

Associações micorrízicas: benefícios na produção de mudas.

Paulo Vitor Dutra de Souza, Professor Titular, Departamento de Horticultura e Silvicultura, Faculdade de Agronomia, PPGFitotecnia, UFRGS. Bolsista CNPq.

Os fungos micorrízicos são divididos em ectomicorrizas, ectoendomycorrizas e endomicorrizas (MA). As MA, que envolvem aproximadamente 80% de espécies de plantas terrestres e fungos de solo do filo Glomeromycota, são as mais comuns e importantes simbioses dos vegetais (Goltapeh et al., 2008; Berbara et al., 2006; Siqueira et al., 2010), ocorrendo na maioria dos solos, climas e plantas (Siqueira et al., 2010; Gutjahr & Parniske, 2013).

Esta simbiose é considerada uma das mais antigas (> 450 milhões de anos), com relatos de que as primeiras plantas terrestres já apresentavam fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) em seus sistemas radiculares. Ao longo da evolução terrestre, esta simbiose possibilitou maior adaptação e estabelecimento de ambos organismos envolvidos (Goltapeh et al., 2008).

Atualmente, mais de 300 espécies de FMAs foram identificadas. Pertencentes à classe Glomeromycota, ordem Glomerales, os FMAs estão inseridos em quatro sub-ordens: Glomerales, Diversisporales, Archaeosporales e Paraglomerales. A ordem Glomerales inclui as famílias Glomeraceae e Claroideoglomeraceae. A ordem Diversisporales apresenta as famílias Gigasporaceae, Acaulosporaceae, Pascisporaceae e Diversisporaceae. Na ordem Archaeosporales, tem-se as famílias Archaeosporaceae, Ambisporaceae e a Geosiphonaceae. Paraglomeraceae tem somente o gênero *Paraglomus* (Schüßler & Walker, 2010).

A MA é considerada mutualística entre os organismos, onde a planta supre o fungo com energia para crescimento e manutenção via produtos fotossintéticos, enquanto o fungo provê a planta com nutrientes e água. Nesse sentido, essa simbiose amplia a capacidade de absorção de nutrientes por parte do simbiote autotrófico e, conseqüentemente, a sua competitividade interespecífica e produtividade (Goltapeh et al., 2008; Berbara et al., 2006).

Os mecanismos adotados devido a simbiose entre fungo e planta são diversos, mas sempre condicionados à alterações na fisiologia da associação micorrízica, podendo incluir um ou mais dos seguintes aspectos: alteração na exsudação radicular, mediada por fatores bióticos e abióticos do sistema; aumento do vigor da planta em função da melhoria na nutrição; competição por sítios de infecção e/ou por fotoassimilados; aumento de microbiota rizosférica antagonista ao patógeno; alterações morfológicas nos tecidos radiculares; e maior tolerância à estresses abióticos (Goltapeh et al., 2008; Moreira & Siqueira, 2006; Kageyama et al., 2008).

Dessa forma, a simbiose influencia diversas características desejáveis à planta, que possibilita um maior desenvolvimento, refletindo em uma maior qualidade e produção. A partir disso, pesquisas envolvendo as micorrizas arbusculares têm como objetivo aumentar a produção, reduzir o uso de fertilizantes químicos e contribuir para alcançar um padrão de agricultura mais sustentável e menos dependente de insumos, uma vez que a sustentabilidade é fundamental para garantir a segurança alimentar das futuras gerações (Baar, 2008; Cripps, 2001).

Colonização dos fungos micorrízicos arbusculares no hospedeiro

Os FMAs são simbioses obrigatórios, ou seja, necessitam de um hospedeiro vivo para sobreviver. A formação da associação inicia-se a partir de sinalizações aos propágulos do fungo no solo, que podem ser esporos, células auxiliares e hifas colonizadas em segmentos de raízes (Lambais & Ramos, 2010).

A presença de exsudatos de raízes estimula a germinação dos esporos e o crescimento do tubo germinativo, indicando que os FMAs são sensíveis aos compostos presentes na rizosfera (Giovannetti, 2008).

