



A importância da tecnologia
de inoculação de fungos micorrízicos para
a sustentabilidade na olericultura

Francisco Adriano de Souza
Thiago Roberto Schlemper
Sidney Luiz Stürmer

A importância da tecnologia de inoculação de fungos micorrízicos para a sustentabilidade na olericultura

Resumo

A crescente demanda por alimentos, aliada à escassez de insumos para a produção agrícola, requer o desenvolvimento de estratégias e tecnologias que primem pela sustentabilidade. O uso de inoculantes microbianos é uma das alternativas mais baratas e viáveis para melhorar a sustentabilidade da produção agrícola a curto e a longo prazo. Aqui são apresentadas estratégias para a produção de inóculo e a inoculação de fungos micorrízicos arbusculares, uma tecnologia que pode ser executada pelo produtor rural a baixo custo.

Termos para indexação: horticultura, micorrizas, produção de inóculo, biotecnologia, agricultura orgânica.

The importance of mycorrhizal fungi inoculation technology for sustainable vegetable production

Abstract

The growing demand for food coupled with shortages of resources for agricultural production requires the development of strategies and technologies focused on sustainability. The use of microbial inoculants is a cheap and viable alternative to improve the sustainability of agricultural production in the short and long terms. Here strategies for production and application of arbuscular mycorrhizal inoculum (a technology that can be operated by farmers at low cost) are presented.

Index terms: horticulture, mycorrhizae, inoculum production, biotechnology, organic agriculture.

Introdução



crescente demanda por alimentos, aliada à limitada disponibilidade de terras agricultáveis, de água e de insumos, requer estratégias para aumentar a produção agrícola de forma sustentável. Uma estratégia promissora consiste em explorar o potencial dos microrganismos do solo capazes de disponibilizar nutrientes essenciais ao crescimento de plantas, mantendo, assim, a qualidade e a saúde do solo e seu potencial produtivo. A microbiota do solo – em particular os microrganismos que colonizam raízes e sua superfície, região denominada de rizosfera – traz inúmeros benefícios às plantas, tais como ciclagem de nutrientes, mineralização e decomposição da matéria orgânica, produção de fito-hormônios, fixação biológica de nitrogênio, controle biológico, antagonismo contra patógenos e, principalmente, aquisição de água e nutrientes através das micorrizas.

Nos sistemas de produção agrícola, a microbiota do solo sofre influência de práticas de manejo e das espécies de plantas utilizadas nos cultivos. Essas práticas podem induzir a seleção de microrganismos, tanto positiva quanto negativa, e causar alterações na diversidade das comunidades microbianas, afetando, assim, sua resiliência.

Quando a diversidade é reduzida, o sistema torna-se vulnerável à entrada de patógenos, e, por esse motivo, a eficiência dos processos bióticos necessários

ao funcionamento do ecossistema é prejudicada. Nesse caso, é preciso adotar mudanças no manejo e recorrer à inoculação com microrganismos selecionados, para restabelecer o equilíbrio do solo e sua capacidade produtiva.

Tanto a horticultura comercial praticada em base orgânica quanto a horticultura em base convencional são realizadas por meio do uso intensivo da terra e envolvem alterações rápidas e dramáticas no solo, durante os procedimentos de preparo de canteiros para o cultivo. A busca por eficiência envolve também a produção de mudas em substratos diversos, visando garantir a qualidade das plantas, antecipar o plantio e reduzir os custos de produção. Porém, a maioria dos substratos comerciais utilizados para a produção de mudas ou está desbalanceada ou está desprovida dos diversos grupos funcionais de microrganismos benéficos.

A inoculação de microrganismos benéficos no solo e nos substratos está cada vez mais integrada ao sistema de produção agrícola e tem possibilitado aumento de produção e redução do uso de insumos graças ao reequilíbrio da microbiota do solo. A simbiose micorrízica arbuscular tem sido reconhecida pelos seus efeitos benéficos e múltiplos às culturas (CHANTAL, 1996; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; SIQUEIRA et al., 2010; SIQUEIRA; FRANCO, 1988). A utilização da tecnologia de inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (MA) na horticultura moderna tem grande potencial por favorecer a obtenção de plantas saudáveis e mais produtivas e a economia de insumos e água (AZCÓN-AGUILAR; BAREA, 1997a, 1997b; KAPOOR et al., 2008).

Este texto está focado na tecnologia de micorrizas para sistemas de produção de hortaliças, fruteiras e plantas ornamentais. A tecnologia é aplicável tanto à agricultura convencional quanto à orgânica.

A seguir, utilizando-se a técnica de perguntas e respostas, vão ser dadas importantes informações básicas sobre esse grupo de fungos de solo.

O que é micorriza?



