

## Fungos ectomicorrízicos em plantações de noqueira-pecã e o potencial da truficultura no Brasil

### Ectomycorrhizal fungi in pecan orchards and the potential of truffle cultivation in Brazil

Marcelo Aloisio Sulzbacher<sup>I</sup>, Jonas Janner Hamann<sup>II</sup>, Diniz Fronza<sup>III</sup>,  
Rodrigo Josemar Seminoti Jacques<sup>IV</sup>, Admir José Giachini<sup>V</sup>, Tine Grebenc<sup>VI</sup>,  
Zaida Inês Antonioli<sup>VII</sup>

#### Resumo

Os estudos envolvendo a noqueira-pecã têm evoluído consideravelmente nos últimos anos no Brasil. Esta cultura foi introduzida no país no início do século passado e tornou-se importante comercialmente após os anos de 1960, principalmente na região sul. A noqueira-pecã é comprovadamente um simbiote, formando diversas associações mutualísticas com fungos ectomicorrízicos do solo. Assim, a presente revisão tem como objetivos apresentar os estudos sobre os fungos ectomicorrízicos em plantações comerciais de noqueira-pecã no Brasil, destacar a importância agrícola e ambiental desta simbiose, e o potencial da micorrização controlada da noqueira-pecã, visando à produção de espécies desejadas de trufas, notadamente do gênero *Tuber*, em pomares comerciais, uma atividade econômica de alta rentabilidade.

**Palavras-chave:** Inoculação de fungos; Trufas comestíveis; Produção florestal; *Tuberaceae*

#### Abstract

Studies involving pecan tree have evolved considerably in recent years in Brazil. Pecans were introduced in the country at the beginning of the last century, and became commercially important after the 1960's, primarily in the South region. Pecan trees form several ECM associations with mutualistic fungi. Thus, the aims of the present review were to show research data using ECM fungi in commercial pecan orchards in Brazil, present the agricultural and environmental importance of this symbiosis, and show the potential of man-driven mycorrhization with pecan, aiming at the production of selected truffles, notably of the genus *Tuber*, in commercial orchards, a highly profitable economic activity.

**Keywords:** Fungal inoculation; Edible truffles; Forest production; *Tuberaceae*

<sup>I</sup> Biólogo, Dr., Departamento de Solos, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. [marcelo\\_sulzbacher@yahoo.com.br](mailto:marcelo_sulzbacher@yahoo.com.br) (ORCID: 0000-0003-2059-7310)

<sup>II</sup> Engenheiro Agrônomo, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. [jonas.ufsm@gmail.com](mailto:jonas.ufsm@gmail.com) (ORCID: 0000-0002-0116-1397)

<sup>III</sup> Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor do Colégio Politécnico, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. [dinizfronza@yahoo.com.br](mailto:dinizfronza@yahoo.com.br) (ORCID: 0000-0003-0476-9207)

<sup>IV</sup> Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Associado do Departamento de Solos, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. [rodrigo@ufsm.br](mailto:rodrigo@ufsm.br) (ORCID: 0000-0002-8240-5145)

<sup>V</sup> Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Associado do Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Reitor João David Ferreira Lima, Bairro Trindade, CEP 88040-900, Florianópolis (SC), Brasil. [admir.giachini@gmail.com](mailto:admir.giachini@gmail.com) (ORCID: 0000-0001-8347-003X)

<sup>VI</sup> Slovenian Forestry Institute, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, Slovenia. [tine.grebenc@gmail.com](mailto:tine.grebenc@gmail.com) (ORCID: 0000-0003-4035-8587)

<sup>VII</sup> Bióloga, Dra., Professora Titular do Departamento de Solos, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. [zantonioli@gmail.com](mailto:zantonioli@gmail.com) (ORCID: 0000-0003-2036-8710)



## Introdução

A noqueira-pecã [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch] é uma planta perene, arbórea, caducifolia, monoica, com dicogamia, pertencente à família Juglandaceae, nativa da América do Norte, ocorrendo originalmente nas planícies do Rio Mississippi (SPARKS, 2005). Atualmente, os cultivos comerciais de noqueira-pecã ocorrem nos diferentes continentes e apresentam relevância econômica em países como Argentina, África do Sul, Austrália, Brasil, China, Estados Unidos, Israel, México e Peru (WAKELING *et al.*, 2001; FRONZA *et al.*, 2018). Esta espécie foi introduzida no Brasil por meio de sementes, material vegetativo (ramos) e mudas trazidas pelos primeiros imigrantes estadunidenses, que chegaram em 1870 no município paulista de Santa Barbara D'Oeste (AGUIAR, 2009). Esta cultura adquiriu importância comercial apenas na década de 1960, a partir da publicação da Lei nº 5.106 (BRASIL, 1966) que previa incentivos fiscais para pessoas físicas que utilizassem árvores frutíferas em projetos de florestamento e reflorestamento. Nesta época, foram implantados pomares de noqueira-pecã principalmente nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná (RASEIRA, 1990). Após esta lei, não houve mais incentivos governamentais para a implantação de novos cultivos.

Desde o ano de 2000, a área cultivada com noqueira-pecã tem aumentado significativamente no Brasil. Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a área colhida de noz-pecã foi de 2.192 ha no ano de 2009 e de 3.490 ha no ano de 2016. Este crescimento teve reflexos econômicos positivos, uma vez que em 2009 o valor da produção foi de R\$ 12 milhões e em 2016 foi de R\$ 42 milhões (IBGE, 2018).

Além da importância socioeconômica, o cultivo da noqueira-pecã traz outros benefícios ecológicos. Um exemplo é a simbiose com fungos ectomicorrízicos, que resulta em maior crescimento da árvore e do fungo no solo, além de melhorias para o ecossistema como um todo, pois são favorecidos os processos de ciclagem de nutrientes, agregação do solo, integração das cadeias tróficas, entre outros (SMITH; READ, 2008).

Além disto, a simbiose entre a noqueira-pecã e os fungos ectomicorrízicos pode estimular uma outra atividade econômica de grande rentabilidade, que é a truficultura. As valiosas trufas são estruturas de reprodução de fungos micorrízicos hipógeos que podem se associar à noqueira-pecã. Assim, a presente revisão tem como objetivos apresentar os estudos sobre os fungos ectomicorrízicos em plantações comerciais de noqueira-pecã no Brasil, destacar a importância agrícola e ambiental desta simbiose, e o potencial da micorrização controlada da noqueira-pecã em pomares comerciais, visando à produção de espécies desejadas de trufas, notadamente do gênero *Tuber*, uma atividade econômica de alta rentabilidade.

