

Qualidade de mudas de espécies arbóreas procedentes do Bioma Pantanal e inoculadas com fungos micorrízicos

Márcia Toffani Simão Soares¹, Sérgio Gaiad¹, Alexander Silva de Resende², Gustavo Ibarreche de Menezes³, Fernando Antônio Fernandes⁴, Ana Helena Bergamin Marozzi Fernandes⁴

¹Embrapa Florestas; Estrada da Ribeira, Km 111, CP 319, CEP 83411-000, Colombo, PR, Brasil

²Embrapa Agrobiologia; Rodovia 465 Km 7, CEP 23.897-970, Seropédica, RJ, Brasil

³Guará Serviços Ambientais e Produção Vegetal, Rua Colombo, 621. CEP 79302-080, Corumbá, MS, Brasil

⁴Embrapa Pantanal; Rua 21 de setembro, 1180, Nossa Senhora de Fátima, C P 109, CEP 79320-900, Corumbá, MS, Brasil

*Autor correspondente:
marcia.toffani@embrapa.br

Termos para indexação:

Inoculação
Produção de mudas
Simbiose

Index terms:

Inoculation
Seedling production
Symbiosis

Resumo - O objetivo do presente trabalho foi comparar a infecção micorrízica e indicadores de qualidade das mudas de *Calophyllum brasiliense* e *Anadenanthera colubrina* var. *cebil* procedentes do Bioma Pantanal, desenvolvidas em substrato não fumigado e sob inoculação combinada com *Glomus clarum* (Gc) + *Gigaspora margarita* (Gm). Mudas das duas espécies produzidas em condições de viveiro foram aleatoriamente selecionadas e avaliadas quanto a parâmetros de qualidade morfológica, percentual, intensidade e morfologia da colonização micorrízica de raízes finas. Concluiu-se que, sob as condições de estudo, a inoculação com Gc + Gm promove mudanças no percentual, na intensidade (*A. colubrina* var. *cebil*) ou na morfologia (*C. brasiliense*) da infecção radicular, quando comparadas com mudas não-inoculadas. Incremento em parâmetros de qualidade das mudas foi observado em *C. brasiliense* sob inoculação combinada (Gc + Gm), apontando o potencial de uso de fungos micorrízicos na produção desta espécie.

Recebido em 15/03/2017
Aprovado em 15/09/2017
Publicado em 30/09/2017

Seedlings quality of tree species from Pantanal Wetland Biome, inoculated with mycorrhizal fungi

Abstract - The aim of this study was to compare mycorrhizal infection and quality indicators of *Calophyllum brasiliense* and *Anadenanthera colubrina* var. *cebil* seedlings from Pantanal Wetland Biome, Brazil, produced in non-fumigated substrate under combined inoculation with *Glomus clarum* (Gc) + *Gigaspora margarita* (Gm). Seedlings were produced from seeds of local populations seeds, inoculated and non-inoculated with Gc + Gm. They were randomly selected and evaluated for morphological quality parameters, percentage, intensity and morphology of mycorrhizal colonization of fine roots. We concluded that, under the study conditions, Gc + Gm inoculation promotes changes in the percentage, intensity (*A. colubrina* var. *cebil*) or morphology (*C. brasiliense*) of root infection when compared to non-inoculated seedlings. Increase in quality of seedlings was observed in *C. brasiliense* under combined inoculation with Gc + Gm, indicating the potential of mycorrhizal fungi use in this specie.

doi: 10.4336/2017.pfb.37.91.1424

Introdução

Com a criação de instrumentos legais voltados ao estabelecimento de áreas de preservação permanente e reserva legal na propriedade rural, e a previsão de pagamento por serviços ambientais (PSA) pelo Novo Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/2012, alterada

pela Lei nº 12.727/2012), estima-se para o cenário nacional aumento da demanda por programas voltados a implantação/restauração florestal (Silva et al., 2014) com consequente incremento no comércio de seus produtos associados, como sementes e mudas para o estabelecimento de plantios (Silva et al., 2015).

O guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess.) (Clusiaceae) e o angico vermelho (*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan var. *cebil* [Griseb.] Altschul) (Fabaceae, Mimosoideae) são duas espécies arbóreas de ampla ocorrência natural no país, que se destacam quanto ao potencial de uso múltiplo, com destaque para a recomposição de cobertura florestal e de ecossistemas degradados (Cole et al., 2011; Martinotto et al., 2012), para obtenção de madeira (Ramos et al., 2008; Marques Barreiros et al., 2016; Rosa et al., 2017) e compostos medicinais (Pessoa et al., 2012; Gómez-Verjan et al., 2015). O estabelecimento de povoamentos com estas espécies carece de informações técnicas para garantir melhores condições de sobrevivência e desenvolvimento em campo, o que pode ser, em grande parte, favorecido pelo uso de mudas vigorosas e mais resistentes a eventuais estresses após o transplântio para o campo. Atenção às diretrizes das operações silviculturais é especialmente importante em regiões de reconhecida fragilidade ambiental, como o Pantanal da Nhecolândia, caracterizado pela sazonalidade climática, elevadas temperaturas e pela ocorrência de solos pobres, arenosos, suscetíveis a inundações periódicas e a processos hidromórficos. Somam-se a estes fatores a quase inexistência de informações técnicas para embasar o uso sustentável das espécies florestais existentes na região (Mattos et al., 2010), sobretudo quando considerado o manejo por meio de plantios estabelecidos.

Dentre as técnicas utilizadas para assegurar uma elevada qualidade morfofisiológica de mudas produzidas em condições de viveiro, verifica-se a inoculação de substratos por fungos micorrízicos (FM) (Turjaman et al., 2009; Owen et al., 2015), a fim de conferir à planta melhores condições de crescimento, desenvolvimento, nutrição, tolerância e/ou resistência a agentes ambientais adversos (Folli-Pereira et al., 2012; Moreno et al., 2016), bem como maximizar a capacidade de estabelecimento em campo (Oskarsson, 2010; Singh & Gogoi, 2012; Davidson et al., 2016). Todavia, sabe-se que a efetividade da simbiose e as respostas das plantas à infecção podem variar significativamente em função de variações do ambiente (Tavares et al., 2012), do genótipo da planta (procedência e progênie) (Dias et al., 2012; Sousa et al., 2012; Faria et al., 2013), da eficiência do FM inoculado em beneficiar o hospedeiro (Oliveira Júnior et al., 2017) e ou da sua interação ou competição com fungos indígenas (Silva-Júnior et al., 2012).

Enquanto algumas espécies do gênero *Anadenanthera* possui reconhecida simbiose com FM, com potenciais efeitos positivos no desenvolvimento de mudas quando submetidas à inoculação (Santos et al., 2008; Dias et al., 2012), para a espécie clímax (ou secundária tardia) *C. brasiliense* são escassas as informações disponíveis na literatura no tocante à sua associação simbiótica com FM em florestas naturais ou manejadas (Bonetti et al., 1984; Holl et al., 2000; Shepherd et al., 2007; Sierra-Escobar et al., 2012).

Com base nestas demandas, o objetivo do presente trabalho foi comparar o efeito da infecção micorrízica e indicadores de qualidade das mudas de *C. brasiliense* e *A. colubrina* var. *cebil* procedentes do Bioma Pantanal, desenvolvidas em substrato não fumigado e sob inoculação combinada com *Glomus clarum* + *Gigaspora margarita*.

Material e métodos

Localização

O estudo foi conduzido em viveiro de produção de mudas de essências florestais da Fazenda Nhumirim, pertencente à Embrapa Pantanal e localizada na sub-região da Nhecolândia, Pantanal sul-mato-grossense nas coordenadas 18°59'11"S e 56°37'19"W. A região é pertencente ao Bioma Pantanal conforme classificação do IBGE (2004), constituído pela planície pantaneira e adjacências, incluindo-se a Borda Oeste do Pantanal (Silva et al., 2010). Possui clima tropical megatérmico, com temperatura média anual de 25,5 °C e máximas absolutas ultrapassando 40 °C (Embrapa, 1997).