Micorriza é um termo de origem grega, proposto pelo biólogo alemão Albert Bernhard Frank, em 1885, para definir a relação simbiótica mutualística estabelecida entre fungos de solo (*Mykos*) e raízes (*Rhiza*) de plantas.

Existem diversos tipos de micorriza, classificados de acordo com a anatomia da colonização radicular e, mais especificamente, pelos parceiros envolvidos na simbiose. Para aprofundamento neste tópico, sugere-se a leitura de Moreira e Siqueira (2006)¹ e Smith e Read (2008). Neste artigo, serão abordadas somente as endomicorrizas arbusculares ou micorrizas arbusculares (MA), por serem as que apresentam maior compatibilidade com plantas cultivadas em olericultura, fruticultura e floricultura. Além disso, a simbiose MA é a mais frequente entre plantas cultivadas e entre as espécies da flora brasileira.

¹ Disponível em: <http://www.prpg.ufla.br/solos/wp-content/uploads/2012/09/Moreira_Siqueira2006.pdf>.

Como a simbiose micorrízica funciona?



esse tipo de simbiose mutualística, as plantas, por meio de suas raízes e sob condições de estresse nutricional, liberam sinais químicos, denominados "fatores de micorrização" (MYC). Essas moléculas sinalizadoras são percebidas pelos fungos MA como sinal para a colonização radicular (LAMBALIS; RAMOS, 2010). A comunicação planta-fungo dispara, então, simultaneamente, uma cascata de genes no fungo e na planta, permitindo uma perfeita interação morfológica e funcional entre os parceiros da simbiose. Os fungos micorrízicos arbusculares são filamentosos, e suas hifas (filamentos) formam uma estrutura chamada de "corpo vegetativo" das suas colônias. A natureza filamentosa desses fungos facilita a exploração de nutrientes obtidos do solo pelas hifas e seu transporte até o interior das raízes. Nos fungos MA, as hifas ativas não apresentam segmentação (septos) e funcionam como um verdadeiro sistema de transporte de massa, conectando raízes de diferentes indivíduos de uma mesma espécie de planta e também de espécies distintas. Essa rede de hifas trabalha para as raízes, absorvendo e transferindo água e nutrientes, de regiões distantes das raízes, em troca de carboidratos derivados da fotossíntese. Os nutrientes são transferidos à planta micorrizada através de estruturas especializadas, denominadas "arbusculos", que são formadas pela invaginação e por modificações fisiológicas e estruturais nas hifas, e localizam-se dentro de células corticais das raízes.

Por que as micorrizas são tão importantes?



o sistema radicular das plantas tem acesso aos nutrientes que entram em contato com a superfície da raiz pela solução do solo. A área explorada pelo sistema radicular exerce grande influência sobre a eficiência de aquisição de nutrientes (arquitetura, comprimento e superfície específica). Nesse sentido, as hifas dos fungos micorrízicos apresentam capacidade de ramificação e crescimento praticamente infinita e diâmetro pequeno ($10\ \mu\text{m}$ a $60\ \mu\text{m}$ – 1 micrão [μm] representa 1×10^{-6} m, ou seja, 1 milionésimo de 1 metro), em comparação com as raízes. Essas características possibilitam que os fungos MA possam explorar maior volume de solo, de forma mais eficiente e com menor gasto energético do que as raízes das plantas. Graças a essa vantagem competitiva, a grande maioria das espécies de plantas forma simbiose com fungos MA.

Os fungos MA atuam também na agregação das partículas do solo, através não só da ação de suas hifas, mas, e principalmente, da ação da glomalina, que é uma glicoproteína produzida por esses fungos, e que atua como uma cola, favorecendo a agregação das partículas de solo (PURIN; KRAUBERG-FILHO, 2010).

É importante destacar que os fungos MA também reduzem a incidência de algumas doenças e o ataque de nematoides (BANUELOS et al., 2014; TALAVERA et al., 2001). Essa resposta é devida a múltiplos benefícios, tais como: a) melhoria do estado

nutricional das plantas; b) antagonismo e competição; c) mudanças morfológicas e estruturais nas raízes; d) alterações na flora microbiana da rizosfera; e) indução do sistema de resistência localizada e sistêmica na planta; e f) aumento na produção de compostos fenólicos nas raízes (AZCÓN-AGUILAR et al., 1997).

De uma forma geral, para o agricultor, são visíveis os seguintes benefícios da inoculação com fungos MA: a) aumento da eficiência de aquisição de nutrientes e água; b) maior desenvolvimento e produção das plantas; c) melhor desenvolvimento radicular e aumento da relação raiz-parte aérea; d) maior tolerância a estresses abióticos (salinidade, seca, temperatura); e e) melhor pegamento e sobrevivência de mudas depois do transplantio.

