

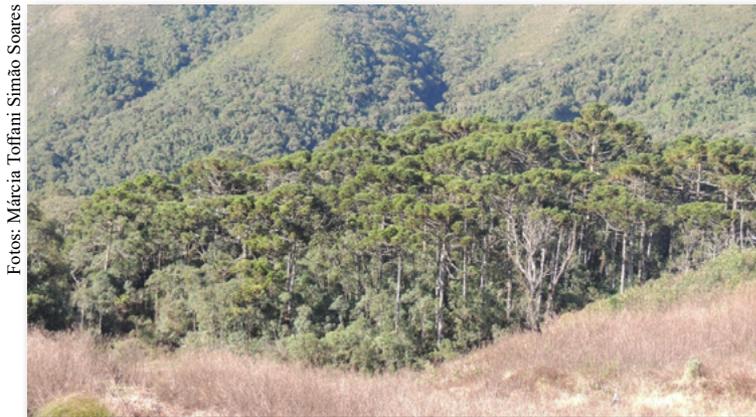
6

Atributos dos solos em Florestas com Araucária

Márcia Toffani Simão Soares
Itamar Antônio Bognola
Krisle da Silva
George Gardner Brown
Antônio Francisco Jurado Bellote
Celso Garcia Auer
Ananda Virgínia de Aguiar
João Bosco Vasconcellos Gomes

Introdução

A área de abrangência natural das Florestas com Araucária apresentou fundamental importância para o desenvolvimento do setor florestal no Brasil, tendo sido, até a década de 1970, o principal polo produtor madeireiro do País. A intensa atividade madeireira da região foi iniciada por volta da década de 1870, no Planalto de Curitiba (Figura 1), com base na exploração das reservas nativas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. Na época, a araucária constituía-se na principal espécie madeirável do País, devido à abundância de suas reservas naturais, pela reconhecida qualidade da madeira e pela grande demanda dos mercados interno e externo (Carvalho; Nodari, 2010).



Fotos: Márcia Toffiani Simão Soares

Figura 1. População natural em ambiente altimontano, Parque Nacional do Itatiaia, na divisa entre Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro.

Com o esgotamento das reservas naturais a partir de 1940, surgiram as iniciativas voltadas ao “reflorestamento” da espécie, com o estabelecimento de monocultivos (Carvalho; Nodari, 2010). Todavia, o elevado custo inicial para a implantação dos povoamentos (Fupef, 1978) e o conhecimento insuficiente acerca dos requisitos de sítio para o bom desenvolvimento da cultura culminaram em resultados insatisfatórios de muitas destas iniciativas (Hoogh; Dietrich, 1979), resultando em uma fraca difusão da atividade entre as empresas de base florestal que, como consequência, priorizaram o plantio de espécies exóticas.

Informações que subsidiem uma criteriosa seleção de sítios e a definição de práticas silviculturais poderão ampliar as chances de sucesso ao estabelecimento de sistemas de produção com uso da espécie, bem como o alcance de uma produtividade sustentável sob o aspecto econômico, social e ambiental, especialmente em áreas acidentadas, caracterizadas pela fragilidade e baixa resiliência a intervenções antrópicas não planejadas.

O presente capítulo apresenta uma síntese dos principais parâmetros edáficos relacionados à ocorrência e ao desenvolvimento da araucária, considerando os atributos morfológicos, físico-hídricos, químicos e biológicos do solo. As informações aqui levantadas visam orientar pautas de pesquisa e inovação relativas à relação espécie-ambiente, com foco no potencial de produção de madeira e subprodutos, concomitante à conservação da integridade e resiliência de suas populações.



Atributos físico-hídricos e morfológicos do solo

As populações naturais da araucária (Figura 1) possuem área de abrangência potencial compreendida entre 29 e 37 milhões de ha (Wrege et al., 2017), distribuídas sobre ampla gama de classes de solos (Silva et al., 2001), desde os menos férteis, como os derivados do arenito, até os mais férteis derivados do basalto. É conhecida a exigência da espécie quanto aos fatores relacionados às condições e atributos do solo, quando comparada a outras espécies florestais exóticas de rápido crescimento (Carvalho, 2003; Aquino, 2005; Koehler et al., 2010).

Documentos técnicos produzidos na década de 1970 apontaram que maiores produtividades em volume de madeira da espécie são geralmente obtidas em solos argilosos ou franco-argilosos, profundos, porosos, bem drenados e com boa capacidade de retenção de água (Golfari, 1970; Lassere et al., 1972; Hoogh; Dietrich, 1979). Embora muitas dessas observações sejam corroboradas por estudos conduzidos nas últimas décadas (Gerhardt et al., 2001; Silva et al., 2001; Santos et al., 2010; Marcondes et al., 2016), verifica-se também certa preocupação com a necessidade de ampliação dos esforços de pesquisa com foco na relação entre a espécie, atributos físico-hídricos e morfológicos do solo (Mósen; Dillenburg, 2004, Sampaio; Guarino, 2007; Korndörfer, 2007; Körndorfer et al., 2008). A compactação, a drenagem deficiente, a porosidade limitada e impedimentos mecânicos foram apontados como condições que podem prejudicar o desenvolvimento de raízes da espécie, em revisão realizada por Silva et al. (2001). Na região Sul do Brasil, onde fragmentos de Floresta Ombrófila Mista são frequentemente utilizados como áreas de pastoreio para bovinos, Sampaio e Guarino (2007) observaram que áreas sob alta intensidade de pastejo apresentam solos mais compactados quando comparados aos solos de áreas sob baixa intensidade. Segundo os autores, a compactação poderia influenciar negativamente a germinação de sementes e o estabelecimento de plântulas no campo. Mósen e Dillenburg (2004), ao avaliarem o desenvolvimento inicial da espécie sob compactação e estresse hídrico, verificaram alteração da morfologia radicular e restrições ao crescimento da araucária submetida a estes dois fatores estressores. Para espécies exóticas, em sistemas intensivos de manejo, são conhecidos tanto os benefícios como os impactos relacionados à mecanização florestal, com implicações na porosidade, na densidade e na compactação (Szymczak et al., 2014; Sampietro et al., 2015) do solo. Os resultados referentes à mecanização em sistemas com araucária são, todavia, restritos e focados essencialmente nos aspectos operacionais (Gerhardt; Sá, 2017).

Quanto aos parâmetros morfológicos do solo, Marcondes et al. (2016) relacionam a distribuição de populações nativas da espécie no Paraná à ocorrência de solos profundos, predominantemente. Nestas condições são favorecidas a maior retenção de umidade no solo, desejável para a espécie conforme enfatizam Golfari (1970) e Lassere et al. (1972). A profundidade do horizonte A do solo também foi apontado por Van der Vliet (1958), Reissmann et al. (1987) e Fernandez (1989) como um atributo de significativa importância para o desenvolvimento da espécie, fato que pode ser atribuído aos benefícios da matéria orgânica concentrada nesta camada, muitas vezes associada a condições menos favoráveis àquela de oxidação das frações de carbono do solo. O lençol freático raso, por outro lado, é apontado por Bolfoni et al. (1980) como uma condição que pode prejudicar o desenvolvimento de raízes da espécie.