## Desenvolvimento

### Fungos ectomicorrízicos e a produção florestal

As associações ectomicorrízicas (ECM) ocorrem em cerca de 6.000 espécies de plantas, especialmente em essências florestais (VAN DER HEIJDEN *et al.*, 2015). Nestas plantas, já foram identificadas entre 20.000 a 25.000 espécies de fungos ectomicorrízicos (RINALDI; COMADINI; KUYPER, 2008; TEDERSOO; MAY; SMITH, 2010). Os fungos ECM podem pertencer a diferentes filos, mas a maioria pertence aos filos Ascomycota e Basidiomycota. No ciclo de vida destes fungos há a necessidade da formação de estruturas reprodutivas para produção, proteção e dispersão dos esporos. Os denominados fungos epígeos produzem estas estruturas acima do solo, as quais são denominadas popularmente de cogumelos. Já os fungos hipógeos produzem as estruturas reprodutivas abaixo do solo, as quais são denominadas popularmente de trufas (PEGLER; SPOONER; YOUNG, 1993). Muitas espécies de fungos ECM são consideradas comestíveis e apresentam alto valor comercial no mercado. Entre estes estão muitas espécies de

trufas, que são fungos do gênero *Tuber*, que recentemente foram comprovadas como tendo elevado potencial de associação micorrízica com a noqueira-pecã (BONITO; BRENNEMAN; VILGALYS, 2011; BENUCCI *et al.*, 2012).

A associação mutualística entre fungos ectomicorrízicos e plantas resulta em maior crescimento vegetal, devido à maior absorção de água e de nutrientes, como fósforo (P), nitrogênio (N), potássio (K) e micronutrientes, como o zinco (Zn) (LEAKE *et al.*, 2004; VAN DER HEIJDEN *et al.*, 2015). Ademais, as ECM atuam na proteção da planta simbiote contra a ação de patógenos, participam em interações com outros organismos do solo (bactérias, nematoides, outros fungos), contribuem para a manutenção das cadeias tróficas e da diversidade da micro, meso e macrofauna do solo (SMITH; READ, 2008), atuam na formação da matéria orgânica e na manutenção da estrutura do solo, trazendo reflexos no aumento da aeração, da infiltração de água e na redução da erosão do solo (RILLIG; MUMMEY, 2006).

No Brasil, as associações ectomicorrízicas ocorrem em ambientes naturais principalmente nas plantas das famílias *Fabaceae*, *Nyctaginaceae* e *Polygonaceae* (SULZBACHER *et al.*, 2013a). Além disto, estas associações encontram-se amplamente distribuídas em espécies florestais introduzidas no país, como as dos gêneros *Acacia*, *Carya*, *Eucalyptus*, *Quercus* e *Pinus* (SULZBACHER *et al.*, 2013b). Na produção florestal, as associações micorrízicas são consideradas extremamente benéficas, pois melhoram o estabelecimento das mudas e o crescimento das árvores (SMITH; READ, 2008).

Adicionalmente, as associações micorrízicas têm sido empregadas na recuperação de áreas degradadas, propiciando melhorias consideráveis nos ecossistemas impactados (SILVA; ANTONIOLLI; ANDREAZZA, 2003; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; RODRIGUES; GOI; RODRIGUES, 2014). Nos países europeus, na Austrália, Canadá e Estados Unidos já é comum a utilização de inoculantes de fungos ectomicorrízicos na produção de mudas em viveiro, visando aumentar a porcentagem de sobrevivência de mudas no campo (BRUNDRETT *et al.*, 1996; CAIRNEY; CHAMBERS, 1999). Para tal, têm sido utilizados principalmente inoculantes à base de fungos micorrízicos dos gêneros *Pisolithus*, *Rhizopogon* e *Scleroderma*. Porém, o uso destes fungos com finalidade gastronômica é muito limitado. Um caso especial são as trufas, cuja produção destes fungos é a principal motivação para a inoculação, porém, os benefícios resultantes da micorrização irão igualmente beneficiar as plantas, ainda que a produção florestal neste caso seja o objetivo secundário (SAVOIE; LARGETEAU, 2011).

No Brasil, a utilização de inoculantes de fungos ECM para a produção de mudas florestais ainda é incipiente e o uso de trufas do gênero *Tuber* é um assunto completamente ausente na literatura especializada, sendo que apenas recentemente o gênero foi descoberto no Rio Grande do Sul (GRUPE *et al.*, 2018).

Todavia, para a produção de inoculantes florestais há que se considerar que alguns fungos ECM apresentam especificidade de hospedeiro e somente formam micorrizas com determinadas espécies de plantas. Exemplo disto são os fungos dos gêneros *Rhizopogon* e *Suillus*, que se associam a apenas uma ou poucas famílias, especialmente à família *Pinaceae* (MOLINA; MASSICOTE; TRAPPE, 1992). As espécies do gênero *Tuber* podem formar associações ectomicorrízicas com um grande espectro de simbiotes (similarmente aos gêneros agaricoides *Russula* e *Lactarius* s.l.), o que faz das trufas promissoras também para a micorrização das famílias de plantas com potencial para o cultivo no Brasil, como *Juglandaceae* (noqueira-pecã) e *Fagaceae* (carvalho).

## Diversidade dos fungos ectomicorrízicos associados à noqueira-pecã

Apesar da importância dos fungos ECM para a produção florestal, os estudos que avaliaram a ocorrência de fungos micorrízicos em plantações comerciais de noqueira-pecã no Brasil são muito incipientes. Esta situação também ocorre em outros países, sendo exceção os Estados Unidos, local de origem da noqueira-pecã (Tabela 1). Naquele país, as pesquisas recentes com técnicas moleculares indicam que há uma grande diversidade de fungos ECM associados às raízes de noqueira (BONITO; BRENNEMAN; VILGALYS, 2011; BONITO *et al.*, 2011; 2012; BENUCCI *et al.*, 2012), contudo, a identificação em nível de espécie fica limitada sem o estudo das estruturas reprodutivas (ascomas e basidiomas).