Após os sinais do hospedeiro e fatores do solo favoráveis aos propágulos do fungo, há uma multiplicação rápida de hifas para ter contato com a raiz da planta. Essas hifas, ao encontrarem as raízes, aderem à sua superfície (epiderme ou pêlos radiculares) e diferenciam-se em um apressório (fortalecimento da extremidade da hifa), através do qual penetram no tecido da epiderme formando a "unidade de infecção". As hifas direcionam-se para o córtex via apoplasto

intercelularmente e se espalham ao longo do eixo longitudinal da raiz para formar intracelularmente nas camadas mais internas do córtex, os arbúsculos (Giovannetti, 2008). O arbúsculo é um emaranhado de hifas localizado entre a parede celular e a membrana plasmática da célula. Essa estrutura é responsável pela troca de nutrientes e fotoassimilados entre fungo e planta, ou seja, é onde ocorre a simbiose propriamente dita (Smith & Smith, 2011). O afinamento e ramificação das hifas têm como objetivo aumentar a área de contato entre membranas dos simbiotes para melhorar a eficiência das trocas (Giovannetti, 2008).

Posteriormente ao estabelecimento das hifas e arbúsculos, o fungo inicia a formação de vesículas. Essas estruturas são de armazenamento de nutrientes como uma forma de defesa do fungo para situações adversas, como exemplo, baixas temperaturas. Essas estruturas são formadas em alguns gêneros (*Glomus* e *Acaulospora*, por exemplo). Em outros são ausentes (*Gigaspora* e *Scutellospora*), pois, ao invés de vesículas existem células auxiliares, que são formadas em hifas extra-radulares (Lambais & Ramos, 2010).

No solo, os FMAs formam uma extensa rede micelial à fim de explorar microambientes não alcançados pelas raízes, sendo responsáveis pela absorção de nutrientes e água que posteriormente são transferidos para a planta hospedeira (Cruz et al., 2008).

O desenvolvimento e a velocidade de espalhamento do micélio do FMA na rizosfera são influenciados pela espécie do fungo, pelas condições ambientais e pela idade da planta ou da simbiose (Kiriachek et al., 2009). Desta forma, quanto maior a área de rede micelial atingida melhor será a associação e benefícios, que a simbiose trará para ambos os organismos envolvidos (Cruz et al., 2008). Segundo Lambais & Ramos (2010) a quantidade de micélio extra-radicular pode atingir até 1,5 m/cm de hifa de raiz colonizada, ou 55m/g de solo rizosférico.

A colonização das FMAs é descrita em três fases, segundo Lambais & Ramos (2010). São elas: primeira fase, chamada de assimiótica, compreende-se pela germinação dos esporos até o crescimento do tubo germinativo; a segunda fase, chamada pré-simbiótica, refere-se à ramificação das hifas esporofídicas em resposta aos sinais produzidos pelo hospedeiro; e a última fase, chamada de simbiótica, é referente aos eventos associados à diferenciação do apressório, penetração, colonização no córtex, formação e funcionamento do arbúsculo e formação das vesículas

Fatores que influenciam a micorriza arbuscular

A micorriza arbuscular possui três importantes componentes: a raiz, as estruturas do fungo, formadas dentro da célula hospedeira (arbúsculo), e o micélio extrarradicular no solo. A complexa relação celular entre raiz e fungo necessita de contínuo reconhecimento e troca de sinais entre ambos. Para o estabelecimento da simbiose, existem alguns fatores envolvidos, como: compatibilidade genética entre planta e fungo, fatores edafoclimáticos, atividades planta-microrganismos e densidade de inóculo de FMA (Berbara et al., 2006).

As plantas apresentam respostas diferenciadas à inoculação, havendo evidências de que espécies que pertencem à mesma família podem variar na suscetibilidade a fungos micorrízicos e que cultivares da mesma espécie também podem apresentar diferentes respostas à inoculação com determinadas espécies ou isolados fúngicos (Moreira & Siqueira, 2006). Outros fatores da planta como idade, estado nutricional, estágio fisiológico, presença de compostos fungistáticos e seu manejo, como a poda e a aplicação de fitohormônios também influenciam a micorrização (Goltapeh et al., 2008; Souza, 2000; Souza et al., 2000; Souza et al., 1998).