Gerhardt et al. (2001), na tentativa de classificarem sítios de produção na Floresta Nacional de Canela, RS, verificaram que, nas planícies e partes inferiores de encostas com solos profundos, siltosos ou arenosos, e com altos teores de cálcio na serapilheira, ocorreram maiores incrementos médios anuais em altura das árvores. Santos et al. (2010), em um teste de procedências de araucária no município de Rio Negro, PR, também verificaram que os parâmetros morfológicos do



solo podem explicar, em média, 41,6% da variação de parâmetros dendrométricos. Neste estudo, os autores consideraram sítios de pior qualidade áreas com declividade superior a 10%, solos com profundidade inferior a 1 m, com condições físicas (densidade, macroporosidade, granulometria) limitantes e pobres quimicamente.

Analogamente, com base no comportamento silvicultural da espécie em solos nas regiões bioclimáticas 1 e 2 do Paraná, Silva et al. (2001) classificaram como de menor potencial produtivo os Neossolos Litólicos, onde geralmente a soma dos horizontes sobre a rocha não ultrapassa 50 cm, estando associados geralmente a relevos mais declivosos (Tabela 1). Importante salientar que, neste estudo, a área avaliada foi pequena quando considerada a abrangência geográfica da espécie.

Tabela 1. Potencialidades para reflorestamento com *A. angustifolia* em solos dos municípios de Laranjeiras do Sul, Quedas do Iguaçu e Cascavel, Paraná¹.

Potencial produtivo	Classes de solo
Alto	Latossolos Vermelhos Distroférricos e Nitossolos Vermelhos Eutroférricos
Médio	Nitossolos Vermelhos Distroférricos e os Nitossolos Háplicos Distroférricos ou Eutroférricos
Baixo	Neossolos Litólicos Eutróficos
Sem aptidão	Gleissolos Háplicos

Fonte: Silva et al. (2001).

Em relação à adaptação da espécie em diferentes profundidades efetivas do solo, Korndörfer (2007) e Korndörfer et al. (2008) observaram que a araucária, durante os dez meses após transplante, possui capacidade de desenvolver um sistema radicular compensatório, com condições de ancorar e suprir a planta adequadamente com água e nutrientes sob condições de pouco espaço vertical para o enraizamento da raiz principal. Nos estágios mais avançados de desenvolvimento da espécie, a arquitetura do sistema radicular, do tipo pivotante, pode conferir restrições ao seu desenvolvimento em solos rasos (Silva et al., 2001; Puchalski et al., 2006). Gerhard et al. (2001) relatam que as raízes da espécie podem alcançar de 2-4 m de profundidade, todavia, é importante salientar a escassez de estudos relacionando profundidade de raízes e desenvolvimento das plantas, conforme apontado por Korndörfer et al. (2008). Para a seleção de plantas adaptadas às diferentes condições e estresses ambientais é importante considerar que a distribuição (Gonçalves; Mello, 2000), o desenvolvimento e a funcionalidade nutricional das raízes (Oliveira et al., 2006; Silva et al., 2007; Velmala et al., 2013) podem sofrer forte controle genético. Assim como pesquisas envolvendo espécies de interesse agrícola (Borriello et al., 2012; Rukundo et al., 2017; Wang; Qin, 2017), o uso de técnicas e ferramentas avançadas de análises, como marcadores moleculares e modelos genético-estatísticos, poderão contribuir significativamente com a estimativa da herdabilidade e controle destes caracteres, em estudos ecológicos e aplicados ao melhoramento genético.

Atributos químicos do solo e ambiente nutricional das Florestas com Araucária

Os relatos na literatura sobre a importância da fertilidade do solo para o desenvolvimento e a qualidade da madeira de araucária são verificados especialmente a partir da década de 1970 (Golfari, 1970; La Bastide; Van Goor, 1970; Simões; Couto, 1973; Simões et al., 1973; Dietrich,

1977; Golfari et al., 1978; Hoogh; Dietrich, 1979; Hoogh et al., 1980; Reissmann et al., 1987; Fernandez, 1989), com resultados apontando o melhor desempenho da espécie em plantios sobre solos recém-desmatados, com pH abaixo de 6,0 e condições físicas e morfológicas do solo conforme apresentado no item 2 deste capítulo. São ainda verificadas importantes contribuições ao estudo da essencialidade de macro nutrientes para o desenvolvimento das plantas (Simões; Couto, 1973), da relativa tolerância da espécie ao alumínio (Simões et al., 1973), da potencial necessidade da adoção do manejo químico do solo em plantios de áreas com baixa fertilidade (Hoogh et al., 1980) e da preocupação com o estabelecimento de uma abordagem multidisciplinar voltada à compreensão dos processos ecológicos envolvidos na dinâmica e no ambiente nutricional da espécie (Hoogh; Dietrich, 1979; Fernandez, 1989). Pesquisas mais recentes comparando diferentes condições ambientais e sistema de produção, com o auxílio de técnicas estatísticas multivariadas, têm ratificado algumas das informações obtidas no passado, bem como auxiliado no preenchimento das lacunas no conhecimento acerca do comportamento e do ambiente nutricional de populações naturais e implantadas, evidenciando, não obstante, a necessidade de estudos adicionais voltados ao seu manejo silvicultural (vide item 5 deste capítulo), que contemple as relações entre diversidade genética (Sebbenn et al., 2003a, 2003b, 2003c; Sebbenn et al., 2004; Silva, 2016; Machado, 2018; Moraes, 2017; Silva et al., 2018), atributos edafoclimáticos, demandas nutricionais em diferentes sistemas de produção (Figura 2) e os diferentes produtos ofertados pela espécie, com consequente ampliação de nichos de mercado.

Fotos: Ananda Virginia Aguiar (A, B), Márcia Toffani Simão Soares (C),
Guilherme de Castro Andrade (D), Antônio Francisco Jurado Bellote (E)



Figura 2. Diferentes aspectos da pesquisa com *Araucaria angustifolia*. Progenies de *Araucaria angustifolia* estabelecidas em sistema silvopastoril, em Ponta Grossa, PR (A), Curitiba, SC (B) e em Colombo, PR (C). Amostragem de tecido foliar (D) e discos (E), para avaliação do estado nutricional e do estoque de nutrientes na biomassa do tronco em Itapeva, SP.



Estudos realizados nas regiões Sul e Sudeste do Brasil evidenciam que as relações entre parâmetros químicos de solo e o desenvolvimento da espécie variam significativamente em função dos atributos e condições dos solos e do manejo estabelecido. Em um teste de procedências de araucária instalado no município de Rio Negro, PR, Santos et al. (2010) verificaram que o nitrogênio e o cálcio foram apontados como os nutrientes de maior importância ao desenvolvimento da espécie. Em diferentes condições ambientais do Rio Grande do Sul, a relação entre crescimento da espécie e parâmetros nutricionais foram estudados por Hoppe e Caldeira (2003a, 2003b), Hess (2006) e Hess et al. (2009). Em povoamentos de *A. angustifolia* com 29 anos de idade, estabelecidos na Floresta Nacional de Passo Fundo, RS, Hoppe e Caldeira (2003a, 2003b) verificaram correlação simples positiva entre a altura das árvores e os teores de Cu e B no tecido foliar das plantas e entre o incremento corrente do último ano (ICA) e os teores de N e de Al no solo.