**Tabela 1 – Lista dos fungos ectomicorrízicos associados à noqueira-pecã relatados na literatura**

Table 1 – List of ectomycorrhizal fungi associated to pecan trees and reported in the literature

Classificação	Distribuição
ASCOMYCOTA	
<i>Cenococcum geophilum</i>	Georgia, E.U.A. <sup>1</sup>
<i>Cenococcum</i> sp.	Georgia, E.U.A. <sup>3</sup>
<i>Elaphomyces</i> sp.	Georgia, E.U.A. <sup>1,3</sup>
Eurotiales	Georgia, E.U.A. <sup>1,3</sup>
<i>Pachyphloeus</i> sp.	Georgia, E.U.A. <sup>1,3</sup>
<i>Peziza</i> sp.	Georgia, E.U.A. <sup>1</sup>
Pezizaceae	Georgia, E.U.A. <sup>1,3</sup>
<i>Pyronemataceae</i>	Georgia, E.U.A. <sup>3</sup>
<i>Sphaerosporella</i> sp.	Georgia, E.U.A. <sup>3</sup>
<i>Tuber aestivum</i> Vittad.	Hungria e Itália <sup>4</sup>
<i>Tuber borchii</i> Vittad.	Hungria e Itália <sup>4</sup>
<i>Tuber indicum</i>	E.U.A. <sup>2</sup>
<i>Tuber lyonii</i> Butters	Florida, Minnesota, Georgia, Texas, E.U.A. <sup>1,3,5,6,7,1</sup>
<i>Tuber</i> sp.	Georgia, E.U.A. <sup>1</sup>
BASIDIOMYCOTA	
<i>Astraeus</i> sp.	Georgia, E.U.A. <sup>1,3</sup>
<i>Boletus</i> sp.	Georgia, E.U.A. <sup>1</sup>
<i>Hebeloma</i> sp.	Georgia, E.U.A. <sup>1,3</sup>
<i>Hymenogaster</i> sp.	Georgia, E.U.A. <sup>1,3</sup>
<i>Inocybe</i> sp.	Georgia, E.U.A. <sup>1</sup>
<i>Naucoria</i> sp.	Georgia, E.U.A. <sup>1</sup>
Russulales	Georgia, E.U.A. <sup>3</sup>
<i>Russula</i> sp.	Georgia, E.U.A. <sup>1</sup>
<i>Scleroderma verrucosum</i>	Viçosa-MG, Brasil <sup>8</sup>
<i>Scleroderma</i> sp.	Cachoeira do Sul-RS, Brasil <sup>9</sup>
<i>Scleroderma</i> sp.	Georgia, E.U.A. <sup>1,3</sup>
Sebacinales	Georgia, E.U.A. <sup>3</sup>
<i>Sebacina</i> sp.	Georgia, E.U.A. <sup>1</sup>
<i>Sistotrema</i> sp.	Georgia, E.U.A. <sup>1</sup>
Tricholomataceae	Georgia, E.U.A. <sup>1</sup>
<i>Tomentella</i> sp.	Georgia, E.U.A. <sup>3</sup>
Thelephoraceae	Georgia, E.U.A. <sup>1,3</sup>
<i>Xerocomus</i> sp.	Georgia, E.U.A. <sup>1</sup>

(<sup>1</sup>) Espécie amplamente distribuída desde o México até o Canadá (TRAPPE; JUMPPONEN; CAZARES, 1996). (<sup>1</sup>) Bonito, Brenneman e Vilgalys (2011). (<sup>2</sup>) Bonito *et al.* (2011). (<sup>3</sup>) Bonito *et al.* (2012). (<sup>4</sup>) Benucci *et al.* (2012). (<sup>5</sup>) Heimsch (1958, como *Tuber texense*). (<sup>6</sup>) Hanlin, Wu e Brenneman (1989, como *Tuber texense*). (<sup>7</sup>) Trappe, Jumpponen e Cazares (1996). (<sup>8</sup>) Ribeiro (2001). (<sup>9</sup>) Weht, Oliveira e Bonnassis (2000).

No Brasil, a espécie *Scleroderma verrucosum* foi encontrada em Minas Gerais (RIBEIRO, 2001) e um espécime não identificado relacionado ao gênero *Scleroderma* obtido no estado do Rio Grande do Sul (WEHT; OLIVEIRA; BONNASSIS, 2000). Recentemente, vários fungos ECM foram coletados em plantações de noqueira-pecã do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1, Tabela 2). Porém, esses novos registros carecem de identificação da espécie, tarefa de grande dificuldade por se tratar de gêneros com taxonomia complexa e com espécies ainda pouco conhecidas para o Brasil.

**Figura 1 – Diversidade de fungos ectomicorrízicos provenientes de plantações de noqueira-pecã no Rio Grande do Sul, Brasil. (a) Pomar de noqueira-pecã; (b, c) *Tuber* sp.; (d) *Russula* sp.; (e) *Scleroderma* sp.; (f) *Pisolithus arhizus*; (g) *Inocybe* sp.; (h) *Hymenogaster* sp**

Figure 1 – Diversity of ectomycorrhizal fungi from pecan plantations in Rio Grande do Sul, Brazil. (a) Orchard of cultivated pecan; (b, c) *Tuber* sp.; (d) *Russula* sp.; (e) *Scleroderma* sp.; (f) *Pisolithus arhizus*; (g) *Inocybe* sp.; (h) *Hymenogaster* sp. Fonte: (a) Jonas Janner Hamann 2018, (b, c, d, e, f, g, h) Marcelo Aloisio Sulzbacher 2018



Fonte: Os autores (2019).