As sementes para produção de mudas de *Anadenanthera colubrina* var. *cebil* foram oriundas de matrizes provenientes da Borda Oeste do Pantanal, representada em sua quase totalidade por terras não alagáveis ao redor das cidades de Corumbá e Ladário, MS, entre as coordenadas 19°00' e 19°30'S e 57°20' e 58°00'W, com predominância de Chernossolos, Vertissolos, Argissolos e Neossolos Litólicos (Spera & Cardoso, 2000). As sementes para produção de *Calophyllum brasiliense* foram provenientes de populações naturais localizadas na Fazenda Quatro Cantos (18°36'46.44"S e 56°16'10.05"W) e na Fazenda São Carlos (19°25' a 19°28'S e 56°44' a 25°53'W), próximas às margens do Rio Negro, Pantanal sul-mato-

grossense. Os solos predominantes desta região são os Espodossolos e Vertissolos (Fernandes et al., 2007), originários de sedimentos arenosos finos, em deposição pelo rio Taquari desde o início do Período Quaternário.

Produção de mudas e inoculação do substrato

Em julho de 2013, as sementes de *A. colubrina* var. *cebil* foram coletadas, retiradas manualmente dos frutos, fumigadas com gás toxin e armazenadas a 17 °C até o início da produção das mudas. Em março de 2014, foram semeadas duas sementes em cada tubete e, quando as plântulas apresentaram dois pares de folhas definitivas, foi realizado desbaste, deixando uma plântula por tubete. As sementes de *C. brasiliense* foram coletadas em dezembro de 2013, beneficiadas e colocadas em sementeira no viveiro em fevereiro de 2014. As plântulas foram transplantadas da sementeira para os tubetes após apresentarem pelo menos 4 cm de comprimento. Os tubetes continham 8 estrias, 130 mm de altura e volume de 175 cm³, preenchidos pelo substrato comercial da marca Mec Plant®, a base de casca de *Pinus*. Foi utilizada a seguinte composição química (base seca, 60-65 °C): pH CaCl₂ = 5,2, matéria orgânica (MO) total = 51,85 dag kg⁻¹, MO compostável = 47,30 dag kg⁻¹, resíduo mineral total = 42,77 dag kg⁻¹, resíduo mineral insolúvel = 32,58 dag kg⁻¹, resíduo mineral solúvel = 10,20 dag kg⁻¹, N total = 7,96 g kg⁻¹, P₂O₅ total = 7,58 g kg⁻¹, K₂O total = 1,75 g kg⁻¹, Ca total = 25,45 g kg⁻¹, Mg total = 6,60 g kg⁻¹, S total = 3,11 g kg⁻¹, Relação C/N = 36/1. Durante o desenvolvimento das mudas, foi aplicada, mensalmente, solução nutritiva contendo 0,75 g L⁻¹ de cloreto de potássio e 2,5 g L⁻¹ de sulfato de amônio, diluídos em 100 L de água para atendimento de 186 bandejas.

Entre 26 e 28 de maio de 2014, foram selecionadas do viveiro 1.404 mudas de *A. colubrina* var. *cebil* e 1.130 mudas de *C. brasiliense* para plantio em campo, programado para março de 2015. Na totalidade de *A. colubrina* var. *cebil*, foi aplicada uma suspensão contendo água não clorada mais inóculo de fungo micorrízico (FM) *Rhizobium* das estirpes BR 4802, BR 9002 e BR 9003, provenientes da Embrapa Agrobiologia (Seropédica, RJ), previamente selecionadas para uso em leguminosas arbóreas (Faria & Uchôas, 2007; Oliveira Júnior et al., 2010). Em seguida, metade das mudas das duas espécies foram submetidas à inoculação com FM, através da aplicação de suspensão constituída por água não clorada mais inóculo, composto por mistura de solo, raízes colonizadas e esporos de *Glomus clarum* +

Gigaspora margarita, oriundos da coleção da Embrapa Agrobiologia. Nas mudas selecionadas para inoculação, antes da aplicação da suspensão, foram realizados dois furos equidistantes na superfície do substrato seco e próximos ao colo, a fim de favorecer maior infiltração da suspensão até as raízes. Como tratamento controle, uma mesma quantidade de plantas das duas espécies não foi submetida à inoculação com FM. A rustificação das mudas ocorreu em área externa ao viveiro entre janeiro e fevereiro de 2015 e o plantio das mudas em campo ocorreu na primeira semana de março de 2015 compreendendo, desta forma, um período de nove meses entre a inoculação micorrízica e o plantio.

Obtenção de indicadores de qualidade das mudas

Antes do procedimento de plantio das mudas em campo, foram selecionadas, aleatoriamente, 14 mudas de *A. colubrina* var. *cebil* e 16 mudas de *C. brasiliense*, sendo metade obtida do lote não inoculado e outra metade do lote inoculado com FM. No Laboratório de Solos da Embrapa Pantanal (Corumbá, MS), estas mudas foram identificadas, mensuradas quanto à altura da parte aérea (HPA) e o diâmetro do colo (DC), separadas na região do colo entre parte aérea e raízes, armazenadas em sacos de papel e sacos plásticos estéreis, respectivamente, e encaminhadas ao Núcleo Laboratorial de Solos e Ciclos Biogeoquímicos da Embrapa Florestas (Colombo, PR), onde foram obtidos o peso úmido das raízes, após lavagem do sistema radicular com auxílio de água deionizada e peneira. Todas as amostras da parte aérea e duas e três amostras do sistema radicular de *A. colubrina* var. *cebil* e *C. brasiliense*, respectivamente, foram submetidas à secagem (55 °C) até peso constante, para a obtenção do peso de matéria seca da parte aérea (MSPA), bem como para estimar o peso de matéria seca das raízes (MSR) e total (MST) das mudas. Com essas variáveis, foi possível determinar as razões entre altura e diâmetro do colo (HPA/DC), altura e peso de matéria seca da parte aérea (HPA/MSPA), peso da matéria seca da parte aérea e de raízes (MSPA/MSR) (Cruz et al., 2006) e o índice de qualidade de Dickson (IQD) (Dickson et al., 1960), expresso pela equação 1.

$$IQD = \frac{MST(g)}{\left[\frac{HPA(cm)}{DC(mm)} \right] + \left[\frac{MSPA(g)}{MSR(g)} \right]} \quad (1)$$

Sendo: IQD = índice de qualidade de Dickson; HPA = altura da parte aérea; DC = diâmetro do colo; MSPA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca de raízes; MST = massa seca total.

Avaliação da colonização micorrízica

Para a avaliação da colonização micorrízica, raízes finas (de absorção) foram separadas do substrato manualmente, lavadas novamente em água deionizada e armazenadas em frascos contendo solução de FAA (13 mL de formol + 5 mL de ácido acético + 200 mL de etanol 50%) (Colozzi-Filho et al., 1994).

O clareamento das raízes foi realizado por meio de procedimentos sugeridos por Phillips & Hayman (1970), adequados às diferentes espessuras e graus de lignificação das raízes. As raízes finas de *A. colubrina* var. *cebil* não inoculadas artificialmente estavam pouco lignificadas, tendo sido diafanizadas em solução de H_2O_2 a 3% (10 V) mais duas gotas de NH_4OH concentrado por 100 mL de H_2O_2 , sendo aquecidas em estufa, à 35 °C por 1 h. As raízes de *A. colubrina* var. *cebil* inoculadas artificialmente apresentaram maior lignificação e foram, antes dos procedimentos descritos anteriormente, aquecidas em solução de KOH a 10%, por 30 min em autoclave. As raízes de *C. brasiliense*, mais grossas e lignificadas que as da primeira espécie, foram aquecidas na mesma solução, em autoclave, durante 1 h por 2 vezes; na sequência, foram aquecidas em solução de H_2O_2 a 6% (20 V) mais 2 gotas de NH_4OH concentrado por 100 mL de H_2O_2 ; este aquecimento foi realizado por 2 vezes em estufa a 35 °C por um período de 1 h, filtrando as raízes e trocando a solução de H_2O_2 a cada novo aquecimento. Após descarte da solução, as raízes foram lavadas e acidificadas com HCl diluído (0,5 mol L^{-1}), coradas com o corante Azul de Tripiano (0,05%) dissolvido em solução de lactoglicerol (ácido láctico-glicerina-água, 2:1:1) e aquecidas em banho-maria, a 90 °C por 5 a 10 min.