Quanto ao fungo, existem alguns fatores como a questão genética e adaptação ao ambiente que irão influenciar na colonização e no estabelecimento do fungo no hospedeiro. Desta forma, estudos mostram que o uso de espécies nativas é mais eficiente para uma simbiose perfeita, pois são mais adaptadas as condições do ambiente e apresentam maior compatibilidade genética com o hospedeiro (Berbara et al., 2006; Nunes et al., 2013).

Segundo Siqueira et al. (2010) as características edafoclimáticas também influenciam a micorrização. Essas características podem ou não ser manejadas e ajustadas no processo de produção, tais como: temperatura, umidade do solo, radiação e características físico-químicas do substrato (pH, nível nutricional, teor de matéria orgânica e textura).

A temperatura pode influenciar colonização e esporulação dos FMA no campo e sob condições de casa de vegetação, pois os fungos apresentam variações nos limites e na faixa ótima de temperatura para germinação dos esporos e extensão do micélio externo (Maia et al., 2010). A faixa ideal varia de cada espécie de fungo, entretanto, de modo geral, a temperatura ótima é entre 20 a 30°C (Cavalcante et al., 2009).

O fungo obtém glicose e outros produtos do hospedeiro, como aminoácidos, e este precisa de luz para sua atividade fotossintética. Consequentemente, baixa luminosidade poderá resultar em menores taxas de colonização e esporulação que dependem da fotossensibilidade da espécie hospedeira.

A umidade do solo/substrato influencia diretamente na germinação dos esporos e no crescimento micelial, sendo a faixa ideal para desenvolvimento e eficiência dos FMA entre 40 e 80%. Entretanto, estudos comprovam os benefícios que a MA oferece ao hospedeiro em situações de deficiência hídrica como maior tolerância à seca e melhor aproveitamento da água (Cavalcante et al., 2009). Wu e Xia (2006) observaram que *Glomus versiforme* melhorou o crescimento, a fotossíntese e o potencial osmótico de Tangerina (*Citrus tangerina*) comparando com plantas não colonizadas submetidas a estresse hídrico.

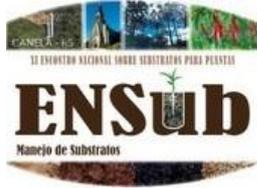
Segundo Cavalcante et al., (2009), embora os efeitos do pH sejam difíceis de ser avaliados, pois muitas propriedades químicas variam com as alterações deste fator, ele influencia qualitativa e quantitativamente as micorrizas, refletindo-se na ocorrência das espécies de plantas e FMA, na densidade de esporos na rizosfera e no crescimento e absorção de P pelas plantas. Existem evidências da adaptação de isolados e espécies de FMA com ocorrência em solos com pH na faixa de 2,7 a 10 (Berbara et al., 2006). Em geral, os esporos dos FMA germinam bem entre pH 6 e 7, mas há grandes diferenças na germinação entre esses fungos (Moreira & Siqueira, 2006).

Condições de elevada fertilidade do solo, especialmente N e P, assim como Mn, Zn e Cu, em geral, inibem micorrização. Entretanto, o fósforo é o nutriente que mais afeta a simbiose, controlando principalmente a taxa de crescimento fúngico intrarradicular (Cavalcante et al., 2009). A influência do P tem sido mais estudada devido à importância dos FMA no ciclo do P (transportando fosfato inorgânico do solo para as plantas, que transformam este elemento em fosfato orgânico) e na colonização micorrízica. Normalmente, altas concentrações de P na planta inibem a colonização das raízes, enquanto baixas concentrações favorecem a colonização intrarradicular (Eckardt, 2005). Do mesmo modo que as espécies de FMA não contribuem igualmente para aumentar a absorção de nutrientes e crescimento da planta também são diferentes as respostas dos hospedeiros na absorção de P, devendo ser considerado cada sistema simbiote planta/ambiente/FMA (Minhoni et al., 1993; Rocha et al. 2006).

