

FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES: REDES QUE SUSTENTAM A VIDA

CATARINA DRUMONDE MELO^{1,2}

¹ CE3C — CENTRO DE ECOLOGIA, EVOLUÇÃO E ALTERAÇÕES AMBIENTAIS, GRUPO DA BIODIVERSIDADE DOS AÇORES, FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DO AMBIENTE, UNIVERSIDADE DOS AÇORES, RUA CAPITÃO JOÃO D'ÁVILA, SÃO PEDRO, PT-9700-042 ANGRA DO HEROÍSMO, PORTUGAL.

² CFE — CENTRO DE ECOLOGIA FUNCIONAL, DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DA VIDA, UNIVERSIDADE DE COIMBRA, PT-3001-401 COIMBRA, PORTUGAL.

O QUE SÃO FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES?

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), pertencentes ao filo Glomeromycota, cuja origem estimada é ter ocorrido há 400-500 milhões de anos (Schübler et al., 2001), estabelecem associações simbióticas com a maioria das plantas terrestres, abrangendo aproximadamente 80-90% de todas as espécies (Smith & Read, 2008; Brundrett & Tedersoo, 2018).

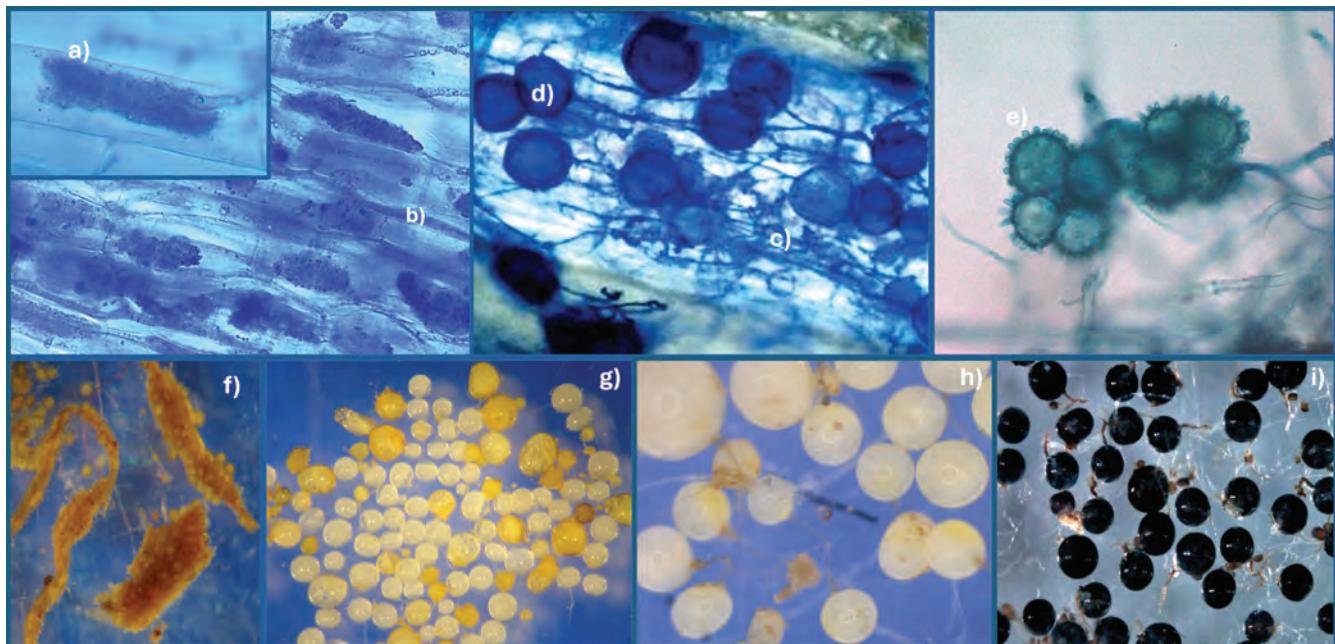
A principal característica morfológica destes fungos é a ramificação dicotómica repetida ao penetrarem nas células corticais da raiz, formando os arbúsculos (Figura 1a), estruturas altamente ramificadas em forma de árvore, típicas das colonizações realizadas por estes organismos. Inicialmente, o fungo cresce entre as células corticais, através da rede de hifas (figura 1 b; c), mas rapidamente penetra na parede celular da hospedeira e desenvolve-se dentro das células corticais (Smith & Read, 2008; Brundrett & Tedersoo, 2018). Deste modo, os arbúsculos são os principais locais de troca de metabólitos e as estruturas fisiológicas primárias da simbiose.