Quais são as plantas capazes de estabelecer simbiose com fungos micorrízicos arbusculares?



simbiose micorrízica arbuscular (MA) é de ocorrência generalizada. Essa simbiose é tão comum na natureza que mais de 80% das famílias de plantas estabelecem simbiose MA sob condições naturais (SMITH; READ, 2008). A simbiose MA é a ancestral mais antiga dentre as simbioses relatadas entre plantas e fungos e, com a evolução das plantas terrestres, generalizou-se. Para a olericultura, somente três

famílias botânicas com importância econômica não formam micorrizas. São elas: Brassicaceae (crucíferas), Quenopodiaceae e Cyperaceae (algumas espécies). Esta última família, à qual pertence a tiririca (*Cyperus* spp.), merece menção pelos danos econômicos que causa à produção de hortaliças.

Onde são encontrados os fungos MA? Em quais tipos de solo?



Os fungos MA ocorrem de forma generalizada em praticamente todos os tipos de solo e ambientes terrestres onde há espécies de plantas compatíveis, estando presentes em praticamente todos os ambientes onde ocorrem plantas capazes de formar micorrizas, desde regiões com clima e solos áridos e desérticos, até ecossistemas temperados e tropicais. Os fungos MA ocorrem no solo desde a camada de serapilheira até elevadas profundidades no perfil do solo (OEHL et al., 2005), sendo também relatados em solos alagados, desde que não sejam anaeróbicos. A maior diversidade e o número de esporos encontram-se na camada arável (de 0 a 20 cm de profundidade) (MIRANDA, 2008; MOREIRA; SIQUEIRA 2006; OEHL et al., 2005). Nessa camada do solo, é encontrada a maior densidade de propágulos, tais como esporos, hifas e fragmentos de raízes colonizadas, necessários para se dar início ao processo de colonização radicular.

Quais são os principais gêneros de fungos MA associados às plantas cultivadas?



Os fungos MA formam um grupo monofilético, classificado no Filo Glomeromycota. Os principais gêneros associados às plantas cultivadas são: *Rhizoglosum*, *Funneliformis*, *Claroideoglosum*, *Glomus*, *Scutellospora*, *Dentiscutata*, *Gigaspora*, *Paraglosum* e *Acaulospora*. Os três primeiros eram classificados anteriormente no gênero *Glomus*, e espécies do gênero *Rhizoglosum* são as mais utilizadas em inoculantes comerciais (a exemplo de *R. clarus*, *R. irregulares* e *R. intraradices*).

Quais as principais características do ciclo de vida dos fungos micorrízicos arbusculares?



Compreender o ciclo de vida dos fungos MA é fundamental para o desenvolvimento da tecnologia de produção de inóculo e de inoculação, bem como o manejo e a aplicação de micorrizas. Os fungos MA são biotróficos obrigatórios, ou seja, precisam estabelecer associação simbiótica com raízes de plantas para que possam, por meio da colonização radicular, receber carboidratos necessários ao seu crescimento e à sua reprodução.

Os fungos MA propagam-se a partir de esporos e hifas, denominados de "propágulos infectivos",

sendo que esses ocorrem livres no solo ou associados a raízes de plantas. A germinação de diversas espécies se dá em meios de cultura sem a presença de plantas, ou seja, sem qualquer estímulo externo. Por exemplo, *Rhizogloinus clarus* germina em meio ágar-água (SOUZA; BERBARA, 1999). Quando o fungo germina, mas não consegue estabelecer a colonização, ele gasta parte de suas reservas e pode perder a viabilidade. Essa situação é comum em solos mantidos sem cobertura vegetal e é prejudicial à sobrevivência dos fungos MA.

Os esporos formados pelos fungos MA estão entre os maiores produzidos pelos fungos e podem variar desde 20 μm a mais de 1.000 μm de diâmetro. A maioria das espécies conhecidas produz esporos dentro da faixa de 38 μm até 425 μm de diâmetro (SOUZA et al., 2005). Os esporos servem para a disseminação e a sobrevivência dos fungos MA (STÜMER; SIQUEIRA, 2006). Os esporos podem manter a viabilidade no solo seco por um período de até 3 anos, porém essa capacidade varia entre gêneros, além disso, dormência tem sido relatada para espécies do gênero *Acaulospora*.

Quais são as práticas agrícolas que favorecem a formação de micorrizas?