Após estes procedimentos, foi realizada a avaliação da colonização micorrízica em 12 amostras de raízes de *A. colubrina* var. *cebil* (cinco não inoculadas e sete inoculadas) e 13 de *C. brasiliense* (seis não inoculadas e sete inoculadas), pela técnica do segmento radicular em lâmina, conforme McGonigle et al. (1990) e Brundrett et al. (1996). Para tanto, 10 segmentos de raízes de aproximadamente 1 cm foram selecionados e dispostos paralelamente em lâminas para microscopia. A observação da ocorrência de micorrizas foi realizada com uso de microscópio óptico Axio Imager 2 da Carl Zeiss, com ocular milimétrica de 100 μm e aumento de 10 vezes e uma lente objetiva de aumento 10x. A avaliação da porcentagem de colonização micorrízica foi realizada com movimentos do “charriot” de um extremo a outro da lâmina, descartando-se áreas com raízes

danificadas. Em cada fragmento de raiz, foi observado e registrado o número de campos com ausência (0) ou presença (1) de qualquer estrutura de micorriza, sendo calculada a porcentagem de colonização micorrízica (campos positivos), em relação ao número total de campos avaliados. Cada campo observado foi também classificado quanto à intensidade da colonização em valores variando de 0 a 5, conforme escala visual proposta por Trouvelot et al. (1986). A partir destes valores, a intensidade da colonização micorrízica no sistema radicular, foi calculada pela equação 2.

$$M\% = \frac{(95n_5 + 70n_4 + 30n_3 + 5n_2 + n_1)}{(ntotal)} \quad (2)$$

Sendo: M = intensidade da colonização micorrízica no sistema radicular; n = somatório de campos observados com notas de 1 a 5, em um total de 60 a 100 observações de repetição.

Os segmentos de raízes foram também submetidos à análise qualitativa quanto à morfologia predominante das infecções micorrízicas, sendo classificadas entre tipo “Arum” ou “Linear”, em que as hifas proliferam rápida e longitudinalmente nos espaços intercelulares do córtex, “Paris” ou “Coiling”, caracterizadas pelo desenvolvimento de hifas intracelulares geralmente “enroladas”, se espalhando de célula a célula dentro do córtex e intercalando-se com hifas arbusculadas (Moreira & Siqueira, 2006; Paulilo et al., 2007), e intermediárias, quando os dois tipos de estruturas estão presentes (Paulilo et al., 2007).

Análise de dados

Os dados foram submetidos ao teste t para variáveis heterogêneas, para a comparação das médias dentro de cada espécie. As correlações entre as variáveis morfológicas e a colonização micorrízica foram medidas pelo coeficiente de correlação de Pearson, cuja significância foi testada em todos os casos.

Resultados

Colonização micorrízica

Verificou-se que as raízes das duas espécies florestais, independente do tratamento, foram infectadas por fungos micorrízicos (FM) (Tabela 1). Entretanto, as respostas de *Anadenanthera colubrina* var. *cebil* e *Calophyllum brasiliense* à inoculação foram distintas no tocante ao percentual, à intensidade e à morfologia da infecção.

Tabela 1. Altura da parte aérea (HPA), diâmetro do colo (DC), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca total (MST), relações HPA/DC, HPA/MSPA, MSPA/MSR, índice de qualidade de Dickson (IQD), porcentagem de colonização micorrízica (PC%) e intensidade de colonização micorrízica (M%) (média $\pm$ erro padrão) em raízes de mudas de *Anadenanthera colubrina* var. *cebil* e *Calophyllum brasiliense* inoculadas (+) ou não (-) com *G. clarum* + *G. margarita*⁽¹⁾

Variáveis	inoc.	Espécies	
		<i>A. colubrina</i> var. <i>cebil</i>	<i>C. brasiliense</i>
HPA (cm)	(-)	14,79 $\pm$ 0,83 ^{n.s.}	45,16 $\pm$ 1,18***
	(+)	12,81 $\pm$ 0,91	51,94 $\pm$ 1,14
DC (mm)	(-)	2,87 $\pm$ 0,28 ^{n.s.}	7,63 $\pm$ 0,41***
	(+)	2,36 $\pm$ 0,21	9,50 $\pm$ 0,33
MSPA (g)	(-)	0,90 $\pm$ 0,09 ^{n.s.}	4,89 $\pm$ 0,52***
	(+)	0,74 $\pm$ 0,04	7,76 $\pm$ 0,42
MSR (g)	(-)	3,03 $\pm$ 0,29 ^{n.s.}	2,47 $\pm$ 0,18***
	(+)	3,03 $\pm$ 0,20	3,20 $\pm$ 0,18
MST (g)	(-)	3,93 $\pm$ 0,33 ^{n.s.}	7,35 $\pm$ 0,64***
	(+)	3,77 $\pm$ 0,19	10,96 $\pm$ 0,49
HPA/DC	(-)	5,36 $\pm$ 0,50 ^{n.s.}	6,00 $\pm$ 0,22 ^{n.s.}
	(+)	5,63 $\pm$ 0,58	5,51 $\pm$ 0,21
HPA/MSPA	(-)	17,03 $\pm$ 1,29 ^{n.s.}	9,89 $\pm$ 0,91***
	(+)	17,26 $\pm$ 0,99	6,83 $\pm$ 0,39
MSPA/MSR	(-)	0,31 $\pm$ 0,03 ^{n.s.}	2,00 $\pm$ 0,17 ^{n.s.}
	(+)	0,25 $\pm$ 0,02	2,47 $\pm$ 0,19
IQD	(-)	0,72 $\pm$ 0,09 ^{n.s.}	0,93 $\pm$ 0,09***
	(+)	0,67 $\pm$ 0,06	1,38 $\pm$ 0,07
(PC) (%)	(-)	84,20 $\pm$ 6,04*	82,67 $\pm$ 9,63 ^{n.s.}
	(+)	99,29 $\pm$ 0,71	96,71 $\pm$ 1,15
(M%)	(-)	16,93 $\pm$ 4,98***	44,41 $\pm$ 10,91 ^{n.s.}
	(+)	83,95 $\pm$ 2,09	64,29 $\pm$ 7,71

n.s Não significativo; *, ** e *** significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade pelo teste t

Em *A. colubrina* var. *cebil*, a inoculação aumentou o percentual e a intensidade de colonização micorrízica em 0,2 ($p < 0,1$) e 4 ($p < 0,01$) vezes, respectivamente, em relação às raízes de mudas não-inoculadas (Tabela 1). A morfologia da colonização micorrízica foi similar nos segmentos de raízes observados, tanto nas raízes inoculadas como não-inoculadas, predominando em ambas as situações hifas intercelulares longitudinais, características do tipo morfológico *Arum* (Figura 1). Verificou-se também em *A. colubrina* var. *cebil* menor ocorrência de hifas extrarradiculares e outras estruturas

associadas, quando comparada com raízes de *C. brasiliense*.

Diferente da primeira espécie, em *C. brasiliense* o percentual e a intensidade de colonização micorrízica não diferiram entre mudas inoculadas e não-inoculadas ($p < 0,05$). Foram observadas diferenças morfológicas entre os dois tratamentos, predominando a morfologia do tipo *intermediário*, ou seja, os dois tipos de morfologia presentes nas raízes não-inoculadas infectadas com FM's nativos, e morfologia predominante do tipo "*Arum*" nas raízes inoculadas por *Glomus clarum* + *Gigaspora margarita* (Figura 2). Hifas extrarradiculares também ocorreram em maior intensidade nas raízes das mudas não-inoculadas desta espécie.

