

FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NO CRESCIMENTO E NA NUTRIÇÃO MINERAL DE MUDAS DE *Tectona grandis* L. F.

ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI ON GROWTH AND MINERAL NUTRITION OF *Tectona grandis* L. F. SEEDLINGS

Luciana Aparecida Rodrigues¹ Deborah Guerra Barroso² Fábio Afonso M. M. de Assis Figueiredo³

RESUMO

Associações simbióticas de espécies arbóreas com fungos micorrízicos podem proporcionar o maior crescimento e nutrição das mudas, sendo alternativas importantes para o estabelecimento no campo, principalmente em áreas com restrições edáficas ou para espécies com alta exigência nutricional. No Brasil, o cultivo de *Tectona grandis* (teca) tem sido realizado em regiões do cerrado, em solos de baixa fertilidade. O presente trabalho objetivou avaliar o efeito da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) sobre o crescimento e nutrição mineral de mudas de teca. O experimento foi realizado em delineamento em blocos casualizados (seis blocos), com quatro tratamentos: 1) Testemunha (sem inoculação de fungos micorrízicos); 2) Inoculação com *Rhizophagus clarus*; 3) Inóculo de FMAs obtido de plantio de teca no Mato Grosso (inóculo MT) com vinte anos; e 4) Inóculo de FMAs nativos de cava de extração de argila de Campos dos Goytacazes (inóculo de Campos). As plântulas foram inoculadas e cultivadas em vasos de 6 dm³, por 135 dias, e foram avaliadas quanto à altura e ao diâmetro da base do caule. Amostras de raízes foram coletadas para avaliação da porcentagem de colonização com FMAs. As raízes e a parte aérea foram secas, separadamente, em estufa de circulação forçada de ar (a 65°C por 72 horas) e em seguida determinada a massa seca e teores de P, K e S. A inoculação com fungos micorrízicos, principalmente o isolado de *Rhizophagus clarus* e o inóculo de Campos, proporcionou maior crescimento e maior aquisição em relação a K e S das mudas de teca. A inoculação com os fungos micorrízicos proporcionou maior eficiência de utilização de nutrientes.

Palavras-chave: Teca; micorrizas; produção de mudas.

ABSTRACT

Symbiotic associations between tree species and mycorrhizal fungi may lead to better growth and nutrition of seedlings and so it becomes an important alternative to the establishment in the field, mainly in edaphic restriction areas, or to species of high nutritional demands. The cultivation of *Tectona grandis* (teca) in Brazil has been conducted in Cerrado areas with low fertility soils. The aim of the present study is to assess the effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculation on the growth and mineral nutrition of teca seedlings. The experiment was performed in randomized blocks (six blocks), with four repetitions: 1) witness (inoculation-free mycorrhizal fungi); 2) inoculation with *Rhizophagus clarus*; 3) native AMF inoculum from twenty-year old teca cultivation in Mato Grosso state (MT inoculum); and 4) native AMF inoculum from clay extraction in Campos do Goytacazes (Campos inoculum). The plantlets were inoculated and cultivated in 6 dm³ pots for 135 days and assessed for stem height and diameter of the stem base. Root

1 Engenheira Florestal, Dra., Professora Associada do Laboratório de Solos, Universidade Estadual do Norte Fluminense – Darcy Ribeiro, Av. Alberto Lamego, 2000, CEP 28013-602, Campos dos Goytacazes (RJ), Brasil. lua@uenf.br

2 Engenheira Agrônoma, Dra., Professora Associada do Laboratório de Fitotecnia, Universidade Estadual do Norte Fluminense – Darcy Ribeiro, Av. Alberto Lamego, 2000, CEP 28013-602, Campos dos Goytacazes (RJ), Brasil. deborah@uenf.br

3 Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Assistente do Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Maranhão, Centro de Estudos Superiores de Imperatriz, Rua Godofredo Viana, 1300, CEP 65901-480, Imperatriz, (MA), Brasil. figueiredo.uema@gmail.com

samples were collected in order to assess the percentage of AMF colonization. The roots and the aerial part were dried, separately, in a forced air circulation oven at 65°C for 72 hours. Subsequently, the dry weight and the content of P, K AND S were determined. The mycorrhizal fungi inoculation, mainly the *Rhizophagus clarus* isolate and the Campos inoculum, has promoted better growth and K and S acquisition by teca seedlings. The inoculation using mycorrhizal fungi allowed greater nutrient use efficiency.

