferrugem do eucalipto em condições de campo. **Summa Phytopathol**, v. 37, n. 2, p. 107-112, 2011.

MEDINA, J. F. A.; GARZA, M. B. I.; PRADO, A. D.; CABRERA, O. G.; PENÃ DEL RIO, M. de Los A.; OSTI, C. L.; BAEZA, A. G. **Los biofertilizantes microbianos: alternativa para la agricultura em México.** Chiapas, México: Centro de Investigación Regional Pacífico Sur, 2010.

MERGULHÃO, A. C. E. S.; SIVA, M. V. da; LYRA, M. C. C. P. de; FIGUEIREDO, M. V. B.; SILVA, M. L. R. B. da; MAIA, L. C. Caracterização morfológica e molecular de fungos micorrízicos arbusculares isolados de áreas de mineração de gesso, Araripina, PE, Brasil. **Hoehnea**. v. 41, n. 3, p. 393-400, 2014.

MOREIRA, F. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo.** 2. ed. Lavras: Ed. da UFLA, 2006.

NOGALES, A.; AGUIRREOLEA, J.; MARIA, E. S.; CAMPRUBI, A.; CALVET, C. Response of mycorrhizal grapevine to *Armillaria mellea* inoculation: disease development and polyamines. **Plant and Soil**, v. 317, p.177-187, 2009.

NOGUEIRA, M. A.; SOARES, C.R.F.S. Micorrizas arbusculares e elementos-traço. In: SIQUEIRA, J.O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S. M. (Org.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil.** Lavras: Editora UFLA, 2010. 716p.

NOVAIS, C. B.; SOUZA, F. A.; SIQUEIRA, J. O. Caracterização fenotípica e molecular de esporos de fungos micorrízicos arbusculares mantidos em banco de germoplasma. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 886-896, 2010.

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

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

PEREIRA, M. G. **Interações entre fungos micorrízicos arbusculares (FMA), rizóbio e actinomicetos na rizosfera de soja.** 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Recife, 2011.

RAMOS, A. C.; FAÇANHA, A. R.; PALMA, L. M.; OKOROKOV, L. A.; CRUZ, Z. M. A.; SILVA, A. G.; SIQUEIRA, A. F.; BERTOLAZI, A. A.; CANTON, G. C.; MELO, J.; SANTOS, O. O.; SCHIMITBERGER, V. M. B.; OKOROKOVA-FAÇANHA, A. L. An outlook on ion signaling and ionome of mycorrhizal symbiosis. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 23, n. 1, p. 79-89, 2011.

RUSSOMANNO, O. M. R. **Influência de fungos micorrízicos arbusculares associados ou não a *Fusarium oxysporum* Schecht. sobre plantas de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) e manjerição (*Ocimum basilicum* L.).** 2006. 101f. Tese de Doutorado. Doutorado em agronomia. Universidade Estadual Paulista “Julio De Mesquita Filho”, Botucatu, SP, 2006.

SADAVA, D.; HELLER, H. C.; ORIAN, G. H.; PURVES, W. K.; HILLIS, D. M. **Vida: a ciência da biologia.** Volume II: Evolução, Diversidade e Ecologia. Porto Alegre: Artmed, 2009.

SAGGIN JÚNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O. Avaliação da eficiência simbiótica de fungos endomicorrízicos para o cafeeiro. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, v. 19, n. 2, p. 221-228, 1995.

SAMPAIO, A. M. N. C. **O papel das micorrizas no modo de produção biológico da alface (*Lactuca sativa* L.).** 2012. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Biológica) - Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Portugal, 2012.

SANTOS, L. C. **Efeito do cobre na população de bactérias e fungos do solo, associação ectomicorrízica e no desenvolvimento de mudas de Eucalipto e Canafístula.** Dissertação de Mestrado. Mestrado em Ciências do Solo, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS. 2006.

SCABORA, M. H. **Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em área de cerrado degradado em processo de revegetação.** 2011. 133 f. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2011.

SCHNEIDER, T. **Crescimento e teores de B, Cu, Mn, Fe e Zn em *Pinus taeda* L., como resultado da adubação e calagem sob a técnica da omissão de nutrientes.** 51 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

SCHNEIDER, J.; OLIVEIRA, L. M.; GUILHERME, L. R. G.; STÜRMER, S. L.; SOARES, C. R. F. S. Espécies tropicais de pteridófitas em associação com fungos micorrízicos arbusculares em solo contaminado com arsênio. **Quim. Nova**, v. 35, n. 4, p. 709-714, 2012.

SCHÜBLER, A.; SCHWARZOTT D.; WALKER C. A new fungal phylum, the Glomeromycota, phylogeny and evolution. **Mycological Research**, v. 105, p. 1413–1421, 2001.

SEI, F. B. **Diversidade de rizobactérias e coinoculação com fungos micorrízicos na nutrição fosfatada e expressão gênica no feijoeiro**. 2012. 117 f. Tese (Doutorado em Manejo do solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages - SC, 2012.

SIEVERDING, E. **Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems**. Eschborn, Federal Republic of Germany: Technical Cooperation, 1991. 317 p.

SIKES, B. A.; COTTENIE, K.; KLIRONOMOS, J. N. Plant and fungal identity determines pathogen protection of plant roots by arbuscular mycorrhizas. **Journal of Ecology**, v. 97, n. 6, p. 1274-1280, 2009.

SILVA, M. A.; CAVALCANTE, U. M. T.; SILVA, F. S. B.; SOARES, S. A. G.; MAIA, L. C. Crescimento de mudas de maracujazeiro-doce (*Passiflora alata Curtis*) associadas a fungos micorrízicos arbusculares (*Glomeromycota*). **Acta Botânica Brasileira**, v. 18, n. 4, p. 981-985, 2004.

SILVA, S.; SIQUEIRA, J. O.; SOARES, C. R. F. S. Fungos micorrízicos no crescimento e na extração de metais pesados pela braquiária em solo contaminado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1749-1757, 2006.

SMITH, S. E.; FACELLI, E.; POPE, S.; SMITH, F. A. Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. **Plant and Soil**, v. 326, n. 1-2, p. 3-20, 2010.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. 3. ed. Boston: Academic Press, 2008. 787 p.

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

SOUZA, V. C.; SILVA, R. A.; CARDOSO, G. D.; BARRETO, A. F. Estudos sobre fungos micorrízicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 10, n. 3, p. 612-618, 2006.

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

SUGAI, M. A. A.; COLLIER, L. S.; SAGGIN-JÚNIOR, O. J. Inoculação micorrízica no crescimento de mudas de angico em solo de cerrado. **Bragantia**, v. 70, n. 2, p. 416-423, 2011.

VIANA, J. H. M.; SANTOS, E. D. A fração glomalina e a estabilidade de agregados de diferentes Latossolos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 18., 2010. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/29839/1/Fracao-glomalina.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2015.

WINAGRASKI, E.; REISSMANN, C. B.; AUER, C. G.; MOTTA, A. C. V.; OLIVA, E. V. de; MONTEIRO, P. H. R. Variação na presença de ectomicorrizas em serapilheira de *Pinus taeda* submetido a teste de omissão de nutrientes em Jaguariaíva, PR (1). p. 1-4. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, SC: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013.