Qualidade das mudas

As variáveis biométricas e os índices calculados para avaliação da qualidade das mudas foram marcadamente diferentes entre espécies, refletindo estratégias distintas de alocação de recursos para seu desenvolvimento inicial (Tabela 1). Em *A. colubrina* var. *cebil*, os nove parâmetros de qualidade utilizados não diferiram entre as mudas inoculadas e não-inoculadas ($p < 0,05$), não havendo também correlações destas com o percentual e a intensidade de colonização micorrízica das raízes ($p < 0,10$, Tabela 2).

Contrariamente, em *C. brasiliense* as variáveis biométricas altura (HPA), diâmetro do colo (DC), matéria seca da parte aérea (MSPA), de raízes (MSR) e total (MST) foram de 15% a 59% superiores nas mudas inoculadas em relação às não-inoculadas ($p < 0,01$, Tabela 1). Das razões calculadas, os índices altura da parte aérea/matéria seca da parte aérea (HPA/MSPA) e de qualidade de Dickson (IQD) diferiram significativamente entre mudas inoculadas e não-inoculadas ($p < 0,01$).

Foram também verificadas correlações entre o percentual e, ou a intensidade de colonização micorrízica em sete dos nove parâmetros biométricos relacionados à qualidade das mudas, sendo positivas as correlações com o DC, a MSP, a MS, a relação MSPA/MSR e o IQD, e negativas as correlações com os parâmetros HPA/DC e HPA/MSR ($p < 0,01$, 0,05 ou 0,10, Tabela 3). É importante salientar que foi observado maior vigor em mudas inoculadas, em relação às não inoculadas, quando submetidas a estresse hídrico ao final do período de rustificação em viveiro (notas de campo).

Fotos: Márcia Toffani Simão Soares

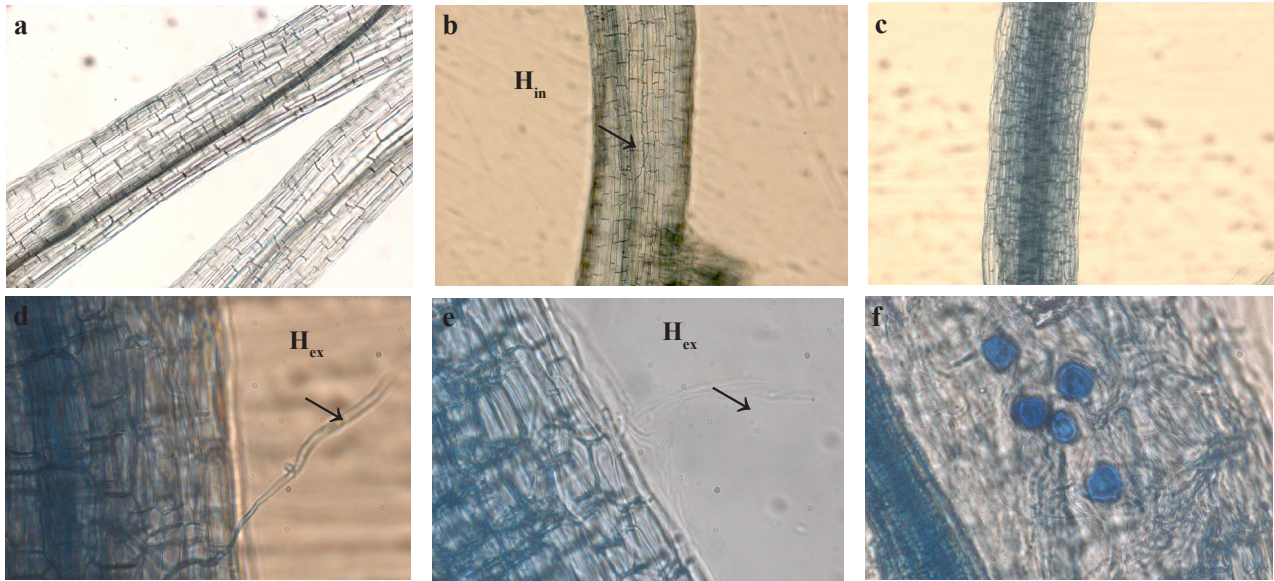


Figura 1. Aspecto das raízes de *A. colubrina* var. *cebil* não-inoculadas (“a”, “b”, “c” e “d”) e inoculadas (“e” e “f”) com *Glomus clarum* + *Gigaspora margarita* em diferentes intensidades de infecção com fungos micorrízicos. Prevalência de hifas intercelulares (H_{in}) lineares (morfologia tipo *Arum*) com poucas hifas extra radiculares (H_{ex}) e demais estruturas micorrízicas (E_m). Aumentos 100 e 400x.

Fotos: Márcia Toffani Simão Soares

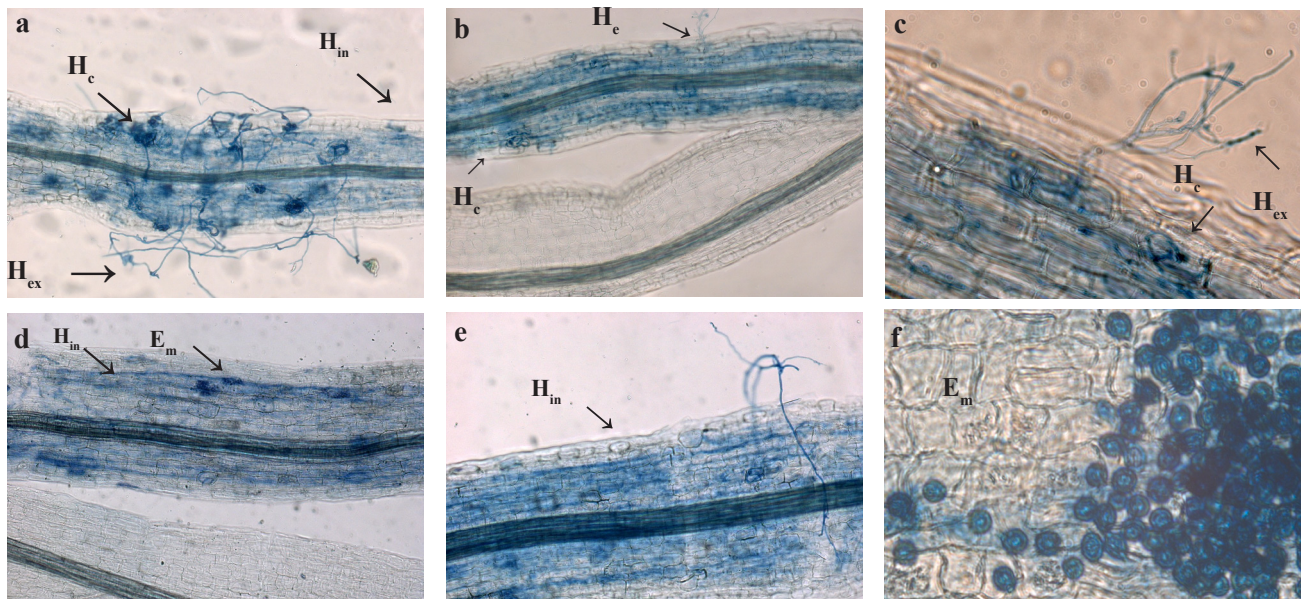


Figura 2. Aspecto das raízes de *Calophyllum brasiliense* não inoculadas (“a”, “b” e “c”) e inoculadas (“d”, “e” e “f”) com *Glomus clarum* + *Gigaspora margarita* em diferentes intensidades de infecção com fungos micorrízicos. Em “a”, “b”, “c”, ocorrência de hifas intercelulares lineares (H_{in}), intracelulares do tipo *coil* (H_c) e extraradicares (H_{ex}), emitidas a partir de hifas intracelulares (morfologia intermediária); em “d”, “e” e “f”, predominância de células longitudinais tipo “*Arum*” e maior ocorrência de estruturas micorrízicas (E_m) associadas ao córtex radicular, similares a vesículas. Aumentos 100 e 400x.