Os fungos MA necessitam de raízes ativas de plantas compatíveis para que possam se desenvolver e completar seu ciclo de vida. Assim, a manutenção da

cobertura vegetal é um dos fatores que mais favorece a manutenção dos fungos MA. A manutenção da estrutura do solo sem revolvimento também favorece os fungos MA, principalmente as espécies que requerem longos períodos para a esporulação (SOUZA et al., 2005). Plantio direto é uma prática que favorece a manutenção da malha de hifas. Já a aração e a gradagem destroem a malha de hifas e podem selecionar algumas espécies de fungos MA. Níveis de adubação adequados aos cultivos, segundo recomendações de adubação, em geral são favoráveis, bem como práticas de rotação de culturas e policultivos (SIEVERDING, 1991).

Quais são as práticas agrícolas deletérias à formação de micorrizas?



A prática agrícola mais deletéria às micorrizas é a retirada total da cobertura vegetal, seguida pela perda da camada arável e do revolvimento intenso e frequente do solo durante a aração e a gradagem. O monocultivo com plantas não micotróficas, como as brássicas, por longos períodos também é bastante prejudicial. Essas práticas impedem que os fungos MA possam completar seu ciclo de vida. A fertilização do solo com altas doses de fertilizantes, em especial o fósforo, afeta a sobrevivência dos fungos MA por reduzirem a necessidade das plantas de formar micorrizas e, com isso, a alocação de carboidratos necessários ao desenvolvimento desses fungos.

A utilização indiscriminada de agroquímicos, em especial os fungicidas, pode ser deletéria à formação de micorrizas. No entanto, essa informação não pode ser generalizada, pois nem todos os fungicidas afetam os fungos MA. Há um site que oferece uma lista atualizada a respeito².

Quais são as recomendações para o isolamento e a manutenção de estirpes e coleções de cultura de micorrizas?



Os fungos MA podem ser isolados diretamente de amostras de solo, recorrendo-se a técnicas de peneiramento úmido de material contido em suspensões de solo, seguido de centrifugação. Entretanto, técnicas de enriquecimento do número de propágulos de fungos MA são, em geral, utilizadas para obter esporos de melhor qualidade e em maior número. Culturas de fungos MA podem ser estabelecidas de fragmentos colonizados de raízes, de solo contendo propágulos e também pelo transplante de plantas diretamente para solos ou substratos esterilizados, para posterior extração de esporos. Mais detalhes sobre técnicas de isolamento de fungos MA podem ser obtidos no site da Coleção Internacional de Culturas de Glomeromycota (CICG)³ e da publicação de Souza (2000) e de Souza e Guerra (1998).

² Disponível em: <<http://www.planthealthcare.com/>>.

³ Disponível em: <<http://www.furb.br/cicg>>.

Posteriormente, os esporos obtidos são selecionados em microscópio estereoscópico, de acordo com suas características morfológicas (cor, tamanho, forma, hifa de sustentação, entre outras).

Os processos de isolamento e manutenção de estirpes são similares por utilizarem sistema de cultivo denominado "vasos de cultivo" (VC). Os VC podem ser estabelecidos a partir de esporos, raízes e amostras de solo obtidos diretamente de amostras ambientais, em substrato esterilizado. O sistema VC também é utilizado para o cultivo de estirpes purificadas, mantidas em coleção de culturas. Ver, a propósito, a Coleção Internacional de Culturas de Glomeromycota (CICG) e Souza (2000).

Existe especificidade entre espécies de fungos e de plantas?



Os fungos MA são considerados organismos com baixa especificidade hospedeira. A mesma espécie ou estirpe do fungo é capaz de formar simbiose com diversas espécies de plantas de diferentes gêneros e famílias com hábitos de crescimento distintos (anuais, perenes, arbustivas, arbóreas, etc.). Entretanto, a eficiência da simbiose depende da interação entre o genótipo da planta e do fungo, e também das condições edafoclimáticas, existindo espécies de fungos adaptadas a solos ácidos, neutros, alcalinos, salinos, entre outros. E, para cada uma dessas condições, estirpes devem ser selecionadas para plantas de interesse.

Quando a inoculação é necessária?



inoculação com fungos MA deve ser feita sempre que possível, visando garantir uma colonização rápida e eficiente. É imprescindível em situações onde a presença de propágulos de fungos MA nativos é baixa ou inexistente, ou, então, em comunidades com baixa diversidade de fungos MA.

A fase de produção de mudas é a melhor fase para a inoculação porque:

- Provê os benefícios da micorriza na fase em que a planta é mais frágil e vulnerável.
- Os substratos utilizados para a produção de mudas apresentam, em geral, baixa diversidade e número de propágulos.
- Requer quantidades menores de inóculo.
- Favorece o desenvolvimento e a nutrição da muda, reduzindo, assim, o tempo de viveiro.
- Aumenta a taxa de pegamento e a sobrevivência da muda na fase de transplântio.
- Torna as plântulas mais tolerantes ao ataque de pragas e doenças.