Em fragmentos de floresta nativa do Planalto Catarinense, Minatti (2015) também registrou variações importantes dos parâmetros de solo em função da região estudada. Na região de São Joaquim, caracterizada por maiores altitudes, relevo forte ondulado e predominância da associação de Neossolos Litólicos e Cambissolos originados de rochas básicas da Formação Serra Geral, o autor relata incremento médio de 0,340 cm ano⁻¹, positivamente correlacionado com teores trocáveis de Ca, Al, soma de bases e matéria orgânica. Em Urupema, região caracterizada por relevo ondulado, ocorrência da associação de Cambissolos Húmicos + Neossolo Litólico + Nitossolo Bruno, e pelo maior incremento médio observado no estudo (0,686 cm ano⁻¹), o autor verificou correlação positiva desta variável com o pH, Mg trocáveis, matéria orgânica, carbono orgânico, P, K trocável e fração areia. Por fim, no município de Paineira, em região de relevo suave ondulado, ocorrência de Neossolos Litólicos + Cambissolos Háplicos e com incremento médio de 0,903 cm ano⁻¹, Minatti (2015) verificou correlação positiva apenas com a CTC efetiva. Em plantios estabelecidos em diferentes locais das regiões Sul e Sudeste do País, Iceri e Bellote (2008) também verificaram a exigência da espécie por P, K, Ca e Mg.

A ampla variação verificada nos diferentes estudos e o registro de resultados muitas vezes contraditórios entre si podem ser atribuídos à diversidade observada nas condições de clima e solo dos sistemas florestais estudados, bem como à variabilidade do material genético, idade da planta e práticas silviculturais adotadas. Sob o aspecto químico, os resultados obtidos até o presente momento apontam o importante papel desempenhado pela matéria orgânica do solo para a disponibilidade de nutrientes e para a nutrição da espécie, podendo colaborar, significativamente, para a compreensão e o manejo de diferentes ambientes nutricionais, em função do histórico de uso e da modalidade de plantio (puro ou consorciado) (Ilany et al., 2010; Bertini et al., 2015).

Dentre os inúmeros processos do solo nos quais a matéria orgânica está envolvida, sob o aspecto nutricional merece atenção a estreita relação com os potenciais de mineralização de nitrogênio, dependentes da quantidade e qualidade de material orgânico aportado ao solo (Gonçalves et al., 2001; Garbin et al., 2006), de sua labilidade ou recalcitrância (Liu et al., 2017), da atividade microbiana do solo e de variáveis climáticas (Liu et al., 2017), modificando a capacidade intrínseca de cada solo de fornecer N para as plantas (Yagi et al., 2009). Garbin et al. (2006), no domínio da Floresta Ombrófila Mista, no Parque Estadual de Campos do Jordão, SP, verificaram diferenças marcantes na forma de N mineral disponível no solo, em função da cobertura florestal, sendo o nitrato a principal forma de N na floresta de araucária nativa, e o amônio a principal forma de nitrogênio em áreas sob campo nativo e plantio de pinus. Quando sob fertilização nitrogenada, as respostas da planta verificadas em literatura são divergentes (Simões; Couto, 1973; Hoogh et al., 1980; Fernández et al., 2000; Martiarena et al., 2002), fato que reforça a importância de serem ampliados os estudos voltados ao manejo da fertilidade do solo, para o desenvolvimento da espécie.



Importância da microbiota do solo para a produção e qualidade ambiental das Florestas com Araucária

Os microrganismos do solo são de extrema importância para o funcionamento, regulação, manutenção e produtividade dos ecossistemas terrestres, estando relacionados a diversos processos ecológicos, tais como a formação de solos, a decomposição da matéria orgânica e a ciclagem de carbono e de nutrientes. Muitos microrganismos que habitam o solo interagem de forma mutualística com plantas, promovendo o desenvolvimento vegetal e auxiliando, além da nutrição vegetal, na indução da resistência sistêmica contra patógenos e estresses abióticos, ampliando desta forma as chances de sobrevivência das mudas no campo após transplante, entre outros aspectos positivos. O conhecimento dessa interação benéfica entre plantas e microrganismos é de grande importância para a sustentabilidade da produção vegetal, com potencial de ampliação da capacidade de resiliência dos agroecossistemas, concomitante à possibilidade de redução de impactos negativos relacionados ao uso e à dependência de insumos externos às propriedades rurais.

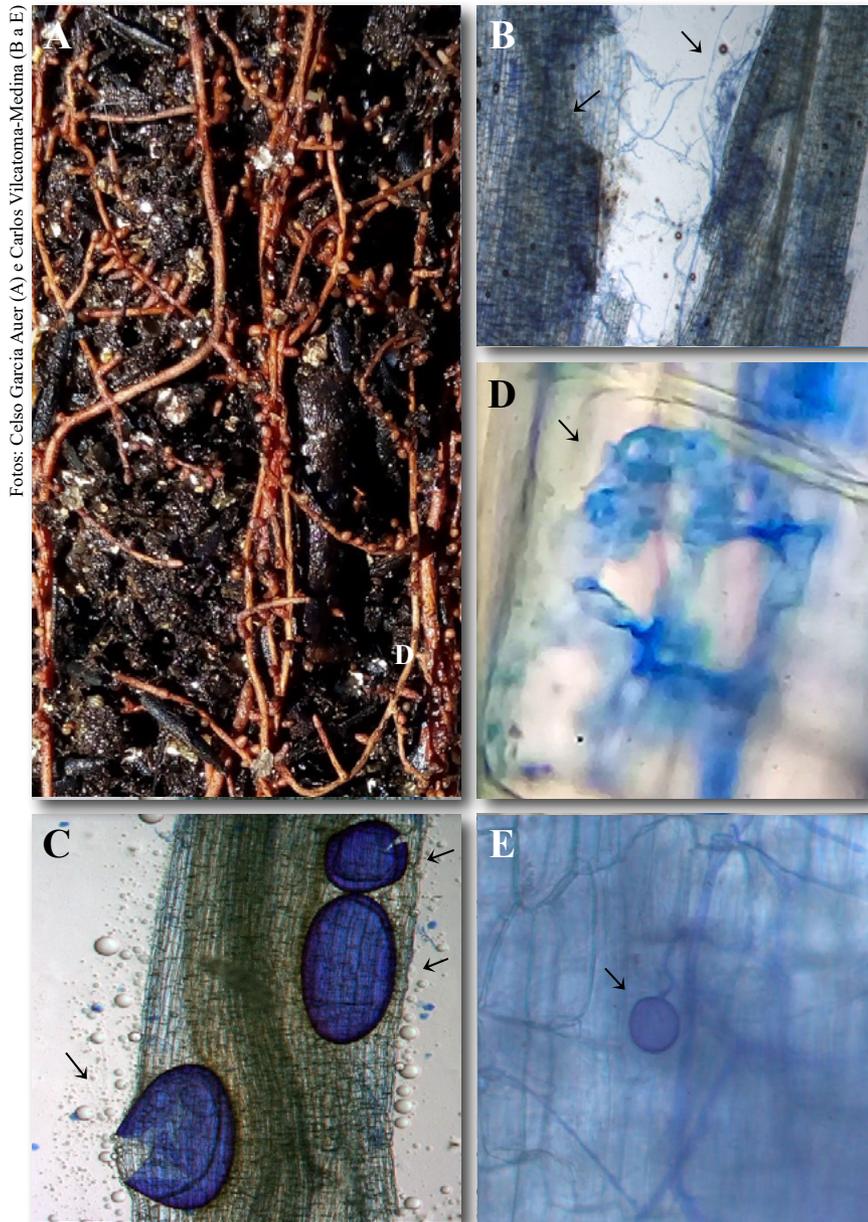
A utilização de microrganismos como promotores de crescimento tem demonstrado casos de sucesso em espécies produtoras de grãos, principalmente com as bactérias fixadoras de nitrogênio. Em áreas sob plantio florestal, entretanto, seu uso é escasso, embora seja relatada na literatura grande potencial de emprego voltado ao desenvolvimento de espécies arbóreas nativas e exóticas, especialmente na fase de produção de mudas (Silva et al., 2014, 2017; Monteiro et al., 2017; Soares et al., 2017). A araucária parece se beneficiar da associação com microrganismos do solo, principalmente com fungos micorrízicos (FM) e bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCP), conforme relatado a seguir.