Tabela 2. Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis biométricas altura da parte aérea (HPA), diâmetro do colo (DC), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca total (MST), relações HPA/DC, HPA/MSPA, MSPA/MSR, índice de qualidade de Dickson (IQD), porcentagem de colonização micorrízica (PC%) e intensidade de colonização micorrízica (M%), em mudas de *Anadenanthera colubrina* var. *cebil*⁽¹⁾

	HPA	DC	MSPA	MSR	MST	HPA/DC	HPA/MSPA	MSPA/MSR	IQD	PC%	M%
HPA	1										
DC	0,48*	1									
MSPA	0,61**	0,43 ^{ns}	1								
MSR	-0,13 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,20 ^{ns}	1							
MST	0,05 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,96**	1						
HPA/DC	0,34 ^{ns}	-0,66***	0,05 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,00 ^{n.s.}	1					
HPA/MSPA	0,22 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,62*	-0,35 ^{ns}	-0,49*	0,24 ^{ns}	1				
MSPA/MSR	0,63 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,65***	-0,62**	-0,39 ^{ns}	0,07 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	1			
IQD	-0,19 ^{ns}	0,50*	0,30 ^{ns}	0,66***	0,68***	-0,71***	-0,54**	-0,29 ^{ns}	1		
PC%	-0,48 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	-0,48 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	-0,31 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	0,11 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	1	
M%	-0,39 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	-0,48 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	0,11 ^{ns}	-0,36 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	0,76***	1

(1)*** correlação significativa a 1%; ** correlação significativa a 5%; * correlação a 10%; n.s. não significativo

Tabela 3. Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis biométricas altura da parte aérea (HPA), diâmetro do colo (DC), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR), matéria seca total (MST), relações HPA/DC, HPA/MSPA, MSPA/MSR, índice de qualidade de Dickson (IQD), porcentagem de colonização micorrízica (PC%) e intensidade de colonização micorrízica (M%), em mudas de *Calophyllum brasiliense*⁽¹⁾

	HPA	DC	MSPA	MSR	MST	HPA/DC	HPA/MSPA	MSPA/MSR	IQD	PC%	M%
HPA	1										
DC	0,75***	1									
MSPA	0,84***	0,77***	1								
MSR	0,56**	0,65***	0,67***	1							
MST	0,83***	0,79***	0,98***	0,80***	1						
HPA/DC	-0,29 ^{n.s.}	-0,84***	0,44*	-0,49**	-0,48*	1					
HPA/MSPA	-0,70***	-0,73***	-0,94***	-0,61***	-0,92***	0,49**	1				
MSPA/MSR	0,60***	0,44*	0,71***	-0,04 ^{n.s.}	0,57**	-0,15 ^{n.s.}	-0,69***	1			
IQD	0,70***	0,88***	0,87***	0,89***	0,93***	-0,71***	-0,84***	0,33 ^{n.s.}	1		
PC%	0,42 ^{n.s.}	0,44 ^{n.s.}	0,58**	0,12 ^{n.s.}	0,50*	-0,27 ^{n.s.}	-0,74***	0,69***	0,42 ^{n.s.}	1	
M%	0,43 ^{n.s.}	0,64**	0,48*	0,36 ^{n.s.}	0,48*	-0,58**	-0,57**	0,33 ^{n.s.}	0,56**	0,71**	1

(1)*** correlação significativa a 1%; ** correlação significativa a 5%; * correlação a 10%; n.s. não significativo

Discussão

As mudas de *Anadenanthera columbrina* var. *cebil* e de *Calophyllum brasiliense* obtidas por sementes procedentes de matrizes do Bioma Pantanal apresentaram susceptibilidade à simbiose com fungos micorrízicos (FM) indígenas, evidenciando a sua natureza micotrófica. As diferenças observadas no tocante à porcentagem, intensidade da infecção, morfologia da infecção micorrízica e desenvolvimento da planta apontam, todavia, que as relações entre fungo-hospedeiro são distintas em função da espécie arbórea submetida à inoculação, bem como da comunidade de FM presentes no substrato (indígena e/ou inoculada).

A afinidade micotrófica é relatada em literatura para espécies do gênero *Anadenanthera*, com alguns resultados promissores no tocante ao desenvolvimento da espécie em seus estágios iniciais. No presente trabalho, os percentuais de colonização micorrízica (Tabela 1) foram maiores que os observados por Sugai et al. (2011) em raízes de *A. macrocarpa* inoculadas com *Gigaspora margarita* e *Glomus etunicatum* (acima de 60%), por Zangaro et al. (2002) em raízes de plântulas procedentes da região sul do Brasil inoculadas com esporos nativos (entre 40% e 59%), por Santos et al. (2008) em raízes de mudas produzidas no Nordeste brasileiro inoculadas com *G. etunicatum* (37%), e por Dias et al. (2012) em raízes de seis progênies procedentes da Zona da Mata mineira, inoculadas com *Glomus clarum* + *G. margarita* (de 13,16% a 23,37%). Sabe-se, até o presente momento, que a extensão da colonização micorrízica e seu efeito sob a espécie é variável, sendo condicionada pelo material genético utilizado (Dias et al., 2012), pela interação entre microssimbiontes (Santos et al., 2008) e pelo status nutricional do solo-substrato, especialmente do fósforo (Smith & Smith, 2012; Pedone-Bonfim et al., 2013). Fatores ambientais, como temperatura e umidade do solo, também são apontados por Lenoir et al. (2016) e Kilpeläinen et al. (2017), respectivamente, como importantes condicionantes da colonização micorrízica. Todavia, não há conhecimento sobre os efeitos destas variáveis nas duas espécies aqui avaliadas.

No tocante à intensidade de infecção micorrízica, os maiores valores obtidos nas raízes de mudas inoculadas (Tabela 1) sugerem que, concomitante à colonização por fungos indígenas, também houve infecção por *G. clarum* e/ou *G. margarita* introduzidos no substrato via inoculação. No entanto, a maior intensidade de

colonização não aumentou a eficiência da associação micorrízica na promoção do desenvolvimento das mudas, o que pode ser atribuído a semelhanças entre fungos indígenas e inoculados, conforme verificado por Sugai et al. (2011) para *A. macrocarpa*. O aumento da intensidade de colonização sob inoculação também pode ter ocasionado aumento da demanda por fotoassimilados pelas micorrizas e maior competição entre fungo e hospedeiro, conforme sugerem Veiga et al. (2011).

Informações sobre a ocorrência de fungos micorrízicos em raízes de *C. brasiliense* são escassas, contraditórias e inexistentes quanto a sua capacidade para beneficiar a planta (“eficiência simbiótica”). Até o presente momento, o único relato de avaliação da colonização micorrízica em mudas de *C. brasiliense* submetidas à inoculação (*Glomus aggregatum*) está contido em Sierra-Escobar et al. (2012), onde não verificaram infecção micorrízica em raízes de mudas desenvolvidas por sementes provenientes de matrizes pertencentes à floresta tropical colombiana. Em indivíduos adultos sob reflorestamentos (florestas tropicais), Bonetti et al. (1984) e Shepherd et al. (2007) identificaram associação entre raízes e fungos micorrízicos indígenas, com percentual de infecção por fungos nativos superior a 80% (Shepherd et al., 2007), valor similar ao obtido no presente estudo.