A inoculação, no entanto, pode ser feita em qualquer fase do desenvolvimento da cultura. É, porém, mais fácil e eficiente na fase de plantio, fase essa em que as primeiras raízes são formadas.

Assim, os benefícios da micorrização já são observados na primeira fase de desenvolvimento da planta. Para culturas perenes, como fruteiras, pode ser necessário fazer inoculações anuais, dependendo do sistema de plantio, principalmente quando o sistema passa por períodos de dormência, por poda severa e por seca, e também quando o sistema de cultivo mantém o solo limpo, ou seja, sem cobertura vegetal. A inoculação de culturas plantadas por toletes (mandioca, cana-de-açúcar) requer maior quantidade de inóculo, visando espalhar o inóculo por toda a extensão onde possam surgir raízes.

Como a inoculação deve ser feita?



O posicionamento do inóculo é a chave para o sucesso do processo de inoculação. Como regra geral, o inóculo deve ser posicionado imediatamente abaixo da região de emergência das raízes. No caso de mudas produzidas em bandejas, o inóculo deve ser colocado na cova de plantio ou, então, raízes da plântula pré-germinada devem ser colocadas em contato com o inóculo.

A quantidade requerida depende da taxa de crescimento inicial da espécie a ser inoculada e da densidade/diversidade de propágulos infectivos presentes no inóculo. Para o plantio de mudas, a quantidade pode variar de 1 mL a 100 mL. A inoculação de sementes de culturas plantadas diretamente no campo, como o milho, requer quantidades similares, o que representa um desafio para a produção de inóculo.

Quais são as principais técnicas para a produção de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares?



s fungos MA são biotróficos obrigatórios. Essa característica dificulta, mas não impede a produção de inóculo em larga escala. Atualmente, todas as técnicas de produção de inóculo de fungos MA requerem o estabelecimento da simbiose micorrízica com raízes de plantas.

A produção de inóculo de fungos MA pode ser obtida por vários métodos, como, por exemplo, os que utilizam culturas de raízes *in vitro*, a produção em casas de vegetação, a hidro e a aeroponia, e até mesmo métodos de produção no campo (IJDO et al., 2011; SIEVERDING, 1991). A produção de inóculo asséptico tem sido obtida por meio do cultivo *in vitro* do fungo em associação com culturas de raízes transformadas por *Agrobacterium rhizogenes*. Esse processo é o mais utilizado para a produção comercial de inóculo de fungos MA e é dominado por diversos grupos de pesquisa nacionais, sendo os pioneiros dessa técnica no Brasil o professor Ricardo Luiz Louro Berbara, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), e o primeiro autor deste capítulo (SOUZA; BERBARA, 1999). Outros métodos de produção geralmente não garantem a produção de inoculante isento de outros microrganismos, dificultando, assim, o registro de inoculante micorrízico arbuscular no Brasil.

A produção em casas de vegetação, onde o fungo é cultivado com espécies de plantas hospedeiras,

usualmente gramíneas, é um método relativamente barato e eficiente, sendo o mais utilizado por instituições de pesquisa e universidades no Brasil, seja para a produção de inóculo, seja para a manutenção de coleção de culturas.

A produção em sistemas de aeroponia também tem sido desenvolvida em instituições de pesquisa no Brasil (PAIVA et al., 2003; SANTANA et al., 2014). Apesar do alto nível tecnológico desenvolvido nas instituições de pesquisa brasileiras, as tecnologias ainda não foram incorporadas pela indústria de inoculantes nacional. Nos Estados Unidos, no Canadá, no México, na Índia, no Japão e em países-membros da União Europeia, existem diversas empresas que comercializam inoculantes micorrízicos. Alguns produtos são obtidos a partir do cultivo do fungo *in vitro* associado a culturas de raízes, mas, na maioria deles, também são comercializados inoculantes produzidos em sistemas com plantas, sejam esses em vasos de cultivo com substratos diversos, sejam em sistemas mais sofisticados, como os hidropônicos e os aeropônicos (JARSTFER; SYLVIA, 1992; IJDO et al., 2011).

As principais técnicas de produção de inóculo são:

- Cultivo *in vitro* de fungos MA em cultura de raízes. Essa técnica é a única que permite a produção do fungo em condições totalmente assépticas e tem sido utilizada por diversas empresas no mercado internacional. No Brasil, essa técnica é dominada por diversos laboratórios, principalmente, na Embrapa Milho e Sorgo, por Francisco A. de Souza, na

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, por Ricardo Luís Loro Berbara, e na Universidade Estadual de Londrina, por Galdino Andrade Filho.