Associação entre fungos micorrízicos e araucária

As raízes da araucária são altamente colonizadas por fungos micorrízicos arbusculares, denominados de FMA (Moreira et al., 2016), conforme a Figura 3. Estes fungos pertencem ao Filo *Glomeromycota*, Classe *Glomeromycetes* (Redecker et al., 2013), são asseptados, colonizando as células do córtex inter e intracelularmente (Figura 3B), formando esporos (Figura 3C), arbúsculos (Figura 3D) e em alguns grupos também são formadas as vesículas (Figura 3E) (Moreira; Siqueira, 2006). Os arbúsculos são os principais locais de troca de metabólitos, enquanto as vesículas são estruturas ricas em lipídeos com função, provavelmente, de armazenamento (Smith; Read, 1997).

Os FMs são biotróficos obrigatórios, propagando-se somente quando associados com raízes de plantas vivas (Moreira; Siqueira, 2006). Cerca de 80% das plantas terrestres formam simbioses com fungos micorrízicos (Schüßler et al., 2001), tendo papel importante em diversos processos ecológicos do solo, bem como para a sobrevivência, nutrição e resistência da planta a estresses bióticos e abióticos.

O primeiro relato sobre a ocorrência de FM em raízes de coníferas nativas foi publicado na década de 1950, quando foi observada a presença de estruturas fúngicas em cortes anatômicos de raízes de araucária (Milanez; Monteiro Neto, 1950; Oliveira; Ventura, 1952) e de *Podocarpus lambertii* (Oliveira; Ventura, 1952). Os gêneros mais comuns de FM em associação com *A. angustifolia* são *Glomus* e *Acaulospora* (Moreira et al., 2007a, 2007b, 2009, 2015; Zandavalli et al., 2008; Vilcatoma-Medina et al., 2018), sendo que quase 30 espécies de FM foram associadas à araucária, até o presente momento (Moreira et al., 2016).



Fotos: Celso Garcia Auer (A) e Carlos Vileloma-Medina (B a E)

Figura 3. Raízes de *Araucaria angustifolia* aos dois anos de idade, infectadas por fungos micorrízicos (A-D). Detalhes da colonização radicial por hifas (B), esporos (C), arbúsculo (D) e vesícula (E).

Os poucos estudos sobre a dependência ou eficiência micorrízica da espécie são promissores no tocante ao potencial uso de inoculante, especialmente para a produção de mudas (Moreira-Souza; Cardoso, 2002; Zandavalli et al., 2004). Moreira-Souza; Cardoso (2002), em casa de vegetação, usando quatro doses de P (0 mg kg^{-1} , 20 mg kg^{-1} , 50 mg kg^{-1} e 150 mg kg^{-1}) e inoculação dos FMs *Glomus intraradices* e *Gigaspora rósea* ou FMs nativos em araucária, verificaram a dependência micorrízica da espécie em todas as doses avaliadas de P, bem como maiores teores de P no tecido foliar das mudas micorrizadas, quando comparadas àquelas não-micorrizadas, independente da espécie de FM utilizada. Zandavalli et al. (2004) também verificaram incrementos significativos na biomassa vegetal de mudas de araucária submetidas à inoculação de *Glomus clarum*, quando



comparadas às mudas não inoculadas, sob taxas de colonização radicular de 81%. Assim, a colonização e incrementos na produção vegetal em plantas micorrizadas é um fator que deve ser considerado em sistemas de produção de mudas e no reflorestamento com araucária, sendo apontadas por Vilcatoma-Medina et al. (2018) as espécies do gênero *Glomus* como sendo as mais promissoras com inoculantes para a espécie. É importante salientar que, para o estabelecimento de protocolos de inoculação de mudas, torna-se ainda necessária a seleção de fungos eficientes para a promoção do desenvolvimento vegetal, visto ainda não existirem inoculantes de FMs selecionados e prontamente disponíveis para aplicação na produção de mudas desta espécie, o que torna esta técnica biotecnológica ainda restrita aos centros de pesquisa. Assim, o desenvolvimento de inoculantes de FM para mudas de espécies arbóreas é possível, tal como em espécies herbáceas e de ciclo curto, deve ser melhor explorado.

Associação de Bactérias Promotoras de Crescimento (BPCP) com araucária

Bactérias que colonizam raízes ou habitam a rizosfera e promovem o crescimento vegetal são conhecidas como BPCP (Kloepper; Schroth, 1978). As BPCPs podem atuar no crescimento vegetal a partir de mecanismos como a fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fosfatos, produção de fitormônios, produção de sideróforos, indução de resistência sistêmica etc. Também foi verificado que estas podem estimular a micorrização (Ribeiro et al., 2015).

Assim como ocorre para FM, são escassas as informações referentes à associação entre BPCP e a araucária. Um estudo pioneiro, realizado por Ribeiro e Cardoso (2012) com BPCP, isolou 96 bactérias a partir de raízes de araucária. Os isolados bacterianos, identificados pelos autores como pertencentes aos gêneros *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Ewingella* e *Bacillus*, apresentaram vários mecanismos de promoção de crescimento vegetal, como solubilização de fosfato, produção de fitormônios (Gumiere et al., 2014), produção de sideróforos, efeito antagonista a *Fusarium oxysporum* e fixação biológica de nitrogênio (Ribeiro; Cardoso, 2012).

Apesar do isolamento de bactérias a partir de amostras de raízes da araucária, não há relatos na literatura sobre os efeitos da inoculação de BPCP com espécies bacterianas mais promissoras, sendo ainda desconhecidos seus resultados efetivos na promoção do crescimento de espécies.