**Tabela 2 – Lista dos fungos ectomicorrízicos encontrados nas plantações de noqueira-pecã no Rio Grande do Sul, Brasil**

Table 2 – List of ectomycorrhizal fungi found in pecan orchards in Rio Grande do Sul state, Brazil

Classificação dos fungos <sup>1</sup>	Material examinado
ASCOMYCOTA	
<i>Tuber</i> spp.	BRASIL. RIO GRANDE DO SUL: Cachoeira do Sul, Paralelo 30 Sul Agropecuária, 19. jul. 2016, M.A. Sulzbacher 475; <i>ibid.</i> , 10. out. 2016, M.A. Sulzbacher 482; <i>ibid.</i> , 09 fev. 2017, M.A. Sulzbacher 494.
BASIDIOMYCOTA	
<i>Astraeus</i> sp.	BRASIL. RIO GRANDE DO SUL: Santa Maria, Distrito Pains, 20 mar. 2017, M.A. Sulzbacher 509.
<i>Hymenogaster</i> sp.	BRASIL. RIO GRANDE DO SUL: Anta Gorda, 11. out. 2016, M.A. Sulzbacher 486; Cachoeira do Sul, Empresa Divinut, 10. out. 2016.
<i>Inocybe</i> sp.	BRASIL. RIO GRANDE DO SUL: Cachoeira do Sul, Paralelo 30 Sul Agropecuária, 10 mai. 2016, M.A. Sulzbacher 474.
<i>Pisolithus arhizus</i> (Pers.) Rauschert	BRASIL. RIO GRANDE DO SUL: Cachoeira do Sul, Paralelo 30 Sul Agropecuária, 13 abr. 2016, M.A. Sulzbacher 468.
<i>Russula</i> sp.	BRASIL. RIO GRANDE DO SUL: Cachoeira do Sul, Paralelo 30 Sul Agropecuária, 13 abr. 2016, M.A. Sulzbacher 472; <i>ibid.</i> , 11 nov. 2016, M.A. Sulzbacher 505.
<i>Scleroderma</i> sp.	BRASIL. RIO GRANDE DO SUL: Cachoeira do Sul, Paralelo 30 Sul Agropecuária, 10 mai. 2016, M.A. Sulzbacher 491.
<i>Scleroderma bovista</i> Fr.	BRASIL. RIO GRANDE DO SUL: Cachoeira do Sul, Paralelo 30 Sul Agropecuária, 13 abr. 2016, M.A. Sulzbacher 470.

Em que: <sup>1</sup> Classificação dos fungos ectomicorrízicos com base nas estruturas reprodutivas.

Dentre estes estudos, já é possível afirmar que alguns fungos ECM encontrados em plantações de noqueira-pecã no Rio Grande do Sul são originários do Hemisfério Sul (Austrália e Nova Zelândia) e outros do Hemisfério Norte (Europa e América do Norte), onde são comumente encontrados associados às raízes das plantas dos gêneros *Eucalyptus*, *Pinus*, *Quercus* e *Abies*, os quais não ocorrem naturalmente nas florestas do Brasil (SULZBACHER *et al.*, 2013b). Exemplo disto são os fungos dos gêneros *Hymenogaster* (Figura 1h), *Inocybe* (Figura 1g), *Scleroderma* (Figura 1e), *Russula* (Figura 1d) e *Tuber* (Figuras 1b, c), encontrados nas plantações de noqueira-pecã do Rio Grande do Sul e nos Estados Unidos (BONITO; BRENNEMAN; VILGALYS, 2011; BONITO *et al.*, 2011; 2012) (Tabelas 1 e 2). Esta é uma evidência de que estes fungos micorrízicos provavelmente foram introduzidos no Brasil associados ao sistema radicular e/ou ao solo rizosférico de mudas trazidas pelos imigrantes ou por empresas do setor florestal.

Dos recentes estudos nas plantações de noqueira-pecã do Rio Grande do Sul, também se observou que os fungos epígeos dos gêneros *Astraeus* sp., *Scleroderma* (*Scleroderma bovista* e *Scleroderma verrucosum*) e *Pisolithus* (*Pisolithus arhizus*) produzem frutificações após períodos de elevada precipitação pluviométrica, especialmente durante os meses de março a setembro. E também foram coletadas espécies hipógeas dos gêneros *Hymenogaster* sp. e *Tuber* sp. (Figura 1, Tabela 2), que fazem parte de uma comunidade fúngica ainda pouco conhecida no Brasil, e que podem representar espécies de interesse econômico, em especial do gênero *Tuber* na truficultura.

Destaca-se que nossos estudos demonstraram a presença do gênero *Tuber* no Brasil, um fungo Ascomycota, da ordem Pezizales e família Tuberaceae (BONITO *et al.*, 2010). As espécies deste gênero formam simbioses ectomicorrízicas com espécies arbóreas, principalmente das

famílias *Fagaceae* e *Juglandaceae* (SMITH; READ, 2008). O gênero *Tuber* apresenta uma distribuição cosmopolita, incluindo espécies hipógeas e comestíveis, muitas delas raras e cobiçadas pelo seu aroma e sabor, popularmente denominadas de trufas.

Estas descobertas somente reforçam a necessidade de novos levantamentos e de estudos taxonômicos de fungos micorrízicos nas plantações de noqueira-pecã no Brasil, seguido de estudos aplicados que avaliem a eficiência da formação e do funcionamento da associação simbiótica e sua relação com o crescimento das plantas. Contribuem para esta necessidade os estudos recentes que vêm demonstrando que fungos ECM são mais comuns que se imaginava em outras espécies arbóreas da América do Sul (BÂ *et al.*, 2012; HENKEL *et al.*, 2012; SULZBACHER *et al.*, 2013a; 2017; ROY *et al.*, 2016; SULZBACHER *et al.* 2017). Entre os fungos ECM ocorrentes nos pomares de noqueira-pecã do RS estão as verdadeiras trufas, fungos subterrâneos que quando maduros possuem um aroma muito apreciado na gastronomia (SULZBACHER *et al.*, 2017). Estes pomares apresentam condições adequadas para o crescimento deste fungo, desencadeando uma concreta possibilidade para o desenvolvimento da truficultura, com o fungo sendo um simbiote no manejo tradicional voltado para a produção da noz, ou em um manejo direcionado principalmente para a produção das trufas.

### Importância ecológica das trufas

As trufas são fungos hipógeos que formam simbiose mutualística ectomicorrízica, ou seja, produzem estruturas reprodutivas abaixo da superfície do solo em associação com o sistema radicular das plantas. Quando um fungo é epígeo, ele produz estruturas reprodutivas acima do solo e a dispersão dos esporos ou de seus propágulos ocorre principalmente pela ação do vento e da água da chuva. Quando o fungo é hipógeo, a dispersão dos seus esporos depende da atividade de animais micófitos (artrópodes, gastrópodes, pequenos mamíferos, etc.), (CASTELLANO; TRAPPE; LUOMA, 2004). Em uma determinada época do ano, quando os esporos estão plenamente desenvolvidos, as estruturas reprodutivas hipógeas (trufas) produzem compostos aromáticos muito atrativos, visando “aliciar” uma grande diversidade de animais, que ao se alimentarem acabam por dispersar os esporos do fungo através de suas fezes (SULZBACHER *et al.*, 2017).