Outras estruturas produzidas por alguns FMA incluem as vesículas (Figura 1d), células auxiliares (Figura 1e) e esporos assexuados (Figura 1f-i)). As vesículas são estruturas globosas, inter ou intracelulares, com dimensões entre 30 a

100 µm, ricas em lípidos (Figura 1d). A sua principal função é atuar como órgãos de reserva, mas também podem funcionar como propágulos reprodutivos do fungo (Smith & Read, 2008; Brundrett & Tedersoo, 2018). As células auxiliares são ramificações laterais que se expandem rapidamente em estruturas globosas, cuja função ainda é desconhecida. Os esporos constituem a principal unidade reprodutiva dos FMA (Figura 1 e), são produzidos nas hifas extrarradicais, mas também podem crescer no interior das raízes colonizadas (Schenck & Smith, 1982). Alguns FMA também formam esporocarpos ou aglomerados de esporos (Figura 1f) (Redecker et al., 2007).

BENEFÍCIOS DA SIMBIOSE COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

Estes fungos são simbiontes biotróficos obrigatórios, sendo incapazes de completar o seu ciclo de vida sem a presença de uma planta hospedeira. Estabelecem-se através da colonização das raízes e da rizosfera, formando uma extensa rede de filamentos (hifas) que se prolonga por vários centímetros, tanto no interior como no exterior das raízes (Smith & Read, 2008; Brundrett & Tedersoo, 2018). Esta rede micelial aumenta significativamente a área de exploração do solo pela planta, facilitando a absorção de água e de nutrientes minerais essenciais à sua



1

nutrição (especialmente fósforo). Como consequência desta melhoria nutricional, observa-se um aumento no crescimento e na produtividade da planta (Lekberg & Koide, 2005), na resistência à seca (Birhane et al., 2012) ou a patogénicos do solo (Melo et al., 2008; Fiorilli et al., 2011), assim como, um aumento na tolerância a metais pesados (Babu & Reddy, 2011). Além disso, há também evidências de que estes fungos contribuem para uma melhoria da estrutura do solo (Rillig & Mumme, 2006), desempenhando ainda um papel fundamental na restauração de habitats, ao facilitarem a adaptação das plântulas às condições dos seus habitats naturais (Melo et al., 2020a).

DIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NOS AÇORES

Na realidade, os fungos micorrízicos arbusculares desempenham um papel importante na sustentabilidade dos ecossistemas naturais e agrícolas, constituindo uma ferramenta valiosa para o equilíbrio e funcionamento dos ecossistemas (Barea et al., 2011). Neste contexto, e com o objetivo de compreender a estrutura, diversidade e distribuição espacial das comunidades micorrízicas em ecossistemas com diferentes graus de perturbação, estes fungos têm vindo a ser



2

FIGURA 1. Estruturas morfológicas dos FMA:
a) arbúsculos; b-c) hifa intrarradicular; d)
vesículas; e) células auxiliares; f-i) esporos
do micélio extrarradicular.

FIGURA 2. Colheita de solo rizosférico.

FIGURA 3. Identificação morfológica
dos esporos dos FMA.