Interações entre microbiota e a fauna do solo

A atividade e composição da microbiota do solo podem ser influenciadas pela comunidade de invertebrados do solo (Scheu et al., 2005) de diversas formas, tais como pela promoção da atividade de microrganismos sinérgicos às plantas (Zhang et al., 2016), pela excreção de dejetos ricos em matéria orgânica e pela alteração da disponibilidade de nutrientes no solo (Bardgett et al., 1998). Apesar do interesse científico no tema, os processos envolvidos e as respostas das espécies vegetais a estas interações são muito pouco elucidados (Medina-Sauza et al., 2019). Em um estudo inédito, conduzido em condições de casa de vegetação, Azevedo (2010) avaliou o desempenho de mudas de araucária sob inoculação envolvendo minhocas (*Amyntas corticis*), FM (*Gigaspora rosea*) e um isolado de bactéria diazotrófica. A autora verificou interação significativa da inoculação destes três organismos sobre a biomassa da parte aérea, bem como a tendência de uma menor produção de biomassa em plantas estabelecidas em vasos inoculados com minhocas. O resultado difere da maioria dos estudos revisados por Brown et al. (1999) e Scheu et al. (2005), aos quais a presença de minhocas no meio de crescimento aumentou a produção de biomassa



de diferentes espécies vegetais. Importante salientar que a baixa sobrevivência das minhocas na pesquisa conduzida por Azevedo (2010) pode ter sido resultante de condições inadequadas para a atividade destes organismos nos substratos utilizados, dificultando a generalização dos resultados obtidos. Maiores esforços de pesquisa são necessários, considerando o importante efeito desses organismos (micorrizas, bactérias e fauna edáfica como as minhocas), de forma individual ou conjunta, no crescimento das mudas de araucária.

Solos sob araucária: desafios para a pesquisa

A ocorrência da araucária na região Sul do Brasil foi um dos fatores que mais contribuiu para o desenvolvimento socioeconômico, principalmente pela rápida aceitação de sua madeira no mercado. Na atualidade, essa espécie tem sido relegada ao segundo plano nos programas de florestas plantadas, onde predominam espécies arbóreas introduzidas (exóticas).

Conforme discutido no presente capítulo, a araucária é uma espécie exigente quanto à qualidade do solo, particularmente no que se refere às suas propriedades físico-hídricas, químicas e biológicas. Apesar do conhecimento acumulado até o presente momento sobre a espécie, ainda existem lacunas conceituais a serem preenchidas para embasamento de critérios e técnicas de manejo e uso do solo voltadas ao aproveitamento econômico e à conservação da espécie. As sugestões de pesquisas descritas a seguir constituem num elenco de propostas destinadas a ampliar a compreensão sobre a relação espécie-ambiente, contribuir com o desenvolvimento de técnicas para o plantio da espécie em diferentes sistemas de manejo, propiciar o aumento de sua produtividade em níveis iguais ou superiores às coníferas exóticas e assegurar seu uso com sucesso em programas de reflorestamento. Desta forma, os seguintes desafios científicos e tecnológicos são considerados:

- A seleção de procedências e, ou progênies (indivíduos) mais aptos às diferentes condições de solo e de clima, por meio de estudos focados na interação genótipo x ambiente.
- A discriminação de parâmetros de paisagem e de atributos morfológicos, químicos e físico-hídricos dos solos relacionados (i) à ocorrência natural da espécie, (ii) ao seu potencial de produção de madeira e subprodutos, (iii) à integridade e resiliência dos sítios voltados à produção e à conservação da espécie, em diferentes condições de solo e de clima.
- Quanto à avaliação da fertilidade do solo, é importante a definição de parâmetros compatíveis com a exigência nutricional da espécie, com ênfase: (i) no aprimoramento de metodologia de coleta de amostras de tecido vegetal e solo; (ii) no estabelecimento de níveis críticos, no solo, de matéria orgânica e elementos minerais, bem como de macro e micronutrientes nos tecidos vegetais das árvores.
- Estudo das relações entre o crescimento e a marcha de absorção de nutrientes da espécie.
- Implicações da ciclagem biogeoquímica de nutrientes na produtividade e na sustentabilidade dos povoamentos no médio e longo prazos, abrangendo populações nativas e plantios conduzidos sob diferentes sistemas de manejo.
- Estudo da importância funcional da fauna do solo nas Florestas com Araucária, relacionada à produtividade e resiliência do sistema de produção.
- Ampliação dos estudos sobre dependência e, ou eficiência micorrízica de FM em diferentes genótipos, voltado ao desenvolvimento de técnicas de inoculação.
- Viabilização da coinoculação de BPCP associado a FM, em viveiros de mudas.
- Definição de protocolos de manejo de solo e de fertilização orgânica e, ou mineral (doses, formas e épocas de aplicação) para diferentes condições de solo e de clima.



- Para todos os desafios propostos, o uso de material genético advindos de mudas seminais de polinização controlada e, ou clonais (estaquias), a fim de garantir um controle maior do efeito genético e maior acurácia na estimativa dos efeitos de manejo e ambiente.
- Estimular a formação de grupos de trabalho para um maior intercâmbio técnico e científico.

A presente lista, não exaustiva, visa direcionar esforços na busca de estratégias de conservação e aproveitamento econômico de um componente da biodiversidade brasileira, com potenciais implicações multisetoriais e multiescalas no médio e longo prazos, tais como a diversificação econômica, a inserção de novos agentes na cadeia produtiva de madeira e subprodutos, a maior resiliência e manutenção de serviços ecossistêmicos dos sistemas florestais e o fortalecimento da silvicultura nacional, em um mercado internacional cada vez mais competitivo e exigente quanto a critérios sociais e ambientais.

Referências

- AQUINO, F. M. **Cultivo da *Araucaria angustifolia***: viabilidade econômico-financeira e alternativas de incentivo. Florianópolis: Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul, 2005. 53 p.
- AZEVEDO, P. T. M. **Minhocas, fungos micorrízicos arbusculares e bactérias diazotróficas em mudas de *Araucaria angustifolia***. 2010. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo.
- BARDGETT, R. D.; KEILLER, S.; COOK, R.; GILBURN, A. S. Dynamic interactions between soil animals and microorganisms in upland grassland soils amended with sheep dung: a microcosm experiment. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 30, n. 4, p. 531-539, 1998.
- BERTINI, S. C. B.; AZEVEDO, L. C. B.; STROMBERGER, M. E.; CARDOSO, E. J. B. N. Soil properties discriminating *Araucaria* forests with different disturbance levels. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, n. 4, p. 194, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4398-5>.
- BOLFONI, D.; GALVÃO, F.; DURLO, M. A. Influência da profundidade do lençol freático no crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 4., 1980, Nova Prata. **Anais [...]**. Nova Prata: Prefeitura Municipal de Nova Prata, 1980. p. 104-112.
- BROWN, G. G.; PASHANASI, B.; VILLENAVE, C.; PATRÓN, J. C.; SENAPATI, B. K.; GIRI, S.; BAROIS, I.; LAVELLE, P.; BLANCHART, E.; BLAKEMORE, R. J.; SPAIN, A. V.; BOYER, J. Effects of earthworms on plant production in the tropics. In: LAVELLE, P.; BRUSSAARD, L.; HENDRIX, P. F. (ed.). **Earthworm management in tropical agroecosystems**. Wallingford: CAB International, 1999. p. 87-147.
- CARVALHO, M.; NODARI, E. As fases da exploração madeireira na floresta com araucária e os progressivos avanços da indústria madeireira sobre as florestas primárias (1870-1970). In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE HISTÓRIA AMBIENTAL E MIGRAÇÕES, 2010, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: Programa de Pós-graduação em História da UFSC, 2010. p. 707-726.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**: recomendações silviculturais de espécies florestais. Colombo: EMPRABA-CNPQ; Brasília. DF: EMBRAPA-SPI, 2003. v. 1. 1039 p.
- DIETRICH, A. B. Relações entre dados analíticos do solo, análise foliar e dados de crescimento da *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE. **Floresta**, v. 8, n. 1, 1977.
- FERNANDEZ, R. A. **Identificação dos atributos do solo determinante da qualidade de sítio para *Araucaria angustifolia*, com apoio na metodologia da análise estrutural**. 1989. 142 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- FERNÁNDEZ, R.; RODRIGUEZ ASPILLAGA, F.; LUPI, A.; LÓPEZ, E.; PEZZUTTI, R.; CRECHI, E.; CORTEZ, P. **Respuesta del *Pinus taeda* y la *Araucaria angustifolia* a la adición de N, P y K en la implantación**. Virasoro, Corrientes: Asociación Forestal Argentina, 2000.