A matéria orgânica exerce influência na estrutura, na composição de nutrientes do solo e na capacidade do solo em armazenar água, o que pode influenciar direta ou indiretamente o desenvolvimento e a eficiência do FMA. Além disso, os restos de raízes micorrizadas de plantas anuais constituem importante reservatório de inóculo. As populações de esporos de FMA parecem estar relacionadas ao nível de matéria orgânica do solo, e, em geral, a aplicação de adubos orgânicos melhora o desenvolvimento micorrízico (Minhoni et al., 1993). No entanto, nem sempre são evidenciadas correlações entre conteúdo de matéria orgânica e a colonização e, dependendo do composto adicionado e da concentração, pode haver redução nos níveis de micorrização (Cavalcante et al., 2009; Souza et al., 2005)

Devido à complexidade envolvida para a compatibilidade entre fungo e hospedeiro e a influência do ambiente sobre a simbiose, existe uma dificuldade em determinar protocolos que viabilizem a utilização de micorrizas arbusculares no sistema de produção de plantas. Por isso que nos últimos anos a simbiose entre fungos micorrízicos arbusculares e plantas tem sido tão estudada, à fim de determinar quais espécies são mais adaptadas (tanto do fungo quanto da planta) e que condições ambientais e práticas de manejo são necessárias para o sucesso da simbiose (Siqueira et al., 2010).

Limitações ao uso de micorrizas arbusculares na produção de mudas.



- as Mas são simbiotes obrigatórios, encarecendo o processo de produção do inóculo;
- a eficiência das MAs é variável segundo a planta hospedeira;
- as MAs competem entre si, o que dificulta a criação de inóculos multiespecíficos;

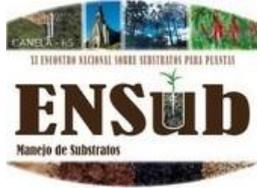
Indicações ao uso de Mas em produção de mudas

As MAs apresentam um grande potencial de uso em sistema de produção de mudas em ambiente protegido, onde são empregados substratos inertes e desprovidos de microrganismos benéficos. Elas permitem uma aceleração no desenvolvimento das plantas em viveiro, com economia nutricional e maior resistência aos estresses bióticos e abióticos, tanto no viveiro, como na fase posterior de campo.

Em virtude das limitações à produção de inóculo, estudos têm sido realizados visando elucidar os sinalizadores radiculares, que permitam baratear o custo de produção de inóculos comerciais. Para tanto, estão sendo realizados estudos na linha do cultivo “in vitro”; uso de plantas hospedeiras com valor agregado em sua parte aérea, dentre outros.

Referências Bibliográficas

- BAAR, J. From Production to Application of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Agricultural Systems: Requirements and Needs. In: **Mycorrhiza**. VARMA. A.(ed.). Berlin: Springer, p. 361-373, 2008.
- BERBARA, R.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. **Fungos micorrízicos arbusculares: Muito além da nutrição**. In: Fernandes, M.S.(Ed.) Nutrição Mineral de Plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, 53-85p.
- CAVALCANTE, U. M. T.; GOTO, T. B.; MAIA, L. C. Aspectos da simbiose micorrízica arbuscular. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, Recife, vs. 5 e 6, p.180-208, 2009.
- CRIPPS, C. Endotrophic mycorrhiza. In: MALOY, O.C.; MURRAY, T.D. (Ed.) **Encyclopedia of Plant Pathology**. Nova York: John Willey & Sons, p. 405- 407, 2001.
- CRUZ, C., Correia, P.; Ramos, A.; Carvalho, L.; Bago, A.; Loução, M. A. M. Arbuscular mycorrhiza in plant physiological and morphological adaptations. In: **Mycorrhiza**. VARMA. A.(ed.). Berlin: Springer, p.733-754, 2008.
- ECKARDT, N.A. Insights into plant cellular mechanisms: of phosphate transporters and arbuscular mycorrhizal infection. **The PlantCell**, v. 17, p.3213-3216, 2005.
- GIOVANNETTI, M. Structure, Extent and Functional Significance of Belowground Arbuscular Mycorrhizal Networks. In: **Mycorrhiza**. VARMA. A.(ed.). Berlin: Springer, p. 59-72, 2008.
- GOLTAPPEH, E. M.; DANESH, Y. R.; PRASAD, R.; VARMA. A. Mycorrhizal Fungi: What We Know and What Should We Know? In: **Mycorrhiza**. VARMA. A.(ed.). Berlin: Springer, p. 3-28, 2008.
- GUTJAHR, C & PARNISKE, M. Cell and Developmental Biology of Arbuscular Mycorrhiza Symbiosis. **Annu. Rev. Cell Dev. Biol.** v.29, p.593-617, 2013.
- KAGEYAMA, S. A.; MANDYAM, K. G.; JUMPPONEN, A. Diversity, Function and Potential Applications of the Root-Associated Endophytes. In: **Mycorrhiza**. VARMA. A.(ed.). Berlin: Springer, p. 29-58, 2008.
- KIRIACHEK, S. G.; AZEVEDO, L. C. B.; PERES, L. E. P.; LAMBAIS, M. R. Regulação do desenvolvimento de micorrizas arbusculares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1-16, 2009.
- LAMBAIS, M. R.; RAMOS, A. C. Sinalização e transdução de sinais em micorrizas arbusculares. In: **MICORRIZAS: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. p.119-132.
- MAIA, L. C.; SILVA, F. S. B. da; GOTO, B. T. Estrutura, ultraestrutura e germinação de