Além de todos os benefícios resultantes das associações micorrízicas para o ecossistema, já destacadas neste texto, este é mais um exemplo da grande importância ecológica destes fungos ectomicorrízicos, principalmente para a manutenção dos ecossistemas e da biodiversidade do solo. Assim como, demonstra a importância dos microrganismos servindo como um elo fundamental entre o reino vegetal e animal no estabelecimento da cadeia trófica. Graças ao estabelecimento da simbiose micorrízica e ao fornecimento dos fotoassimilados pela planta, os fungos podem produzir uma significativa biomassa microbiana subterrânea, a qual serve de alimento para diversos animais do solo. Desta relação estabelecem-se benefícios a todos os envolvidos. A planta é melhor nutrida pelo aumento da absorção de água e nutrientes devido à presença do fungo simbiote. O fungo nutre-se de grande quantidade de fotoassimilados fornecidos pela planta e graças a isto poderá produzir elevada biomassa, o que os torna atrativo aos animais e com isto poderá ser disseminado no ambiente. Os animais, por sua vez, se alimentarão de grande quantidade de uma biomassa fúngica altamente nutritiva. Nas associações ectomicorrízicas as células fúngicas não penetram na parede celular das raízes das plantas, mas distribuem-se no espaço intercelular, formando uma malha na epiderme e córtex da raiz, denominada de Rede de Hartig (SMITH; READ, 2008). Além disso, formam um revestimento externo na raiz, derivado desta rede, o qual recebe o nome de manto. Os fungos simbiotes estendem suas hifas da raiz para o solo, pelo micélio externo, formando as rizomorfas, que funcionam como raízes auxiliares da planta, possibilitando a exploração de maior volume de solo, aumentando a absorção de nutrientes e água (PETERSON; MASSICOTTE; MELVILLE, 2004). Um conjunto de hifas forma o micélio, que é a fase somática das trufas. Na fase sexuada, é que se forma a trufa, estrutura reprodutiva, cientificamente denominada de ascoma. Vários fatores podem influenciar na esporulação destes fungos, como temperatura, umidade, clima, tipo de solo, tipo de simbiote, etc. Estudos envolvendo as fases somáticas e sexuadas destes fungos ainda são raros no Brasil.

## Perspectivas para a truficultura no Brasil

A truficultura é o ramo da agricultura que se dedica ao cultivo do fungo hipógeo do gênero *Tuber*, com o principal objetivo de produzir trufas para a alimentação humana. O relato inédito da presença das trufas verdadeiras do gênero *Tuber* nas plantações de noqueira-pecã do Brasil possibilita intensificar o estudo deste grupo de fungos, inclusive visando a exploração comercial das trufas. Esta perspectiva se baseia em estudos internacionais recentes, que demonstraram que as espécies do gênero *Tuber* podem ser frequentes nas plantações comerciais da noqueira-pecã (BONITO; BRENNEMAN; VILGALYS, 2011; BONITO *et al.*, 2011; 2012; GE *et al.*, 2017). Nos Estados Unidos, a espécie *Tuber lyonii* (“trufa-da-pecã”) ocorre frequentemente associada com a noqueira-pecã assim como com outras espécies florestais dos gêneros *Corylus*, *Quercus* e *Tilia* (TRAPPE; JUMPPONEN; CAZARES, 1996; BRUHN, 2007). *Tuber lyonii* é uma das espécies mais frequentes nos pomares de noqueira-pecã naquele país. A estação de coleta desta trufa nos Estados Unidos ocorre de agosto a outubro e destinada para fins culinários (SMITH *et al.*, 2012).

No Brasil, os estudos sobre a diversidade de fungos ectomicorrízicos associados às espécies florestais são incipientes (SULZBACHER *et al.*, 2013a; 2013b; SULZBACHER *et al.*, 2017). As pesquisas realizadas até o momento apontam que os fungos do gênero *Tuber* não ocorrem nas raízes florestais de fragmentos nativos, sugerindo que o cultivo de trufas em plantações de noqueira-pecã não venha a ser um sistema invasivo em fragmentos florestais nativos (BECERRA; ZAK, 2011). Além disto, as espécies de trufas do gênero *Tuber*, bem como os demais gêneros da família Tuberaceae, são fungos essencialmente ectomicorrízicos, e até onde se sabe, nenhum destes gêneros apresentam outra forma trófica de vida, isto é, não ocorrem espécies saprofíticas ou endofíticas na família. Porém, mais estudos fazem-se necessários para que se obtenham resultados mais conclusivos sobre este assunto, especialmente na região sul do Brasil.

O refinado aroma das trufas tornou os fungos do gênero *Tuber* uma iguaria gastronômica muito apreciada globalmente. Além disto, são raros e de difícil coleta. Por estes motivos, o valor do quilo de trufa varia de 50 a 5.000 euros nos mercados europeus, de acordo com a época, espécie do fungo e a qualidade do produto. Para a coleta, tradicionalmente utilizam-se cães e suínos treinados, pois estes possuem a capacidade de farejar as trufas, permitindo que se realize a primeira trufa coletada em 2009 (REYNA; GARCIA-BARREDA, 2014). Na Argentina, as primeiras mudas foram produzidas e inoculadas com a espécie *Tuber melanosporum* no ano de 2008, e implementadas em pomares no ano de 2010 (REYNA; GARCIA-BARREDA, 2014). Esta atividade tem recebido especial atenção dos pesquisadores florestais, com perspectivas de crescimento significativo nos próximos anos, uma vez que a produção no Hemisfério Sul ocorre na entressafra da produção europeia e a trufa atinge alto valor no principal mercado consumidor.

No ano de 2016, uma espécie inédita para a ciência de trufa do gênero *Tuber* foi encontrada nos pomares de noqueira-pecã do Rio Grande do Sul (Figuras 1 a, b, c). Esta trufa pertence a um grupo de fungo originário da América do Norte (principalmente Flórida e Geórgia) (GRUPE *et al.*, 2018) e produz estruturas reprodutivas de menor diâmetro (atingindo 5 cm) se comparada às espécies da Europa (*Tuber aestivum*, *Tuber melanosporum*), entretanto, com um aroma muito agradável. Quando madura, situação em que o interior da trufa apresenta-se de coloração marrom, o aroma remete ao das nozes.