FUPEF. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. **Inventário florestal do pinheiro no Sul do Brasil**: relatório final. Curitiba: FUPEF: IBDF, 1978. 327 p.

GARBIN, M. L.; ZANDAVALLI, R. B.; DILLENBURG, L. R. Soil patches of inorganic nitrogen in subtropical Brazilian plant communities with *Araucaria angustifolia*. **Plant and Soil**, v. 286, n. 1-2, p. 323-337, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9046-y>.

GERHARDT, E. J.; GUIMARÃES FINGER, C. A.; LONGHI, S. J.; SCHUMACHER, M. V. Contribuição da análise multivariada na classificação de sítios em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Ciência Florestal**, v. 11, n. 2, 2001.

GERHARDT, M.; SÁ, D. N. O Monocultivo da *Araucaria angustifolia* na Floresta Nacional de Passo Fundo, Brasil (1947-1960). **Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña (HALAC) Revista de La Solcha**, v. 7, n. 1, p. 42-57, 2017.

GOLFARI, L.; CASER, R. L.; MOURA, V. P. G. **Zonamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil**. Brasília, DF: PRODEPEF, Ministério da Agricultura, 1978. 66 p. (Série técnica, 11).

GOLFARI, L. **Conifers suitable for reforestation in the states of Paraná, Santa Catarina and Rio Grande do Sul**. Rome: FAO, 1970. 86 p. (FAO. Report, TA-2858).

GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. **O sistema radicular das árvores**. In: NUTRIÇÃO e fertilização de florestas. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 221-267.

GONÇALVES, J. L. M.; MENDES, K. C. F. S.; SASAKI, C. M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 3, 2001.

GUMIERE, T.; RIBEIRO, C. M.; VASCONCELLOS, R. L. F.; CARDOSO, E. J. B. N. Indole-3-acetic acid producing root-associated bacteria on growth of Brazil Pine (*Araucaria angustifolia*) and Slash Pine (*Pinus elliottii*). **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 105, n. 4, p. 663-669, 2014.

HESS, A. F. **Inter-relações no crescimento de Araucária angustifolia (Bertol.) Kuntze em diferentes locais do Rio Grande do Sul**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

HESS, A. F.; SCHNEIDER, P. R.; GUIMARÃES FINGER, C. A. Crescimento em diâmetro de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em função da idade, em três regiões do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 1, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/19805098415>.

HOOGH, R. J. de; DIETRICH, A. B. Avaliação de sítio para *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze em povoamentos artificiais. **Brasil Florestal**, v. 10, n. 37, p. 19-92, 1979.

HOOGH, R. J.; VAN GOOR, C. P.; BLUM, W. E. H. Response of planted *Araucaria angustifolia* to N. P. K. Ca and B fertilization. 3 and 7 years after application. In: IUFRO MEETING ON FORESTRY PROBLEMS OF THE GENUS ARAUCARIA, 1., 1979, Curitiba. **Forestry problems of the genus Araucaria**. Curitiba: FUPEF, 1980. p.136-144.

HOPPE, J. M.; CALDEIRA, M. V. W. Correlações entre o crescimento de *Araucaria angustifolia* (BERTOL.) KUNTZE, plantada na floresta nacional de Passo Fundo, RS com as características químicas do solo. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 1, n. 4, p. 33-40, 2003a. DOI: <http://dx.doi.org/10.7213/cienciaanimal.v1i4.14967>.

HOPPE, J. M.; CALDEIRA, M. V. W. Micronutrientes na copa e suas correlações com o crescimento da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Ktze plantada em Passo Fundo, RS. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 1, n. 2, p. 21-32, 2003b. DOI: <http://dx.doi.org/10.7213/cienciaanimal.v1i2.14901>.

ICERI, P. M.; BELLOTE, A. F. J. Influência dos atributos do solo e dos nutrientes minerais na produtividade e na qualidade da madeira da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 7., 2008, Colombo. **Anais [...]**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/315567/1/2008RACInfluenciaAtributos.pdf>.

ILANY, T.; ASHTON, M. S.; MONTAGNINI, F.; MARTINEZ, C. Using agroforestry to improve soil fertility: effects of intercropping on *Ilex paraguariensis* (yerba mate) plantations with *Araucaria angustifolia*. **Agroforestry Systems**, v. 80, n. 3, p. 399-409, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9317-8>.



KOEHLER, A. B.; CORAIOLA, M.; NETTO, S. P. Crescimento, tendências de distribuição das variáveis biométricas e relação hipsométrica em plantios jovens de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Ktze., em Tijucas do Sul, PR. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 85, p. 53-62, 2010. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr85/cap05.pdf>. Acesso em: 7 maio 2018.

KLOEPPER, J. W.; SCHROTH, M. N. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PLANT PATHOGENIC BACTERIA, 4., 1978, Angers. **Proceedings** [...]. Angers: Station de Pathologie Vegetale et Phytobacteriologie, 1978. v. 2. p. 879-882.

KORNDÖRFER, C. L. **Desenvolvimento inicial do pinheiro brasileiro (*Araucaria angustifolia*) em resposta a diferentes profundidades de enraizamento**. 2007. 60 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

KORNDÖRFER, C. L.; MÓSENA, M.; DILLENBURG, L. R. Initial growth of Brazilian pine (*Araucaria angustifolia*) under equal soil volumes but contrasting rooting depths. **Trees**, v. 22, n. 6, p. 835-841, 2008.

LA BASTIDE, J. G. A.; VAN GOOR, C. P. Growth-site relationships in plantations of *Pinus elliottii* and *Araucaria angustifolia* in Brazil. **Plant and Soil**, v. 32, n. 1-3, p. 349-366, 1970.

LASSERE, S. R.; VAIRETTI, M.; LASSERE, E. N. de. Crecimiento de *Araucaria angustifolia* (Bertol) O. Kuntze., en distintos tipos de suelos de Puerto Piray, Misiones. **IDIA: Suplemento Forestal**, n. 7, p. 36-45, 1972.