Os menores valores da relação altura da parte aérea/matéria seca da parte aérea (HPA/MSPA) em mudas de *C. brasiliense* inoculadas (Tabela 1) sugerem que estas apresentaram maior lenhificação e rustificação ao final da etapa de produção em viveiro, o que pode favorecer uma maior capacidade de sobrevivência em campo (Caldeira et al., 2013). Os valores de índice de qualidade de Dickson (IQD) em ambos os tratamentos foram maiores que o mínimo desejável, de 0,2 (Abanto-Rodriguez et al., 2016; Silva et al., 2016) sendo, entretanto, maiores nas mudas inoculadas em relação às não-inoculadas, o que corrobora com a hipótese de maior qualidade das primeiras. Dos três parâmetros não-destrutivos avaliados (altura, diâmetro do colo e a relação entre estes), merecem atenção os resultados obtidos para o diâmetro do colo, apontado por Grave et al. (2007) como um dos melhores indicadores de padrão da qualidade, por estar associado a um desenvolvimento acentuado da parte aérea e, em especial, do sistema radicular, favorecendo a sobrevivência e o desenvolvimento da muda após o plantio. Um aumento do volume de raízes pode favorecer maior exploração e contato da planta com o solo-substrato, facilitando a absorção de água,

de nutrientes (Machineski et al., 2009) e conferindo à planta maior resistência a estresses hídricos e deficiência nutricional.

Outros possíveis mecanismos de sobrevivência e resistência das plantas a estresses, que podem estar relacionados à infecção micorrízica, são o aumento na produção de enzimas antioxidantes (Wu & Zou, 2009), alteração dos níveis hormonais e mudanças na condutância estomática, aumento do conteúdo de água dos tecidos vegetais, dos teores de clorofila e das taxas fotossintética (Zhu et al., 2012; Frosi et al., 2016) e transpiratória (Harris-Valle et al., 2009; Zhu et al., 2012; Santander et al., 2017). Em condições de campo, também se deve considerar, nestes mecanismos de interação solo-planta-fungo, a influência do micélio fúngico na mineralização da matéria orgânica do solo (Paterson et al., 2016), na aquisição de nutrientes pelo hospedeiro (Bender et al., 2015; Thirkell et al., 2017), bem como a importância física de seu exudato, a glomalina (Kohler et al., 2017), que pode favorecer a formação de agregados mais estáveis (Dai et al., 2015; Qin et al., 2017) e mais aptos a trocas de água e ar entre solo e raízes (Al-Kaisi et al., 2014). A maior resistência da planta a eventuais estresses por deficiência nutricional, escassez hídrica, salinidade ou ataque de pragas e doenças pode contribuir com a obtenção de mudas com qualidade comercial desejável, favorecer a redução do tempo de viveiro e possibilitar melhores condições de sobrevivência e desenvolvimento em campo nos primeiros meses após o plantio (Mendes et al., 2013). Isto é extremamente desejável na etapa de produção de mudas, especialmente quando realizadas em regiões com condições climáticas extremas e limitações quanto à escassez de insumos (água, nutrientes, mão-de-obra), como é o caso do Pantanal brasileiro.

As diferenças fisiológicas e funcionais entre os tipos de estrutura *Arum* e *Paris* não são claros (Twahir & Tibuhwa, 2013), mas acredita-se que o primeiro morfotipo possua uma estratégia rápida, sincrônica e extensiva de colonização, e que esteja associado a espécies vegetais com rápido crescimento do sistema radicular (Dickson et al., 2007), e caráter heliofílico (Pagano et al., 2013), sendo mais comumente encontradas em ambientes abertos que florestados (Zangaro et al., 2008; Twahir & Tibuhwa, 2013). As estruturas fúngicas do tipo “*Paris*” estariam associadas às espécies de etapas sucessionais tardias (Zangaro et al., 2008), tolerantes à sombra e de crescimento lento (Yamato & Iwasaki,

2002). A predominância da morfologia tipo “*Arum*” em *A. colubrina* var. *cebil* é, desta forma, condizente com o esperado para uma espécie secundária, indicando, adicionalmente, a importância deste morfotipo de colonização em florestas de rápido crescimento e em sistemas de recomposição florestal, conforme já sugerido por Twahir & Tibuhwa (2013).

No presente trabalho verificou-se em *C. brasiliense* que a inoculação por *G. clarum* + *G. margarita* proporcionou modificações no tipo de infecção micorrízica. A predominância da morfologia tipo *intermediária*, quando sob infecção por fungos indígenas, e do tipo *Arum*, quando inoculadas com *G. clarum* + *G. margarita*, indicam o estabelecimento de relações distintas entre planta-hospedeiro em função da espécie colonizadora (Dickson, 2004). O mesmo autor sugere que a capacidade do fungo micorrízico em colonizar e prover nutrientes às plantas pode variar em função do tipo de colonização, sendo que a habilidade da colonização tipo *Arum* em se estender ao longo das raízes, aumentando a extensão da colonização micorrízica, pode ser considerada uma vantagem para o transporte contínuo de nutrientes. A ocorrência e a significância funcional e ecológica destas estruturas requerem estudos complementares (Dickson et al., 2007), voltados ao estabelecimento de critérios de monitoramento e de uso da simbiose micorrízica no manejo silvicultural destas espécies.

Conclusões

Em *Anadenanthera colubrina* var. *cebil* a inoculação resulta em aumento da colonização micorrízica radicular, sem alteração da morfologia da colonização, quando comparadas com mudas não-inoculadas. Além disso, não há benefícios no uso de *Glomus clarum* + *Gigaspora margarita* no tocante ao incremento em qualidade das mudas.

Em *Calophyllum brasiliense* a inoculação com *G. clarum* + *G. margarita* altera a morfologia de colonização micorrízica, sem modificar o percentual e a intensidade de colonização, em relação às mudas não-inoculadas, promovendo melhorias na qualidade silvicultural das mudas.

Devido à escassez de dados referentes a associação micorrízica de *C. brasiliense* e inexistência de informações para a procedência avaliada no presente trabalho, recomendam-se estudos complementares visando a avaliação da sobrevivência e do desenvolvimento de mudas inoculadas em campo.

Agradecimentos

À Anne Elise Previdi (Embrapa Florestas), Antônio Arantes Bueno Sobrinho e Hernandes de Campo Monteiro (Embrapa Pantanal) pelo valioso auxílio na execução das atividades laboratoriais; Aos funcionários do viveiro de mudas do Projeto Biomas - Fazenda Nhumirim pelo auxílio na condução das atividades de campo; À Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, executores do projeto Biomas onde está inserida a presente atividade de pesquisa; À FAPED - Fundação de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento. Ao BNDES, Senar, Sebrae, Monsanto e John Deere, patrocinadores do projeto Biomas.