- Cultivo aeropônico e cultivo hidropônico. Têm sido empregados no exterior. No Brasil, a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), o Laboratório Dra. Leonor Costa Maia e o Instituto Agrônomico de Pernambuco (IPA)⁴ desenvolveram esse sistema de produção de inóculo.
- Sistema de produção de inóculo micorrízico denominado de "vasos de cultivo". É o mais tradicional e consiste na produção de inóculo em substrato disposto em vasos ou canteiros. Esse sistema tem sido utilizado por diversas instituições de pesquisa e universidades no mundo. E é utilizado principalmente para produzir inóculo para o desenvolvimento de trabalhos de pesquisa. No exterior, diversas empresas utilizam essa técnica para a produção comercial de inóculo.
- Cultivo *on farm* ou na fazenda. Consiste na produção de inóculo pelo próprio produtor rural. Utiliza como inóculo o solo coletado no próprio estabelecimento rural. O solo contendo propágulos de fungos MA é inoculado em um substrato à base de vermiculita e de um composto orgânico, e é cultivado com gramíneas, tais como milho, sorgo e milheto, além de leguminosas. Depois de

⁴ Disponível em: <<http://www.ipa.br/resp61.php>>.

um período de 4 a 6 meses, o substrato contendo esporos multiplicados é utilizado como inóculo. Essa técnica tem sido difundida pelo pesquisador David Douds Júnior, da United States Department of Agriculture (Usda)⁵. No Brasil, tem sido utilizada com sucesso pelos autores deste trabalho.

Existe inoculante de fungos MA no mercado brasileiro?



parece que não há registros de estirpes de fungos MA para a produção de inoculante no Brasil, pelo menos no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa). Esse cenário reflete, principalmente, o custo envolvido no registro de inoculante, o qual deve ser obtido por cultura, e a necessidade de maior interação entre o setor industrial de inoculantes e os institutos de pesquisa e universidades, visto que as técnicas de produção de inóculo são dominadas no âmbito da pesquisa nacional.

Segundo o Mapa, fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes são insumos básicos que, empregados de forma correta, aumentam a produção agrícola⁶. A regulamentação da produção e o comércio desses produtos são feitos por esse ministério, de forma a garantir padrão de qualidade para os produtores.

⁵ Disponivelem: <<http://rodaleinstitute.org/a-complete-how-to-on-farm-am-fungus-inoculum-production/>>.

⁶ Disponivem em: <<http://www.agricultura.gov.br/portal/page/portal/Internet-MAPA/pagina-inicial/vegetal/fertilizantes>>.

O Mapa define inoculante como substância que contenha microrganismos com atuação favorável ao desenvolvimento vegetal. Para obter sucesso na inoculação das plantas, a formulação do inoculante deve combinar algumas características, tais como: a) proporcionar um ambiente protetor para os microrganismos, evitando o declínio da população durante o tempo de transporte e armazenamento; b) ser de fácil uso e aplicação; c) ser ambientalmente correta; e d) ter uma boa relação custo-benefício para viabilizar sua produção (HERRMANN; LESUEUR, 2013). Segundo Rossi (2006), outro fator importante é a qualidade microbiológica, tanto pela ausência de patógenos que comprometam o controle fitossanitário, quanto pela ausência de microrganismos de vida livre que possam afetar a viabilidade do inoculante.

É possível produzir inoculante micorrízico de qualidade na propriedade rural?



Sim. O método *on farm*, ou na fazenda, de produção de inóculo de fungos MA é um sistema de produção de inóculo executado pelo próprio produtor rural para ser usado diretamente em sua propriedade. Inóculos *on farm* podem ser produzidos por meio de vários métodos (DOUDS JÚNIOR, 2009; DOUDS JÚNIOR et al., 2006).

Recentemente, experiências no Brasil têm demonstrado que a produção de inoculante *on farm* é

viável, pois sendo de baixo custo para o produtor e não implica gastos com transporte do inóculo até a propriedade do produtor (CZERNIAK; STÜRMER, 2014; GOETTEN et al., 2016; SCHLEMPER; STÜRMER, 2014). Além disso, a produção pode ser feita utilizando-se resíduos diversos como componentes do substrato utilizado para a produção de inoculante micorrízico.

A fonte de propágulos para a produção desse tipo de inóculo deve ser obtida na própria propriedade rural, em áreas de solo fértil e livres de pragas e doenças. Podem ser usados como inoculantes de fungos MA todos os propágulos infectivos, como hifas e esporos, além de raízes e substratos colonizados (MIRANDA, 2008).

Quais são as plantas utilizadas para a multiplicação de fungos MA?