LIU, Y.; WANG, C.; HE, N.; WEN, X.; GAO, Y.; LI, S.; NIU, S.; BUTTERBACH-BAHL, K.; LUO, Y.; YU, G. A global synthesis of the rate and temperature sensitivity of soil nitrogen mineralization: latitudinal patterns and mechanisms. **Global Change Biology**, v. 23, n. 1, p. 455-464, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.13372>.

MACHADO, J. A. R. **Viabilidade técnica e econômica da conservação e uso da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze em teste de procedências e progênes**. 2018. 98 f. Tese (Doutorado em Sistema de Produção) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira.

MARCONDES, V. M. S.; BOGNOLA, I. A.; SOARES, M. T. S. Definição de variáveis climáticas e edáficas relacionadas à ocorrência de araucária no Estado do Paraná. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 15., 2016, Colombo. **Anais** [...]. Colombo: Embrapa Florestas, 2016. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1058643/1/Paginas6566deDoc2951418Completo28.pdf>.

MARTIARENA, R.; FERNÁNDEZ, R.; PAHR, N.; LUPI, A.; ALEGRANZA, D.; VON WALLIS, A. Fertilización y crecimiento de *Araucaria angustifolia* en Misiones, Argentina. In: JORNADAS TÉCNICAS FORESTALES, 9., 2002, Eldorado, Misiones. [**Anales... Eldorado: s. n.**], 2002.

MEDINA-SAUZA, R. M.; ÁLVAREZ-JIMÉNEZ, M.; DELHAL, A.; REVERCHON, F.; BLOUIN, M.; GUERRERO-ANALCO, J. A.; CERDÁN, C. R.; GUEVARA, R.; VILLAIN, L.; BAROIS, I. Earthworms building up soil microbiota, a review. **Frontiers in Environmental Science**, v. 7, p. 81, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00081>.

MILANEZ, F. R.; MONTEIRO NETO, H. Nota prévia sobre micorriza no pinho do Paraná. **Arquivos do Serviço Florestal**, v. 4, p. 87-93, 1950.

MINATTI, M. **Dendrocronologia aplicada na geração de modelos de crescimento biométricos e ambientais para *Araucaria angustifolia* na fitorregião do Planalto Serrano, SC**. 2015. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

MONTEIRO, P. E. R.; WINAGRASKI, E.; KASCHUK, G.; GAIAD, S.; MARQUES, R.; AUER, C. G. Responses of seedlings to the application of the organic fertilizer Bacsol. **Bosque**, v. 38, n. 3, p. 507-513, 2017.

MORAES, A. S. L. **Desempenho produtivo e variação genética entre procedências e progênes de *Araucaria angustifolia***. 41p. 2017. Itapeva: Faculdade de Ciências Sociais e Agrárias de Itapeva, 2017. 41 p.

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

MOREIRA, M.; BARETA, D.; TSAI, S. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Arbuscular mycorrhizal fungi in a native forest and in a reforest Araucaria Forest: a case study. **Scientia Agricola**, v. 66, p. 667-684, 2009.

MOREIRA, M.; BARETA, D.; TSAI, S. M.; GOMES DA COSTA, S. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Biodiversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in *Araucaria angustifolia* forests. **Scientia Agricola**, v. 64, p. 393-399, 2007a.



MOREIRA, M.; BONFIM, J. A.; VALADARES, R. B. S.; CARDOSO, E. J. B. N. Micorrizas na floresta com Araucária. In: CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F. **Floresta com Araucária, composição florística e biota do solo**. Piracicaba, FEALQ, 2015. 269 p.

MOREIRA, M.; NOGUEIRA, M. A.; TSAI, S. M.; GOMES DA COSTA, S. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Sporulation and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Brazil Pine in the field and greenhouse. **Mycorrhiza**, v. 17, p. 519-526, 2007b.

MOREIRA, M.; ZUCCHI, M. I.; GOMES, J. E.; ALVES-PEREIRA, A.; CARDOSO, E. J. *Araucaria angustifolia* aboveground roots presented high arbuscular mycorrhizal fungal colonization and diversity in the Brazilian Atlantic Forest. **Pedosphere**, v. 26, n. 4, p. 561-566, 2016.

MOREIRA-SOUZA, M.; CARDOSO, E. J. B. N. Dependência micorrízica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. sob doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 905-912, 2002.

MÓSENA, M.; DILLENBURG, L. R. Early growth of Brazilian pine (*Araucaria angustifolia* [Bertol.] Kuntze) in response to soil compaction and drought. **Plant and Soil**, v. 258, n. 1, p. 293-306, 2004.

OLIVEIRA, A. N.; SILVA, A. C. da; ROSADO, S. C. S.; RODRIGUES, E. A. C. Variações genéticas para características do sistema radicular de mudas de baru (*Dipteryx alata* Vog.). **Revista Árvore**, v. 30, n. 6, 2006.

OLIVEIRA, M. de; VENTURA, A. **Ocorrência de micorriza em *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O Ktze. e *Podocarpus lambertii***. São Paulo: Serviço Florestal, 1952. 5 p.

PUCHALSKI, A.; MANTOVANI, M.; REIS, M. D. Variação em populações naturais de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. associada a condições edafo-climáticas. **Scientia Forestalis**, v. 70, n. 70, p.137-148, 2006.

REDECKER, D.; SCHÜßLER, A.; STOCKINGER, H.; STÜRMER, S. L.; MORTON, J. B.; WALKER, C. An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota). **Mycorrhiza**, v. 23, n. 7, p. 515-31, 2013.

REISSMANN, C. B.; SANTOS FILHO, A.; ROCHA, H. O. da; ZOTTL, H. W.; BLUM, W. E. H. Crescimento e níveis de macro e micronutrientes em *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* sobre solos derivados do Grupo Itararé (Carbonífero). **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1/2, p. 113-119, 1987.

RIBEIRO, C. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Isolation, selection and characterization of root-associated growth promoting bacteria in Brazil Pine (*Araucaria angustifolia*). **Microbiological Research**, v. 167, n. 2, p. 69-78, 2012.

RIBEIRO, C. M.; HORTA, M. M.; VASCONCELLOS, R. L. F.; NERONI, R.; LAMMEL, D. R.; CARDOSO, E. J. B. N. Rizobactérias promotoras do crescimento de plantas (RPCP) em Araucária. In: CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F. **Floresta com araucária: composição florística e biota do solo**. Piracicaba: FEALQ, 2015. 269 p.

RUKUNDO, P.; SHIMELIS, H.; LAING, M.; GAHAKWA, D. Combining ability, maternal effects, and heritability of drought tolerance, yield and yield components in sweetpotato. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. 1981, 2017.

SAMPAIO, M. B.; GUARINO, E. S. Efeitos do pastoreio de bovinos na estrutura populacional de plantas em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista. **Revista Árvore**, v. 31, n. 6, 2007.

SAMPIETRO, J. A.; LOPES, E. S.; REICHERT, J. M. Compactação causada pelo tráfego de feller buncher e skidder em um Neossolo Regolítico sob distintas umidades. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 239-248, 2015.