Referências

- Abanto-Rodríguez, C. et al. Early growth of camu-camu plants with nitrogen fertilization through fertirrigation. **Scientia Agropecuaria**, v. 7, n. 4, p. 467-376, 2016. DOI: 10.17268/sci.agropecu.2016.04.02.
- Al-Kaisi, M. M. et al. Soil microaggregate and macroaggregate decay over time and soil carbon change as influenced by different tillage systems. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 69, n. 6, p. 574-580, 2014. DOI:10.2489/jswc.69.6.574.
- Bender, S. F. et al. Mycorrhizal effects on nutrient cycling, nutrient leaching and N₂O production in experimental grassland. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 80, p. 283-292, 2015. DOI: 10.1016/j.soilbio.2014.10.016.
- Bonetti, R. et al. População de *Rhizobium* spp. e ocorrência de micorriza VA em cultivos de essências florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 19, n. 13, p. 137-142, 1984.
- Brundrett, M. et al. **Working with mycorrhizas in forestry and agriculture**. Canberra: ACIAR, 1996. Available from: <http://aciarc.gov.au/files/node/2241/mn32_pdf_66358.pdf>. Access on: 05 Nov. 2015.
- Caldeira, M. V. et al. Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 2, p. 155-163, 2013. DOI: 10.1590/S1983-40632013000200002.
- Cole, R. J. et al. Direct seeding of late-successional trees to restore tropical montane forest. **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 10, p. 1590-1597, 2011. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.06.038.
- Colozzi Filho, A. et al. *Micorrizas arbusculares*. In: Hungria, M. & Araújo, R. S. (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI; Goiânia: EMBRAPA-CNPAP; Londrina: EMBRAPA-CNPQSO, 1994. p. 384-418.
- Cruz, C. A. et al. Efeito da adubação nitrogenada na produção de mudas de sete-casas (*Samanea inopinata* (Harms) Ducke). **Revista Árvore**, v. 30, n. 4, p. 537-546, 2006. DOI: 10.1590/S0100-67622006000400006.
- Dai, J. et al. No tillage enhances arbuscular mycorrhizal fungal population, glomalin-related soil protein content, and organic carbon accumulation in soil macroaggregates. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, n. 5, p. 1055-1062, 2015. DOI: 10.1007/s11368-015-1091-9.
- Davidson, B. et al. Consequences of inoculation with native arbuscular mycorrhizal fungi for root colonization and survival of *Artemisia tridentata*. **Mycorrhiza**, v. 26, n. 6, p. 595-608, 2016. DOI: 10.1007/s00572-016-0696-1.
- Dias, P. C. et al. Micorriza arbuscular e rizóbios no enraizamento e nutrição de mudas de angico-vermelho. **Revista Árvore**, v. 36, n. 6, p. 1027-1037, 2012. DOI: 10.1590/S0100-67622012000600004.
- Dickson, A. et al. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, v. 36, p. 10-13, 1960.
- Dickson, S. et al. Structural differences in arbuscular mycorrhizal symbioses: more than 100 years after Gallaud, where next? **Mycorrhiza**, v. 17, n. 5, p. 375-393, 2007. DOI: 10.1007/s00572-007-0130-9.
- Dickson, S. The Arum-Paris continuum of mycorrhizal symbioses. **New Phytologist**, v. 163, n. 1, p. 187-200, 2004. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2004.01095.
- Embrapa. Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal (Corumbá, MS). **Plano de utilização da fazenda Nhumirim**. Corumbá: EMBRAPA-CPAP, 1997. 72 p. (EMBRAPA-CPAP. Documentos, 21).
- Faria, S. M. & Uchôas, E. S. **Indicação de estirpes de rizóbio eficientes na fixação biológica de nitrogênio para espécies de uso múltiplo, atualização ano base 2006**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 16 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 228). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAB-2010/34394/1/doc228.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2015.
- Faria, T. M. et al. Micorrização e crescimento de progênes de *Hymenaea stignocarpa* Mart. ex. Hayne em subsolo de área degradada. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 1, p. 233-243, 2013. DOI: 10.5902/198050988457.
- Fernandes, F. A. F. et al. **Atualização do mapa de solos da planície pantaneira para o sistema brasileiro de classificação de solos**. Embrapa Pantanal, 2007. 6 p. Disponível em: <http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/COT61.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2015.
- Folli-Pereira, M. S. et al. Micorriza arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1663-1679, 2012. DOI: 10.1590/S0100-06832012000600001.
- Frosi, G. et al. Symbiosis with AMF and leaf P_i supply increases water deficit tolerance of woody species from seasonal dry tropical forest. **Journal of Plant Physiology**, v. 207, p. 84-93, 2016. DOI: 10.1016/j.jplph.2016.11.002.
- Gomez-Verjan, J. et al. Trends in the chemical and pharmacological research on the tropical trees *Calophyllum brasiliense* and *Calophyllum inophyllum*, a global context. **Scientometrics**, v. 105, n. 2, p. 1019-1030, 2015. DOI: 10.1007/s11192-015-1715-2.

- Grave, F. et al. Crescimento de plantas jovens de açoita-cavalo em quatro diferentes substratos. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 4, p. 289-298, 2007. DOI: 10.5902/198050981961.
- Harris-Valle, C. et al. Tolerancia al estrés hídrico en la interacción planta-hongo micorrízico arbuscular: metabolismo energético y fisiología. **Revista Fitotecnica Mexicana**, v. 32, n. 4, p. 265-271, 2009.
- Holl, K. D. et al. Tropical montane forest restoration in Costa Rica: overcoming barriers to dispersal and establishment. **Restoration ecology**, v. 8, n. 4, p. 339-349, 2000. DOI: 10.1046/j.1526-100x.2000.80049.x
- IBGE. **Mapa de biomas e de vegetação**. Rio de Janeiro. 2004. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>>. Acesso em: 29 maio 2015.
- Kilpeläinen, J. et al. Does severe soil drought have after-effects on arbuscular and ectomycorrhizal root colonisation and plant nutrition? **Plant and Soil**, p. 1-10, 2017. DOI: 10.1007/s11104-017-3308.
- Kohler, J. et al. Unraveling the role of hyphal networks from arbuscular mycorrhizal fungi in aggregate stabilization of semiarid soils with different textures and carbonate contents. **Plant and Soil**, v. 410, n. 1-2, p. 273-281, 2017. DOI: 10.1007/s11104-016-3001-3.
- Lenoir, I. et al. Arbuscular mycorrhizal fungal responses to abiotic stresses: a review. **Phytochemistry**, v. 123, p. 4-15, 2016. DOI: 10.1016/j.phytochem.2016.01.002.
- Machineski, O. et al. Crescimento de mudas de peroba rosa em resposta à inoculação com fungos micorrízicos arbusculares. **Ciência Rural**, v. 39, n. 2, p. 567-570, 2009. DOI: 10.1590/S0103-84782009000200041.
- Marques Barreiros, R. et al. Estudo quantitativo da variação estrutural morfológica na madeira de *Calophyllum brasiliense*. **Cerne**, v. 22, n. 1, 2016. DOI: 10.1590/01047760201622011838.
- Martinotto, F. et al. Sobrevivência e crescimento inicial de espécies arbóreas nativas do Cerrado em consórcio com mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 22-29, 2012.
- Mattos, P. P. de et al. Sustainable management of natural forests in Pantanal region, Brazil. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 2, p. 321-333, 2010. DOI: 10.5902/198050981855.
- McGonigle, T. P. et al. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v. 115, p. 495-501, 1990. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1990.tb00476.x.
- Mendes, M. M. C. et al. Crescimento e sobrevivência de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) inoculadas com micro-organismos simbioses em condições de campo. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 2, p. 309-320, 2013. DOI: 10.5902/198050989277.
- Moreira, F. M. de S. & Siqueira, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Ed. da UFLA, 2006. 729 p.
- Moreno, J. et al. Tree seedling growth promotion by dual inoculation with *Rhizoglossum fasciculatum* (Thaxt.) Sieverding, Silva & Oehl and *Mortierella* sp., rhizosphere fungi for reforestation purposes, to promote plant P uptake and growth at the nursery state. **Acta Agronômica**, v. 65, n. 3, p. 239-247, 2016. DOI: 10.15446/acag.v65n3.51106.
- Oliveira Júnior, J. Q. de et al. Dependency and response of *Apuleia leiocarpa* to inoculation with different species of arbuscular mycorrhizal fungi. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, 2017. DOI: 10.1590/18069657rbs20160174.
- Oliveira Júnior, J. Q. de et al. **Estirpes de rizóbio indicadas para a inoculação de espécies de leguminosas florestais**: aproximação 2010. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2010. 21 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 268).
- Oskarsson, U. Potting substrate and nursery fertilization regime influence mycorrhization and field performance of *Betula pubescens* seedlings. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 25, n. 2, p. 111-117, 2010. DOI: 10.1080/02827581003730781.
- Owen, D. et al. Use of commercial bio-inoculants to increase agricultural production through improved phosphorus acquisition. **Applied Soil Ecology**, v. 86, n. 41-54, 2015. DOI: 10.1016/j.apsoil.2014.09.012.
- Pagano, M. C. et al. Biodiversity of arbuscular mycorrhizas in three vegetational types from the semiarid of Ceará State, Brazil. **Applied Soil Ecology**, v. 67, n. 37-46, p. 37-46, 2013. DOI: 10.1016/j.apsoil.2013.02.007.
- Paterson, E. et al. Arbuscular mycorrhizal hyphae promote priming of native soil organic matter mineralisation. **Plant and Soil**, v. 408, n. 1-2, p. 243-254, 2016. DOI: 10.1007/s11104-016-2928-8.
- Paulilo, M. T. S. et al. Morfologia de micorrizas arbusculares em *Tabebuia avellanedae* Lorentz ex Griseb. (Bignoniaceae). **Insula Revista de Botânica**, v. 36, p. 21-25, 2007.
- Pedone-Bonfim, M. V. et al. Mycorrhizal technology and phosphorus in the production of primary and secondary metabolites in cebil (*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan) seedlings. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 6, p. 1479-1484, 2013. DOI: 10.1002/jsfa.591.
- Pessoa, W. S. et al. Effects of angico extract (*Anadenanthera colubrina* var. cebil) in cutaneous wound healing in rats. **Acta Cirúrgica Brasileira**, v. 27, n. 10, p. 655-670, 2012. DOI: 10.1590/S0102-86502012001000001.
- Phillips, J. M. & Hayman, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 55, n. 1, p. 158-161, 1970.
- Qin, H. et al. Intensive management decreases soil aggregation and changes the abundance and community compositions of arbuscular mycorrhizal fungi in Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) forests. **Forest Ecology and Management**, v. 400, p. 246-255, 2017. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.06.003.
- Ramos, M. A. et al. Use and knowledge of fuelwood in an area of Caatinga vegetation in NE Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, n. 6, p. 510-517, 2008. DOI: 10.1016/j.biombioe.2007.11.015.
- Rosa, S. A. et al. Growth models based on tree-ring data for the Neotropical tree species *Calophyllum brasiliense* across different Brazilian wetlands: implications for conservation and management. **Trees**, v. 31, n. 2, p. 729-742, 2017. DOI: 10.1007/s00468-016-1503-5.