Além da capacidade de multiplicação de fungos MA, as espécies de plantas escolhidas para a produção de inóculo devem apresentar características fitossanitárias adequadas para que não promovam a disseminação de pragas e doenças. Nesse sentido, um dos problemas a ser coibido é a multiplicação de nematoides e outras pragas de solo. Para evitar a multiplicação de nematoides, devem ser escolhidas espécies tolerantes e/ou que apresentem baixo fator de reprodução (FR) de nematoides. Diversos híbridos de

milho e variedades de sorgo e milho apresentam FR baixo, além das espécies de crotalárias *C. spectabilis* e *C. breviflora*. A utilização de consórcio de espécies de plantas para a multiplicação de fungos MA é comprovadamente vantajosa.

Considerações finais



Os fungos MA ocorrem naturalmente na maioria dos solos, e suas comunidades podem ser mantidas por meio de boas práticas agrícolas. No entanto, em diversas situações, a inoculação é necessária. Nessas situações, não havendo inoculante micorrízico disponível no mercado nacional, o agricultor pode produzir o próprio inóculo, recorrendo à técnica chamada *on farm*. Essa técnica é simples e de fácil execução, principalmente por agricultores orgânicos acostumados à produção de composto e outros produtos na própria fazenda. O inóculo produzido nesse sistema deve ser utilizado exclusivamente na propriedade rural produtora, para evitar a disseminação de pragas e doenças entre propriedades rurais.

A pujança e a tecnificação do agronegócio brasileiro têm atraído, para o Brasil, investimentos de grandes empresas internacionais e também favorecido a criação e o fortalecimento de empresas nacionais produtoras de inoculantes. Espera-se, aliás, que, em breve, o mercado nacional possa estar suficientemente habilitado a oferecer inoculantes micorrízicos

de qualidade. Diversas instituições no Brasil mantêm coleções de fungos MA testados para diversas culturas e adaptados aos solos brasileiros. A produção de inoculantes com base nesses fungos pode ser feita por meio de parcerias público-privadas, entre empresas de pesquisa e universidades e o setor industrial.

Referências



AZCÓN-AGUILAR, C.; BAREA, J. Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens – an overview of the mechanisms involved. **Mycorrhiza**, v. 6, n. 6, p. 457-464, 1997a.

AZCÓN-AGUILAR, C.; BAREA, J. M. Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture: significance and potentials. **Scientia Horticulturae**, v. 68, p. 1-24, 1997b.

AZCÓN-AGUILAR, C.; CANTOS, M.; TRONCOSO, A.; BAREA, J. M. Beneficial effect of arbuscular mycorrhizas on acclimatization of micropropagated cassava plantlets. **Scientia Horticulturae**, v. 72, p. 63-71, 1997.

AZCÓN-AGUILAR, C.; PALENZUELA, E. J.; GARCÍA, L.; BAREA, J. M. Aplicación de las micorrizas en hortofruticultura. **Phytoma**, v. 110, p. 46-56, 1999.

BANUELOS, J.; ALARCÓN, A.; LARSEN, J.; CRUZ-SÁNCHEZ, S.; TREJO, D. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and *Meloidogyne incognita* in the ornamental plant *Impatiens balsamina*. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 14, n. 1, p. 63-74, 2014.

CHANTAL, H. Prospects and problems pertaining to the management of arbuscular mycorrhizae in agriculture.

Agriculture, Ecosystems and Environment, v. 60, p. 197-210, 1996.

CZERNIAK, M. J.; STÜRMER, S. L. Produção de inoculante micorrízico on farm utilizando resíduos da indústria florestal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1712-1721, 2014.

DOUDS JÚNIOR, D. D. Utilization of inoculum produced on-farm for production of AM fungus colonized pepper and tomato seedlings under conventional management. **Biological Agriculture and Horticulture**, v. 26, p. 353-364, 2009.

DOUDS JÚNIOR, D. D.; NAGAHASHI, G.; PFEFFER, P. E.; REIDER, C.; KAYSER, W. M. On-farm production of AM fungus inoculum in mixture of compost and vermiculite. **Bioresour Technol**, n. 97, p. 809-818, 2006.

GOETTEN, L. C.; MORETTO, G.; STÜRMER, S. L. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi inoculum produced on-farm and phosphorus on growth and nutrition of native woody plant species from Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 30, p. 9-16, 2016.

HAMEL, C. Prospects and problems pertaining to the management of arbuscular mycorrhizae in agriculture. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 60, p. 197-210, 1996.

HERRMANN, L.; LESUEUR D. Challenges of formulation and quality of biofertilizers for successful inoculation. **Applied Microbiol Biotechnology**, v. 97, n. 20, p. 8859-73, 2013.

IJDO, M.; CRANENBROUCK, S.; DECLERCK, S. Methods for large scale production of AM fungi: past, present, and future. **Mycorrhiza**, v. 21, p. 1-16, 2011.