3

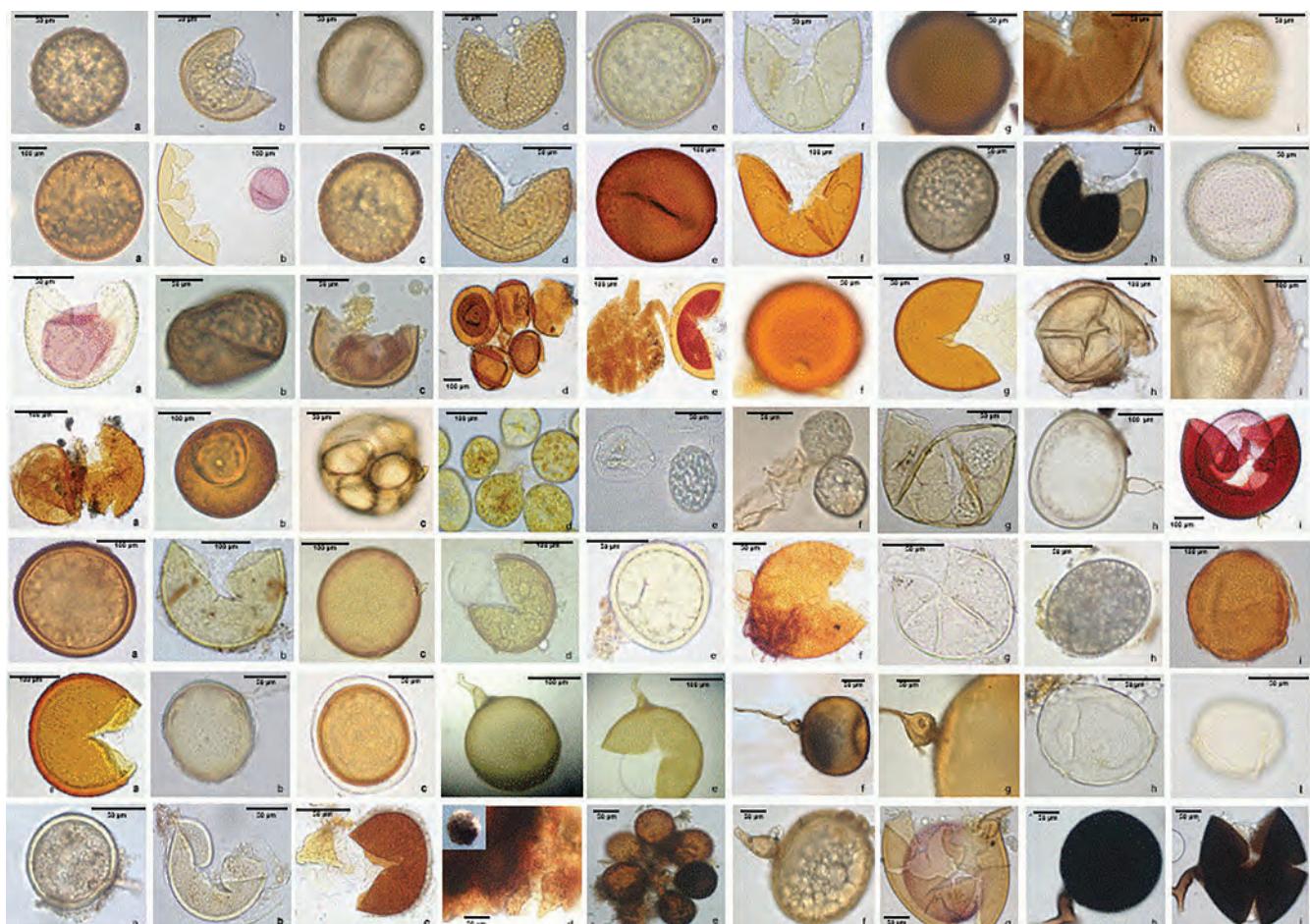


FIGURA 4. Esporos de diferentes famílias do filo *Glomeromycota* presentes nas ilhas Terceira e São Miguel.

Linha 1: a-b) *Ac. brasiliensis*, c-d) *Ac. cavernata*, e-f) *Ac. delicata*, g-h) *Ac. elegans*, i) *Ac. excavata*, h-i);

Linha 2: a-b) *Ac. koskei*, c-d) *Ac. lacunosa*, e-f) *Ac. laevis*, g-h) *Ac. mellea*, i) *Ac. paulinae*;

Linha 3: a) *Ac. paulinae*, b-c) *Ac. spinosa*, d-e) *Ac. cf. thomii*, f-g) *Ac. tuberculata*, h-i) *Am. appendicula*;

Linha 4: a-b) *Am. fennnica*, c) *Ar. myriocarpa*, d-e) *Ar. cf. schenckii*, f-g) *Ar. trappei*, h-i) *Ce. pellucida*;

Linha 5: ab) *Cl. claroideum*, c-d) *Cl. etunicatum*, e) *Cl. lamellosum*, f) *Co. globiferum*, g-h) *Div. celata*, i) *Div. epigaea*;

Linha 6: a) *Div. epigaea*, b) *Div. spurca*, c) *En. infrequens*, d-e) *Fun. mosseae*, fg) *Gi. margarita*, h) *Par. albidiuum*, i) *Par. brasiliandum*;