glomerosporos. In: **MICORRIZAS: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. p.75-118.

MINHONI, M.T.A., CARDOSO, E.J.B.N. & EIRA, A.F. Efeitos da interação de fosfato de rocha, matéria orgânica e fungo micorrízico no crescimento e na absorção de nutrientes pela soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, p.15–171, 1993.

MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006, 729p.

NUNES, J. L.S.; SOUZA, P.V.D.; Marodin, G.A.B.; FACHINELLO, J.C. Desenvolvimento de plântulas de pessegueiro 'Okinawa' inoculadas com micorrizas arbusculares isoladas de pomares de pessegueiros e de vinhedos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, p. 845-852, 2013.

ROCHA, F. S.; SAGGIN JÚNIOR, O. J.; SILVA, E. M. R. da; LIMA, W. L. de. Dependência e resposta de mudas de cedro a fungos micorrízicos arbusculares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.1, p.77-84, 2006.

SCHÜBLER, A.; WALKER, C. **The Glomeromycota: a species list with new families and genera**. Gloucester (Inglaterra): CreateSpace. 2010, p.58.

SIQUEIRA, J. O.; DE SOUZA, F. A.; CARCOSO, E. J. B. N.; TASAI, S. M. Histórico e evolução da micorrizologia no Brasil: avanços em três décadas. In: **MICORRIZAS: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. p.1-14.

SMITH, S. E. & SMITH, F. A. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: New paradigms from cellular to ecosystem scales. **Annu. Rev. Plant Biol.** March, 2011.

SOUZA, Paulo Vitor Dutra de; FONFRIA, M. A. ; BERJON, M. A. ; ORENGA, V. A. . Interação entre micorrizas arbusculares e ácido giberélico no desenvolvimento vegetativo de plantas de citrange carrizo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n.1, p. 783-787, 2000.

SOUZA, Paulo Vitor Dutra de. Desenvolvimento Vegetativo e morfologia radicular de citrange carrizo afetado por ácido indolbutírico e micorrizas arbusculares. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, p. 249-255, 2000.

SOUZA, Paulo Vitor Dutra de; ABAD, M. ; ALMELA, V. ; AGUSTI, M. . Influence of growing media on the auxin-induced growth of containerized Carrizo citrange seedlings. **Communications In Soil Science And Plant Analysis**, Nova York, v. 29, n.17-18, p. 2793-2800, 1998.

SOUZA, P.V.D. de; CARNIEL, E.; SCHMITZ, J. A. K.; SILVEIRA, S. V. da S. Influência de substratos e fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento vegetativo do porta-enxerto Flying dragon (*Poncirus trifoliata*, var. Montruosa swing.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 27, n. 2, p. 285-287, Agosto 2005.

WU, Q. S.; XIA, R. X. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. **Journal of Plant Physiology**, v. 163, n. 4, p. 417–425, 2006.