- Santander, C. et al. Arbuscular mycorrhiza effects on plant performance under osmotic stress. **Mycorrhiza**, p. 1-19, 2017. DOI: 10.1007/s00572-017-0784-x.
- Santos, D. R. et al. Micorriza e rizóbio no crescimento e nutrição em N e P de mudas de angico-vermelho. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 1, p. 76-82, 2008.
- Shepherd, M. et al. Method for assessing arbuscular mycorrhizal fungi group distribution in tree roots by intergenic transcribed sequence variation. **Plant and Soil**, v. 290, n. 1-2, p. 259-268, 2007. DOI: 10.1007/s11104-006-9157-5.
- Sierra-Escobar, J. A. et al. Mycorrhizal dependence of barcino (Clusiaceae: *Calophyllum brasiliense* Cambers). **Atualidades Biológicas**, v. 34, n. 97, p. 199-206, 2012.
- Silva, A. P. M. et al. Desafios da cadeia de restauração florestal para a implementação da Lei nº 12.651/2012 no Brasil. In: Monasterio, L. M. et al. (Ed.). **Brasil em desenvolvimento 2014**: estado, planejamento e políticas públicas. Brasília, DF: Ipea, 2014. p. 85-102. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/web_bd_vol2.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2015.
- Silva, A. P. M. et al. **Diagnóstico da produção de mudas florestais nativas no Brasil**. Brasília, DF: Ipea, 2015. 51 p. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/150507_relatorio_diagnostico_producao.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2015.
- Silva, F. M. da et al. Effect of shade on emergence, initial growth, and seedling quality in *Physocalymma scaberrimum*. **Brazilian Journal of Botany**, v. 39, n. 1, p. 185-191, 2016. DOI: 10.1007/s40415-015-0234-y.
- Silva, J. S. V. et al. Desmatamento na bacia do Alto Paraguai no Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2010, Cáceres. **Anais...** Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; INPE, 2010. p. 459-467. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/865171/1/p161.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2015.
- Silva Júnior, J. M. T. da et al. Efeito da esterilização do substrato sobre o crescimento de mudas de meloeiro em presença de fungos micorrízicos arbusculares e compostos orgânico. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 1, p. 98-103, 2012.
- Singh, R. K. & Gogoi, P. Augmented growth of long pepper in response to arbuscular mycorrhizal inoculation. **Journal of Forestry Research**, v. 23, n. 2, p. 339-344, 2012. DOI: 10.1007/s11676-012-0262-4.
- Smith, S. E. & Smith, F. A. Fresh perspectives on the roles of arbuscular mycorrhizal fungi in plant nutrition and growth. **Mycologia**, v. 104, n. 1, p. 1-13, 2012. DOI: 10.3852/11-229.
- Spera, S. T. & Cardoso, E. L. Atualização da legenda do levantamento de reconhecimento de alta intensidade dos solos da Borda Oeste do Pantanal: Maciço do Urucum e adjacências, MS In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 3., 2000. **Anais...** Corumbá: Embrapa Pantanal, 2001. Disponível em: <<http://www.cpap.embrapa.br/agencia/congresso/ABIOTICOS/SPERA-013.pdf>>. Acesso em: 05 nov. 2015.
- Sousa, N. R. et al. Mycorrhizal symbiosis affected by different genotypes of *Pinus pinaster*. **Plant and Soil**, v. 359, n. 1-2, p. 245-253, 2012. DOI: 10.1007/s11104-012-1196-5.
- Sugai, M. A. A. et al. Inoculação micorrízica no crescimento de mudas de angico em solo de cerrado. **Bragantia**, v. 70, n. 2, p. 416-423, 2011.
- Tavares, R. C. et al. Colonização micorrízica e nodulação radicular em mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 409-416, 2012.
- Thirkell, T. J. et al. Resolving the 'nitrogen paradox' of arbuscular mycorrhizas: fertilization with organic matter brings considerable benefits for plant nutrition and growth. **Plant, Cell & Environment**, v. 39, n. 8, p. 1683-1690, 2016. DOI: 10.1111/pce.12667.
- Trouvelot, A. et al. Mesure du taux de mycorrhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. In: Gianinazzi-Pearson, V. & Gianinazzi, S. (Ed.). **Mycorrhizae: physiology and genetics**. Paris: INRA-Press, 1986. p. 217-221.
- Turjaman, M. et al. Mycorrhizal fungi increased early growth of tropical tree seedlings in adverse soil. **Indonesian Journal of Forestry Research**, v. 6, n.1 p. 17-25, 2009. DOI: 10.20886/ijfr.2009.6.1.17-25.
- Twahir, S. & Tibuhwa, D. D. Vesicular arbuscular mycorrhiza diversity and morphotypes, from different land use of the Serengeti National Park, Tanzania. **Journal of Environment and Ecology**, v. 4, n. 1, p. 52-67, 2013. DOI: 10.5296/jee.v4i1.3078.
- Veiga, R. S. et al. Can arbuscular mycorrhizal fungi reduce the growth of agricultural weeds? **PloS One**, v. 6, n. 12, 2011. DOI: 10.1371/journal.pone.0027825.
- Yamato, M. & Iwasaki, M. Morphological types of arbuscular mycorrhizal fungi in roots of understory plants in Japanese deciduous broadleaved forests. **Mycorrhiza**, v. 12, n. 6, p. 291-296, 2002. DOI: 10.1007/s00572-002-0187-4.
- Wu, Q. S. & Zou, Y. N. Mycorrhiza has a direct effect on reactive oxygen metabolism of drought-stressed citrus. **Plant Soil Environment**, v. 55, n. 10, p. 436-442, 2009.
- Zangaro, W. et al. Changes in arbuscular mycorrhizal associations and fine root traits in sites under different plant successional phases in southern Brazil. **Mycorrhiza**, v. 19, n. 1, p. 37-45, 2008. DOI: 10.1007/s00572-008-0202-5.
- Zangaro, W. et al. Micorrizas arbusculares em espécies arbóreas nativas da bacia do Rio Tibagi, Paraná. **Cerne**, v. 8, n. 2, p. 77-87, 2002.
- Zhu, X. C. et al. Arbuscular mycorrhizae improves photosynthesis and water status of *Zea mays* L. under drought stress. **Plant Soil Environment**, v. 58, n. 4, p. 186-191, 2012.