Linha 7: a-b) *Rh. clarus*, c) *Sac. baltica*, d) *Scl. sinuosa*, e) *Scl. rubiformis*, f-g) *Scut. calospora*, h-i) *Sept. constrictum*.

estudados nos Açores ao longo das últimas duas décadas. Neste estudo, apresentamos a diversidade e composição da comunidade de FMA em pastagens semi-naturais e intensivas da ilha Terceira (Melo et al. 2014). A caracterização destes ecossistemas permite compreender de que forma a intensificação agrícola influencia a estrutura e a dinâmica das comunidades de FMA. Foram igualmente analisados fragmentos de floresta nativa nas ilhas Terceira e São Miguel, dominados por espécies endémicas como o *Juniperus brevifolia* (Cedro-do-mato) e a *Picconia azorica* (Páu-branco) (Melo et al., 2017; 2018; 2019). Este enfoque contribui para a valorização da flora endémica dos Açores, destacando o papel dos FMA na manutenção da funcionalidade ecológica destes habitats. A análise da diversidade micorrízica baseia-se na colheita de solo rizosférico (Fig. 2) para extração dos esporos, os quais são posteriormente identificados morfológicamente (Fig. 3), ou recorrendo a técnicas moleculares.

Neste estudo de meta-análise foram colhidas 244 amostras de solo rizosférico e extraídos 53,208 esporos de fungos micorrízicos arbusculares, representando 97 morfotipos, dos quais 37 foram identificados ao nível de espécie (Fig. 4).

As famílias com maior riqueza de espécies foram a *Glomeraceae* (19 espécies), *Acaulosporaceae* (9), *Diversisporaceae* (4) e, com três espécies cada, *Archaeosporaceae*, *Claroideoglomeraceae* e *Gigasporaceae*. A família *Acaulosporaceae* destacou-se como a mais abundante, presente em 85% das amostras, sobretudo em florestas nativas associadas à rizosfera de *Picconia azorica*. Dentro desta família, *Acaulospora brasiliensis* foi a espécie dominante (48%), seguida por *A. lacunosa* (26%) e *A. melea* (17%).

A família *Glomeraceae* demonstrou elevada plasticidade ecológica, ocorrendo em todos os tipos de habitat estudados. Espécies como *Rhizophagus clarus* (20%) e *Sclerocystis rubiformis* (12%) foram particularmente representativas. Por

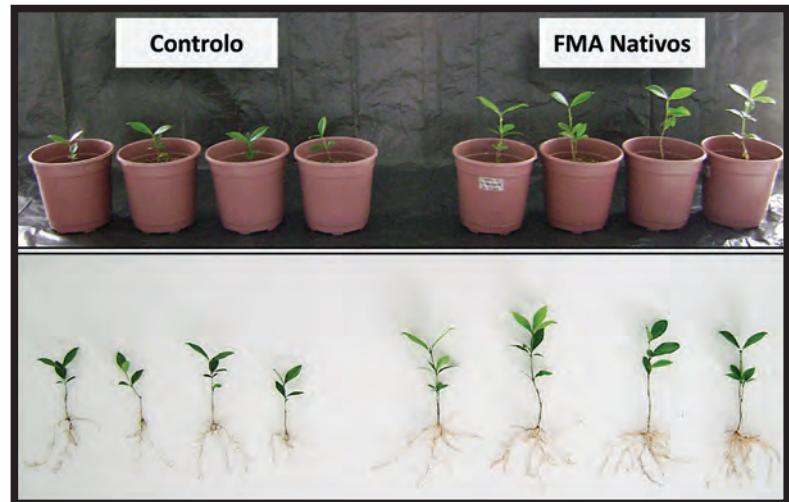


4

outro lado, a família Gigasporaceae foi mais frequentemente observada em florestas nativas e pastagens semi-naturais. Algumas espécies de Acaulosporaceae, como *Acaulospora excavata* e *A. tuberculata*, revelaram-se exclusivas das pastagens semi-naturais.