JARSTFER A. G.; SYLVIA D. M. Inoculum production and inoculation strategies for vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. In: DEKKER, M. B. M. (Ed.). **Soil microbial technologies: applications in agriculture, forestry and**

environmental management. New York: Marcel Dekker, 1992. p. 349-377.

KAPOOR, R.; SHARMA, D.; BHATNAGAR, A. K. Arbuscular mycorrhizae in micropropagation systems and their potential applications. **Scientia Horticulturae**, v. 116, p. 227-239, 2008.

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. (Ed.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: Ed. da Ufla, 2010. p. 119-132.

MIRANDA, J. C. C. de. **Cerrado: micorriza arbuscular: ocorrência e manejo**. Planaltina, DF. Embrapa Cerrados, 2008. 169 p.

MOREIRA, F. M. S., SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Ed. da Ufla, 2006. 729 p.

OEHL, F.; SIEVERDING, E.; INEICHEN, K.; RIS, E. A.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A. Community structure of arbuscular mycorrhizal fungi at different soil depths in extensively and intensively managed agroecosystems. **New Phytologist**, v. 165, p. 273-283, 2005.

PAIVA, L. M.; SILVA, M. A.; SILVA, P. C.; MAIA, L. C. *Glomus clarum* e *Glomus etunicatum*: cultivo em solo e aeroponia. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 26, p. 257-262, 2003.

PURIN, S.; KLAUBERG FILHO, O. Glomalina: nova abordagem para entendermos a biologia dos fungos micorrízicos arbusculares. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A. de; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (Org.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: Ed. da Ufla, 2010. p. 503-524.

ROSSI, M. J. **Tecnologia para produção de inoculantes de fungos ectomicorrízicos utilizando cultivo submerso em**

biorreator airlift. 188 f. 2006. Tese (Doutorado) –
Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SANTANA, A. S. de; CAVALCANTE, U. M. T.; SAMPAIO,
E. V. de S. B.; COSTA M., L. C. Production, storage and costs
of inoculum of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). **Revista
Brasileira de Botânica**, v. 37, p. 159-165, 2014.

SCHLEMPER, T. R.; STÜRMER, S. L. On farm production of
arbuscular mycorrhizal fungi inoculum using lignocellulosic
agrowastes. **Mycorrhiza**, v. 24, p. 571-580, 2014.

SIEVERDING, E. **Vesicular-arbuscular mycorrhiza
management in tropical agrosystems. Eschborn (Germany):**
Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).
Germany: [s.n.]. 1991, 371 p.

SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.;
TSAI, S. M. **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil.**
Lavras: Ed. da Ufla, 2010. 716 p.

SIQUEIRA, J. O; FRANCO, A. A. **Biotechnology do solo:**
fundamentos e perspectivas. Ciências agrárias nos trópicos
brasileiros. Brasília, DF: MEC: Esal; Lavras: Faepe: Abeas,
1988. 235 p.

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

SOUZA, F. A. de. **Banco ativo de glomales da Embrapa
Agrobiologia:** catalogação e introdução de novos isolados
desde 1995. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000.
40 p. (Embrapa-CNPAB. Documento, 123).

SOUZA, F. A. de; BERBARA, R. L. L. Ontogeny of *Glomus
clarum* in Ri T-DNA transformed roots. **Mycologia**, v. 91,
p. 343-350, 1999.

SOUZA, F. A. de; DALPÉ, Y.; DECLERCK, S.; LA
PROVIDENCIA, I. E.; SÉJALON-DELMAS, N. Life history
strategies in Gigasporaceae: insight from monoxenic culture.
In: DECLERCK, S.; STRULLU, D. G.; FORTIN, J. A. (Ed.).

Soil biology - in vitro culture of mycorrhizas. New York: Springer, 2005. p 73-91.

SOUZA, F. A. de; GUERRA, J. G. M. **Emprego da técnica do número mais provável (NMP) no estudo de populações de fungos micorrízicos arbusculares (FMA).** Seropédica: Embrapa Agrobiologia. 1998. (Circular técnica).

STÜRMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Brazilian ecosystems. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (Ed.). **Soil biodiversity in Amazonian and Brazilian ecosystems.** London: Cabi- Publishing, 2006. p. 206-236.

TALAVERA, M.; ITOU, K.; MIZUKUBO, T. Reduction of nematode damage by root colonization with arbuscular mycorrhiza (*Glomus* spp.) in tomato-*Meloidogyne incognita* (Tylenchida: Meloidogynidae) and carrot-*Pratylenchus penetrans* (Tylenchida: Pratylenchidae) pathosystems. **Applied Entomology Zoology**, v. 36, p. 387-392, 2001.