Apenas as trufas maduras possuem interesse e valor na culinária, pois as trufas imaturas não apresentam o odor característico e não devem ser retiradas do solo (CASTELLANO; TRAPPE; LUOMA, 2004). Os seres humanos não possuem a capacidade olfativa para localizar as trufas abaixo do solo, diferentemente de alguns animais. Nos locais onde ocorrem trufas, faz-se uso de ferramentas de jardinagem, como ancinho ou rastelo para acessar as estruturas reprodutivas no interior do solo. Uma observação com muita atenção deve ser feita no revolvimento da camada superficial de solo, para que eventuais trufas sejam visualizadas e coletadas. Porém, este método é agressivo ao micélio e prejudica o seu desenvolvimento, acarretando perda na produção de trufas ao longo dos anos, o que leva também a uma mistura de trufas maduras e imaturas (sem valor comercial). O revolvimento da camada superficial de solo não é recomendado, chegando a ser proibido em alguns países (MORENO-ARROYO; GÓMEZ; PULIDO, 2005). Para a correta localização e coleta das trufas, faz-se necessário o uso de cães treinados, como ocorre em países da Europa e nos Estados Unidos. Estes animais irão remover apenas o solo sobre as trufas maduras, deixando as imaturas intactas, o que não prejudicará o desenvolvimento futuro das mesmas.

A Tabela 3 apresenta os requisitos mínimos necessários para o cultivo da noqueira-pecã e da trufa, caracterizando as exigências edafoclimáticas e nutricionais. É importante utilizar um sistema de cultivo que resulte no sucesso de ambas as culturas. Na Tabela 3 é possível verificar que as exigências da noqueira-

pecã e das espécies de trufas (*Tuber aestivum*, *Tuber borchii* e *Tuber melanosporum*) são semelhantes em relação à maioria das condições edafoclimáticas. Desta forma, existem condições mínimas adequadas para o desenvolvimento da trufa e da noqueira-pecã na região sul do Brasil, o que pode se constituir em uma nova fonte de renda para o produtor. O que se destaca é a necessidade de um manejo diferenciado em relação a fertilizantes e agrotóxicos, pois a planta, neste caso, deve ser tratada como parte da produção, sendo a trufa o produto final.

**Tabela 3 – Relação das condições edáficas e climáticas para o desenvolvimento da noqueira-pecã e das trufas**

Table 3 – Effect of edaphic and climatic conditions on the development of pecan trees and truffles

Fator	Noqueira-pecã	Trufa <sup>1</sup>		
		<i>Tuber melanosporum</i>	<i>Tuber aestivum</i>	<i>Tuber borchii</i>
Precipitação anual	Mínimo de 1.300 (FRONZA <i>et al.</i> , 2018)	600-900 (GIOVANNETTI <i>et al.</i> , 1994)	>600 (CHEVALIER; FROCHOT, 2002)	600-1.600 (HALL; BROWN; ZAMBONELLI, 2007)
Temperatura do ar °C	23°C – 29°C na primavera/verão (WOLSTENHOLME, 2012)	17°C – 22°C (25°C) no verão (HALL; BROWN; ZAMBONELLI, 2007) > 0°C no inverno (HALL; BROWN; ZAMBONELLI 2007)	-	-
Solo	Franco-argiloso	Neossolos Litólicos (HALL; BROWN; ZAMBONELLI, 2007)	Neossolos Flúvicos, Neossolos Litólicos (CHEVALIER; FROCHOT, 2002)	Solo arenoso (RIOUSSET <i>et al.</i> , 2001)
Profundidade	≥ 1 m (PARKER <i>et al.</i> , 2016)	> 10cm	> 10cm	> 10cm
Matéria orgânica	Mínimo 2%	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Disponibilidade de Ca	Alta	Muito Alto	Moderado a alto	Alta
Disponibilidade de P	Moderada	Baixo a moderado	Variável (baixo a alto)	-
Disponibilidade de N	Moderada	Baixo	Baixo a moderado	Baixo
Relação C/N	Não se aplica	8,57 – 13,7 (CHEVALIER; FROCHOT, 2002)	8,43 – 20,40 (CHEVALIER; FROCHOT, 2002)	-
Drenagem	Boa (HERRERA, 1999; WELLS, 2012)	Boa	Boa	-
Aeração	Boa	Boa	Boa	Moderado
pH mínimo	6,0 (WELLS, 2013)	7,2 – 8,3 (HALL; BROWN; ZAMBONELLI, 2007)	6,6 – 8,4 (CHEVALIER; FROCHOT, 2002)	(5,2) 6,5 – 7,8 (HALL; BROWN; ZAMBONELLI, 2007)
pH ótimo	6,5 (WELLS, 2013)	7,5 (RIOUSSET <i>et al.</i> , 2001)	7,0 (CHEVALIER; FROCHOT, 2002)	7,4 (GARDIN, 2005)

## Considerações finais

As condições edafoclimáticas dos pomares de noqueira-pecã no Sul do Brasil favorecem o desenvolvimento de fungos ectomicorrízicos, os quais aumentam o crescimento das plantas e realizam diversos serviços ecossistêmicos. A diversidade de fungos ectomicorrízicos nesses agroecossistemas deve aumentar quando mais estudos forem realizados. Em plantações de noqueira-pecã já se identificaram fungos que poderiam servir como inoculantes micorrízicos para a produção de mudas de noqueira-pecã, com destaque para os gêneros fúngicos *Pisolithus* e *Scleroderma*.

O primeiro relato da ocorrência das trufas verdadeiras do gênero *Tuber* em simbiose com a noqueira-pecã no Rio Grande do Sul aumenta a possibilidade da realização de mais pesquisas sobre o estímulo ao crescimento das plantas e a exploração econômica da truficultura, que pode representar uma fonte de renda extra aos produtores, pois a truficultura não prejudica a produção da noz-pecã.