A diversidade de fungos micorrízicos foi superior na ilha Terceira em comparação com São Miguel, particularmente em habitats menos perturbados, como as florestas nativas (Melo et al., 2017; 2018) e as pastagens semi-naturais (Melo et al., 2014). Estes resultados sugerem que a intensidade de utilização do solo tem um efeito negativo sobre a riqueza e a composição das comunidades de fungos micorrízicos arbusculares (Melo et al., 2020b; 2020c). Neste contexto, destaca-se a elevada abundância de espécies da família Acaulosporaceae nas florestas nativas, o que sugere uma forte associação com ecossistemas pouco alterados. Esta particularidade evidencia o potencial destas espécies no apoio a programas de restauração de habitats, nomeadamente através da redução do stress de transplantação em plântulas de espécies endémicas, quando previamente inoculadas em fase de viveiro (Melo et al., 2020a).

No entanto, a eficácia da simbiose varia consoante a planta hospedeira, o que reforça a importância da seleção planta-fungo específicos, de modo a maximizar o sucesso das intervenções ecológicas (Bever, 2002). Por este motivo, o uso estratégico de consórcios de fungos micorrízicos arbusculares nativos surge como uma abordagem promissora para programas de reabi-



5

litação de solos degradados, contribuindo simultaneamente para a restauração da funcionalidade do ecossistema e para a valorização dos recursos genéticos locais (Melo et al., 2020a). Estes resultados são sustentados por ensaios realizados com duas espécies endémicas dos Açores — *Juniperus brevifolia* e *Picconia azorica* — que demonstraram benefícios na sobrevivência e no estabelecimento das plantas após inoculação com fungos micorrízicos arbusculares nativos (Figuras 5 e 6).

Por outro lado, a presença generalizada de Glomeraceae em todos os tipos de habitat — desde florestas nativas até pastagens de manejo intensivo — demonstra a elevada plasticidade e utilidade das espécies desta família

FIGURA 5. Efeito da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares nativos em *Juniperus brevifolia*.

FIGURA 6. Efeito da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares nativos em *Picconia azorica*.

em ambientes degradados, podendo, também, contribuir para a recolonização vegetal e a recuperação de qualidade dos solos (Melo et al., 2020c).

A maior diversidade de fungos micorrízicos arbusculares verificada em pastagens seminaturais, em comparação com pastagens intensivas, demonstra que práticas de uso do solo menos intensivas favorecem o desenvolvimento de comunidades micorrízicas mais complexas e resilientes, fundamentais para a regeneração da biodiversidade e da funcionalidade do solo. Em contraste, a menor diversidade observada nas pastagens intensivas indica que a intensificação agrícola compromete o potencial destes fungos, contribuindo para a homogeneização das comunidades micorrízicas nestes sistemas de produção (Melo et al., 2014; 2020b).

Estes dados reforçam a importância de integrar estratégias de gestão do solo que promovam e conservem a diversidade funcional dos fungos micorrízicos arbusculares, como parte integrante de programas de restauração de habitats, visando a recuperação ecológica de ecossistemas insulares e a preservação da sua integridade a longo prazo.