SANTOS, W. C.; ROSOT, N. C.; ROSOT, M. A. D. Características edáficas relacionadas à produção de um povoamento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Floresta**, v. 40, n. 1, 2010.

SCHEU, S.; RUESS, L.; BONKOWSKI, M. Interactions between microorganisms and soil micro-and mesofauna. In: MICROORGANISMS in soils: roles in genesis and functions. Heidelberg: Springer, 2005. p. 253-275.

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

SEBBENN, A. M.; PONTINHA, A. A. S.; FREITAS, S. A.; FREITAS, J. A. Variação genética em cinco procedências de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. no sul do estado de São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**, v. 16, n. 2, p. 91-99, 2004.

- SEBBENN, A. M.; PONTINHA, A. A. S.; GIANOTTI, E.; KAGEYAMA, P. Y. Genetic variation in provenance-progeny test of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. in São Paulo, Brasil. **Silvae Genetica**, v. 52, n. 5-6, p. 181-184, 2003a.
- SEBBENN, A. M.; PONTINHA, A. A. S.; GIANNOTTI, E.; KAGEYAMA, P. Y. Variação genética em cinco procedências de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. no sul do estado de São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**, v. 15, p. 109-12, 2003b.
- SEBBENN, A. M.; PONTINHA, A. A. S.; GIANOTTI, E.; KAGEYAMA, P. Y. Variação genética entre e dentro de procedências e progênies de *Araucaria angustifolia* no sul do estado de São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**, v. 15, n. 2, p. 109-124, 2003c.
- SILVA, A. C. D.; ROSADO, S. C. D. S.; CALEGARIO, N.; RODRIGUES, É. A. C.; OLIVEIRA, A. N.; VIEIRA, C. T. Genetic variations in root system quality of candeia seedlings (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish). **Revista Árvore**, v. 31, n. 4, p. 609-617, 2007.
- SILVA, E. P. da; FERREIRA, P. A. A.; FURTINI-NETO, A. E.; SOARES, C. R. F. S. Micorrizas arbusculares e fosfato no desenvolvimento de mudas de cedro-australiano. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1269-1281, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509830320>.
- SILVA, H. D. da; BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A.; BOGNOLA, I. A. Recomendação de solos para *Araucaria angustifolia* com base nas suas propriedades físicas e químicas. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 43, p. 61-74, 2001. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/305894/1/silva.pdf>.
- SILVA, J. R. **Caracterização genética de áreas de produção de sementes de *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. Ktze para produção de pinhão e madeira**. 2016. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho", Ilha Solteira.
- SILVA, J. R.; SANTOS, W.; SOUSA, V. A.; SHIMIZU, J. Y.; MORAES, M. L. T.; AGUIAR, A. V. Seleção de procedências e progênies de *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. Kuntze para produção de madeira e pinhão. **Scientia Forestalis**, v. 46, n. 120, p. 519-531, 2018.
- SILVA, K. da; BARAÚNA, A.; COFFY, R.; ZILLI, J. Eficiência simbiótica de estirpes de *Bradyrhizobium* para a produção de mudas de *Centrolobium paraense*. In: REUNIÃO DA REDE DE LABORATÓRIOS PARA RECOMENDAÇÃO, PADRONIZAÇÃO E DIFUSÃO DE TECNOLOGIA DE INOCULANTES MICROBIANOS DE INTERESSE AGRÍCOLA, 16., 2014, Londrina. **Anais [...]**. Londrina: Embrapa Soja, 2014.
- SIMÕES, J. W.; COUTO, H. D. Efeitos da omissão de nutrientes na alimentação mineral do pinheiro do paraná *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze cultivada em vaso. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 2., 1973, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: FIEP, 1973. p. 112-121.
- SIMÕES, J. W.; COUTO, H. T. Z.; KAJIYA, S. Tolerância do pinheiro do Paraná (*Araucaria angustifolia* Bert. o KTZE) a teores crescentes de alumínio. **IPEF**, n. 6, p. 93-102, 1973. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr06/cap06.pdf>. Acesso em: 7 maio 2018.
- SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. London: Academic Press, 1997. 605 p.
- SOARES, M. T. S.; GAIAD, S.; DE RESENDE, A. S.; DE MENEZES, G. I.; FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. Qualidade de mudas de espécies arbóreas procedentes do Bioma Pantanal e inoculadas com fungos micorrízicos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 91, p. 311-322, 2017.
- SZYMCZAK, D. A.; JOSÉ BRUN, E.; REINERT, D. J.; FRIGOTTO, T.; MAZZALIRA, C. C.; DAL'COL LÚCIO, A.; MARAFIGA, J. Compactação do solo causada por tratores florestais na colheita de *Pinus taeda* L. na região sudoeste do Paraná. **Revista Árvore**, v. 38, n. 4, 2014.
- VAN DER VLIET, C. O pinheiro brasileiro plantado com mudas com raízes cortadas. **Anuário Brasileiro de Economia Florestal**, v. 10, n. 10, p. 89-102, 1958.
- VELMALA, S. M.; RAJALA, T.; HAAPANEN, M.; TAYLOR, A. F. S.; PENNANEN, T. Genetic host-tree effects on the ectomycorrhizal community and root characteristics of Norway spruce. **Mycorrhiza**, v. 23, n. 1, p. 21-33, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-012-0446-y>.



- VILCATOMA-MEDINA, C.; KASCHUK, G.; ZANETTE, G. Colonization and spore richness of arbuscular mycorrhizal fungi in araucaria nursery seedlings in Curitiba, Brazil. **International Journal of Agronomy**, v. 2018, article ID 5294295, 6 p., 2018. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/5294295>.
- WANG, H.; QIN, F. Genome-wide association study reveals natural variations contributing to drought resistance in crops. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. 1110, 2017.
- WREGE, M. S.; FRITZSONS, E.; SOARES, M. T. S.; BOGNOLA, I. A.; DE SOUSA, V. A.; DE SOUSA, L. P.; GOMES, G. C.; MATOS, M. F. S.; SCARANTE, A. G.; FERRER, R. S. Distribuição natural e habitat da araucária frente às mudanças climáticas globais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 91, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4336/2017.pfb.37.91.1413>.
- YAGI, R.; FERREIRA, M. E.; PESSÔA DA CRUZ, M. C.; BARBOSA, J. C. Mineralização potencial e líquida de nitrogênio em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 2, 2009.
- ZANDAVALLI, R. B.; DILLENBURG, L. R.; DE SOUZA, P. V. D. Growth responses of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) to inoculation with the mycorrhizal fungus *Glomus clarum*. **Applied Soil Ecology**, v. 25, n. 3, p. 245-255, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S2236-89062008000100003>.
- ZANDAVALLI, R. B.; STÜRMER, S. L.; DILLENBURG, L. R. Species richness of arbuscular mycorrhizal fungi in forests with Araucaria in Southern Brazil. **Hoehnea**, v. 35, p. 63-68, 2008.
- ZHANG, W.; CAO, J.; ZHANG, S.; WANG, C. Effect of earthworms and arbuscular mycorrhizal fungi on the microbial community and maize growth under salt stress. **Applied Soil Ecology**, v. 107, p. 214-223, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.06.005>.