## Agradecimentos

Os autores expressam seus agradecimentos aos proprietários dos pomares de noqueira-pecã por permitirem a coleta dos fungos. Este trabalho foi apoiado financeiramente pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Os autores também agradecem ao Colégio Politécnico, ao Departamento de Solos e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Santa Maria, pela infraestrutura e apoio financeiro.

## Referências

- AGUIAR, L. **Imigrantes norte-americanos no Brasil: mito e realidade**, o caso de Santa Bárbara. 2009. 150 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Econômicas) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.
- BÂ, A. M. *et al.* Ectomycorrhizal symbiosis of tropical African trees. **Mycorrhiza**, Berlin, v. 22, n. 1, p. 1-29, 2012. doi 10.1007/s00572-011-0415-x
- BECERRA, A. G.; ZAK, M. R. The ectomycorrhizal symbiosis in South America: morphology, colonization, and diversity. In: MAHENDRA, R.; AJIT, V. (Ed.). **Diversity and biotechnology of ectomycorrhizae**. Berlin: Springer, 2011. p. 19-41.
- BENUCCI, G. M. N. *et al.* Mycorrhization of Pecan trees (*Carya illinoensis*) with commercial truffle species: *Tuber aestivum* Vittad. and *Tuber borchii* Vittad. **Mycorrhiza**, Berlin, v. 22, n. 5, p. 383-392, 2012. doi: 10.1007/s00572-011-0413-z
- BONITO, G.; BRENNEMAN, T.; VILGALYS, R. Ectomycorrhizal fungal diversity in orchards of cultivated pecan (*Carya illinoensis*; Juglandaceae). **Mycorrhiza**, Berlin, v. 21, n. 7, p. 601-612, 2011. doi: 10.1007/s00572-011-0368-0
- BONITO, G. *et al.* Assessing ectomycorrhizal fungal spore banks of truffle producing soils with pecan seedling trap-plants. **Plant Soil**, Australia, v. 356, n. 1, p. 357-366, 2012. doi: 10.1007/s11104-012-1127-5
- BONITO, G. *et al.* The Asian black truffle *Tuber indicum* can form ectomycorrhizas with North American host plants and complete its life cycle in non-native soils. **Fungal Ecology**, London, v. 4, n. 1, p. 83-93, 2011. doi: 10.1016/j.funeco.2010.08.003

- BONITO, G. *et al.* A global meta-analysis of *Tuber* ITS rDNA sequences: species diversity, host associations and long-distance dispersal. **Molecular Ecology**, Austin, v. 19, n. 22, p. 4994-5008, 2010. doi: 10.1111/j.1365-294X.2010.04855.x
- BRASIL. **Lei nº 5.106, de 2 de setembro de 1966.** Dispõe sobre os incentivos fiscais concedidos a empreendimentos florestais. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/Ccivil\\_03/leis/1950-1969/L5106.htm](http://www.planalto.gov.br/Ccivil_03/leis/1950-1969/L5106.htm)>.
- BRUNDRETT, M. C. *et al.* **Working with mycorrhizas in forestry and agriculture.** Canberra: ACIAR, 1996. 380 p.
- BRUHN, J. N. How widespread is the pecan truffle (Texas truffle)? **Pecan Grower**, [S.l.], v. 18, n. 4, p. 50-51, 2007.
- CAIRNEY, J. W. G.; CHAMBERS, S. M. **Ectomycorrhizal fungi: key genera in profile.** Berlin: Springer, 1999. 369 p.
- CASTELLANO, M. A.; TRAPPE, J. M.; LUOMA, D. L. Sequestrate Fungi. In: MUELLER, G. M.; BILLS, G. F.; FOSTER, M. S. (Ed.). **Biodiversity of fungi. Inventory and monitoring methods.** Boston: Elsevier, 2004. v. 1. p. 197-213.
- CHEVALIER, G.; FROCHOT, H. **La truffe de Bourgogne.** Pétrarque: Levallois-Perret, 2002. 257 p.
- FRONZA, D. *et al.* Pecan cultivation: general aspects. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 48, n. 2, p. 1-9, 2018. doi: 10.1590/0103-8478cr20170179
- GARDIN L. **I tartufi minori della Toscana, gli ambienti di crescita dei tartufi marzuolo e scorzone.** Toscana: ARSIA, 2005. 55 p.
- GE, Z. W. *et al.* Soil pH and mineral nutrients strongly influence truffles and other ectomycorrhizal fungi associated with commercial pecans (*Carya illinoensis*). **Plant and Soil**, The Hague, v. 13, p. 1-14, 2017.
- GIOVANNETTI, G. *et al.* Truffles and their cultivation. **Horticultural Reviews**, New York, v. 16, p. 71-107, 1994.
- GRUPE, A. C. *et al.* *Tuber brennemanii* and *Tuber floridanum*: two new *Tuber* species (Pezizales, Ascomycota) are among the most commonly detected ectomycorrhizal taxa within commercial pecan (*Carya illinoensis*) orchards. **Mycologia**, New York, v. 110, n. 4, p. 780-790, 2018. doi: 10.1080/00275514.2018.1490121
- HALL, I. R.; BROWN, G.; ZAMBONELLI, A. **Taming the truffle: the history, lore, and science of the ultimate mushroom.** Portland: Timber Press, 2007. 304 p.
- HANLIN, R. T.; WU, M.; BRENNEMAN, T. B. The occurrence of *Tuber texense* in Georgia. **Mycotaxon**, Ithaca, v. 34, n. 1, p. 387-394, 1989.
- HEIMSCH, C. The first recorded truffle from Texas. **Mycologia**, Oregon, v. 50, n. 5, p. 657-660, 1958.
- HENKEL, T. W. *et al.* Ectomycorrhizal fungal sporocarp diversity and discovery of new taxa in *Dicymbe monodominat* forests of the Guiana Shield. **Biodiversity and Conservation**, Spain, v. 21, n. 9, p. 2195-2220, 2012. doi: 10.1007/s10531-011-0166-1
- HERRERA, E. **Selecting soil and Site for a Pecan Orchard.** New Mexico: New Mexico State University, 1999.
- IBGE. **Produção agrícola municipal.** 2018. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1613#resultado>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