BIBLIOGRAFIA

- Babu, A. G., & Reddy, M. S. (2011). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with plants growing in fly ash pond and their potential role in ecological restoration. *Current Microbiology*, 63(3), 273–280. doi.org/10.1007/s00284-011-9974-5
- Barea, J.M., Palenzuela, J., Cornejo, P., Sánchez-Castro, I., Navarro-Fernández, C., López-García, A., Estrada, B., Azcón, R., Ferrol, N., Azcón-Aguilar, C (2001). Ecological and functional roles of mycorrhizas in semi-arid ecosystems of Southeast Spain. *Journal of Arid Environments*, 75(12), 1292–1301. doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.06.001.
- Bever, J. D. (2002). Host-specificity of AM fungal population growth rates can generate feedback on plant growth. *Plant and Soil*, 244(1), 281–290. doi.org/10.1023/A:1020495519432
- Birhane, E., Sterck, F. J., Fetene, M., Bongers, F., & Kuyper, T. W. (2012). Arbuscular mycorrhizal fungi enhance photosynthesis, water use efficiency, and growth of frankincense seedlings under pulsed water availability conditions. *Oecologia*, 169(4), 895–904. doi.org/10.1007/s00442-012-2258-3
- Brundrett, M. C., & Tedersoo, L. (2018). Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. *New Phytologist*, 220(4), 1108–1115. doi.org/10.1111/nph.14976
- Fiorilli, V., Catoni, M., Francia, D., Cardinale, F., & Lanfranco, L. (2011). The arbuscular mycorrhizal symbiosis reduces disease severity in tomato plants infected by *Botrytis cinerea*. *Journal of Plant Pathology*, 93(1), 237–242. doi.org/10.1400/169610
- Lekberg, Y., & Koide, R. T. (2005). Is plant performance limited by abundance of arbuscular mycorrhizal fungi? A meta-analysis of studies published between 1988 and 2003. *New Phytologist*, 168(1), 189–204. doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01490.x
- Melo, C. D., Jaizme-Veja, M. C., & Freitas, H. (2008, setembro 25–26). *Aplicação de fungos micorrízicos arbusculares nativos dos Açores no controlo de nemátodos endoparasitas formadores de galhas (Meloidogyne javanica)*. 1^{as} Jornadas Científicas do Instituto de Biotecnologia e Biomedicina dos Açores, Angra do Heroísmo, Açores.
- Melo, C. D., Luna, S., Krüger, C., Walker, C., Mendonça, D., Fonseca, H. M., Jaizme-Vega, M., & Machado, A. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungal community composition associated with *Juniperus brevifolia* in native Azorean forest. *Acta Oecologica*, 79, 48–61. doi.org/10.1016/j.actao.2016.12.006
- Melo, C. D., Nunes, L., Freitas, H., & Borges, P. A. V. (2020a). Potential role of native arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in the restoration of Laurisilva. *Journal of Plant Pathology and Microbiology*, 11, 503. doi.org/10.35248/2157-7471.20.11.503
- Melo, C. D., Walker, C., Krüger, C., Borges, P. A., Luna, S., Mendonça, D., Fonseca, H. M. a. C., & Machado, A. C. (2019). Environmental factors driving arbuscular mycorrhizal fungal communities associated with endemic woody plant *Picconia azorica* on native forest of Azores. *Annals of Microbiology*, 69(13), 1309–1327. doi.org/10.1007/s13213-019-01535-x
- Melo, C.D.; Luna, S.D.; Krüger, C.; Walker, C.; Mendonça, D.; Fonseca, H.M.A.C.; Jaizme-Veja, M.C.; Câmara Machado, A. (2018). Communities of arbuscular mycorrhizal fungi under *Picconia azorica* in native forests of Azores. *Symbiosis*, 74(1), 43–54. doi.org/10.1007/s13199-017-0487-2
- Melo, C.D.; Pimentel, R.; Walker, C.; Rodríguez-Echeverría, S.; Freitas, H.; Borges, P.A.V. Diversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi along a land use gradient in Terceira Island (Azores) (2020b). *Mycological Progress*, 19, 643–656. doi.org/10.1007/s11557-020-01582-8;
- Melo, C.D.; Walker, C.; Freitas, H.; Câmara Machado, A.; Borges, P.A.V. Distribution of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in Terceira and São Miguel Islands (Azores) (2020c). *Biodiversity Data Journal*, 8: e49759. doi.org/10.3897/BDJ.8.e49759
- Melo, C.D.; Walker, C.; Rodríguez-Echeverría, S.; Borges, P.A.V.; Freitas, H. (2014). Species composition of arbuscular mycorrhizal fungi differ in semi-natural and intensively managed pastures in an isolated oceanic island (Terceira, Azores). *Symbiosis*, 64(2), 73–85. doi.org/10.1007/s13199-014-0303-1
- Redecker, D., Raab, P., Oehl, F., Camacho, F. J., & Courtecuisse, R. (2007). A novel clade of sporocarp-forming species of glomeromycotan fungi in the Diversisporales lineage. *Mycological Progress*, 6(1), 35–44. doi.org/10.1007/s11557-007-0524-z
- Rillig, M. C., & Mummmey, D. L. (2006). Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist*, 171, 41–53. doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01750.x
- Schenck, N. C., & Smith, G. S. (1982). Additional new and unreported species of mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Florida. *Mycologia*, 77(4), 566–574. doi.org/10.2307/3792849
- Schüßler, A., Schwarzkott, D., & Walker, C. (2001). A new fungal phylum, the Glomeromycota: Phylogeny and evolution. *Mycological Research*, 105, 1413–1421. doi.org/10.1017/S0953756201004919
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). Mycorrhizal symbiosis. Academic Press, New York.