- LEAKE, J. R. *et al.* Networks of power and influence: the role of mycorrhizal mycelium in controlling plant communities and agroecosystem functioning. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 82, n. 8, p. 1016-1045, 2004.
- MOLINA, R.; MASSICOTE, H.; TRAPPE, J. M. Specificity phenomena in mycorrhizal symbiosis: community-ecological consequences and practical implications. In: ALLEN, M. F. (Ed.). **Mycorrhizal functioning**: an integrative plant-fungal process. New York: Chapman and Hall, 1992. p. 357-423.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729 p.
- MORENO-ARROYO, B.; GÓMEZ, J.; PULIDO, E. **Tesoros de nuestros montes. Trufas de Andalucía**. Córdoba: Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, 2005. 352 p.
- PARKER, M. *et al.* **Growing Pecans in North Carolina**. North Carolina: North Carolina State University, 2016. 20 p.
- PEGLER, D. N.; SPOONER, B. M.; YOUNG, T. W. K. **British truffles**: a revision of british hypogeous fungi. London: Kew Publishing, 1993. 216 p.
- PETERSON, R. L.; MASSICOTTE, H. B.; MELVILLE, L. H. **Mycorrhizas**: anatomy and cell biology. Ottawa: NRC Research, 2004. 173 p.
- RASEIRA, A. **A cultura da noqueira-pecã (*Carya illinoensis*)**. Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 1990. 3 p. (Comunicado Técnico, 63).
- REYNA, S.; GARCIA-BARREDA, S. Black truffle cultivation: a global reality. **Forest Systems**, Spain, v. 23, n. 2, p. 317-328, 2014. doi: 10.5424/fs/2014232-04771
- RIBEIRO J. J. O. **Isolamento e caracterização de ectomicorrizas em Nogueira Pecã**. 2001. 31 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.
- RILLIG, M. C.; MUMMEY, D. L. Tansley review: mycorrhizas and soil structure. **New Phytologist**, United Kingdom, v. 171, n. 1, p. 41-53, 2006. doi: 10.1111/j.1469-8137.2006.01750.x
- RINALDI, A. C.; COMADINI, O.; KUYPER, T. W. Ectomycorrhizal fungal diversity: separating the wheat from the chaff. **Fungal Diversity**, China, v. 33, p. 1-45, 2008.
- RIOUSSET, G. *et al.* **Truffe d'Europe et de Chine**. Paris: INRA, 2001.
- RODRIGUES, L. G. S. M.; GOI, S. R.; RODRIGUES, F. M. Associação micorrízica como uma estratégia para o estabelecimento de espécies em áreas impactadas. **Journal of Bioenergy and Food Science**, Macapá, v. 1, n. 1, p. 7-16, 2014.
- ROY, M. *et al.* Diversity and Distribution of Ectomycorrhizal Fungi from Amazonian Lowland White-sand Forests in Brazil and French Guiana. **Biotropica**, Florida, v. 48, n. 1, p. 90-100, 2016. doi: 10.1111/btp.12297
- SAVOIE, J. M.; LARGETEAU, M. L. Production of edible mushrooms in forests: trends in development of a mycosilviculture. **Applied Microbiology and Biotechnology**, California, v. 89, n. 4, p. 971-979, 2011. doi: 10.1007/s00253-010-3022-4.
- SILVA, R. F.; ANTONIOLLI, Z. I.; ANDREAZZA, R. Efeito da Inoculação com fungos ectomicorrízicos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill. ex. Maiden, em solo arenoso. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 33-42, 2003.
- SMITH, M. *et al.* Pecan truffles (*Tuber lyonii*) what we know and what we need to know. **Georgia Pecan Mag Spring**, [S.l.], v. 1, p. 52-59, 2012.
- SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. 3th ed. San Diego: Academic Press, 2008. 787 p.

- SPARKS, D. Adaptability of Pecan as a Species. **HortScience**, Ohio, v. 40, n. 5, p. 1175–1189, 2005.
- SULZBACHER, M. A. *et al.* A survey of an ectotrophic sand dune forest in the northeast Brazil. **Mycosphere**, China, v. 4, n. 6, p. 1106-1116, 2013a. doi: 10.5943/mycosphere/4/6/8
- SULZBACHER, M. A. *et al.* Ectomycorrhizal fungi from southern Brazil – a literature-based review, their origin and potential hosts. **Mycosphere**, China, v. 4, n. 1, p. 61-95, 2013b. doi: 10.5943/mycosphere/4/1/5
- SULZBACHER, M. A. *et al.* Hypogeous sequestrate fungi in South America – how well do we know them? **Symbiosis**, Florida, v. 71, n. 1, p. 9-17, 2017. doi: 10.1007/s13199-016-0461-4
- TEDERSOO, L.; MAY, T. W.; SMITH, M. E. Ectomycorrhizal lifestyle in fungi: global diversity, distribution, and evolution of phylogenetic lineages. **Mycorrhiza**, Berlin, v. 20, n. 4, p. 217-263, 2010. doi: 10.1007/s00572-009-0274-x
- TRAPPE, J. M.; JUMPPONEN, A. M.; CAZARES, E. NATS truffle and truffle-like fungi 5: *Tuber lyonii* (= *T. texense*), with a key to the spiny-spored *Tuber* species groups. **Mycotaxon**, Ithaca, v. 60, n. 1, p. 365-372, 1996.
- VAN DER HEIJDEN, M. G. A. *et al.* Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. **New Phytologist**, United Kingdom, v. 205, n. 4, p. 1406-1423, 2015. doi: 10.1111/nph.13288
- WAKELING, L. T. *et al.* Composition of pecan cultivars Wichita and Western Schley [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koh] grown in Australia. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 49, n. 3, p. 1277-1281, 2001.
- WEHT, C. B.; OLIVEIRA, V. L.; BONNASSIS, P. A. P. Ecto y endomicorrizas en nogal pecan (*Carya illinoensis* Wang. K. Koch) en el sur de Brasil. In: FERTBIO. Santa Maria: SBCS; SBM; UFSM, 2000. p. 121.
- WELLS, L. **Establishing a Pecan Orchard**. Georgia: The University of Georgia, 2012. (Bulletin, 2012). 1314 p.
- WELLS, L. **Southeastern Pecan Growers' Handbook**. Georgia: University of Georgia, 2013. 236 p.
- WOLSTENHOLME, B. N. Climate. In: STEIN, L. A. *et al.* **Texas Pecan Handbook**. College Station: AgriLife Extension Service, 2012. p. 199.