Keywords: Teca; mycorrhizae; seedling production.

INTRODUÇÃO

Tectona grandis L.F., cujas sinónimas botânicas são *Tectona theka* Lour e *Theka grandis* (L. F.) Lam., é uma espécie da família Lamiaceae, originária do continente asiático, estando sua área de ocorrência confinada entre Floresta Úmida e Decídua Árida Mista, em elevações em torno de 1.000 m na Índia, Birmânia, Tailândia e Laos. Na Ásia encontra-se distribuída em um amplo intervalo de condições climáticas. Para atingir dimensões de corte, seu ciclo é de cerca de 50 anos na Índia e em Mianmar (KRISHNAPILLAY, 2000).

No Brasil, essa espécie é conhecida como teca, e os plantios iniciaram-se no final da década de 1960, implantados pela empresa Cáceres Florestal S.A., na região do município de Cáceres, onde seu ciclo de produção é de cerca de 25 anos, em função das condições edafoclimáticas favoráveis (TSUKAMOTO FILHO et al., 2003).

Considerando o aumento da demanda de produtos madeireiros e não madeireiros, muitos plantios de teca têm sido realizados em solos ácidos, pobres em nutrientes e com baixa capacidade de retenção de água na Austrália (WEBB et al., 2006). De acordo com Oliveira (2003), os cultivos no Estado do Mato Grosso estão sendo realizados em diferentes tipos de solo e, embora sejam dotados de boas características físicas, são geralmente de baixa fertilidade. Cultivos nessas condições podem levar as plantas a apresentar deficiência nutricional, resultando em restrições no crescimento das plantas e na diminuição da sustentabilidade da produção.

A *Tectona grandis* é considerada uma espécie vegetal nutricionalmente exigente (MATRICARDI, 1989). O fósforo é o elemento mais exigido e o potássio o menos exigido durante seu desenvolvimento inicial (FAVARE, 2010), sendo importante o uso de tecnologias que possam incrementar seus aspectos nutricionais, principalmente em locais de condições de baixa disponibilidade de nutrientes. Nesse sentido, os fungos micorrízicos são considerados uma ferramenta importante na produção de mudas, visando à introdução da espécie em diferentes condições edáficas. A qualidade morfofisiológica das mudas é um dos fatores mais importantes para o sucesso do estabelecimento de povoamentos florestais.

Fungos micorrízicos arbusculares constituem parte significativa da biomassa microbiana do solo e estão envolvidos diretamente em processos essenciais da interface solo-planta. Esses fungos formam associações simbióticas com várias espécies arbóreas, sendo o principal efeito da associação o aumento no crescimento da planta, pelo aumento da absorção de nutrientes, especialmente os menos móveis (MOSSE, 1981), tais como o P, Cu, Mg e Zn (BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006). Nos trópicos, cuja maioria dos solos apresenta baixa fertilidade, a formação de micorrizas é importante para a sobrevivência e o crescimento das plantas, bem como para a sucessão da floresta e recuperação de áreas degradadas (JANOS, 1996). Os efeitos positivos da colonização dos fungos micorrízicos em espécies florestais foram verificados para *Sesbania virgata* (Cav.) Pers., *Trema micrantha* (L.) Blume, *Luehea divaricata* Mart. (SANTOS; SIQUEIRA; MOREIRA, 2008), *Trema micrantha* e *Senna macranthera* (Dc. ex collad.) H.S. Irwin & Barnaby (Fedegoso) (PARON; SIQUEIRA; CURI, 1997), *Sesbania virgata* e *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden (RODRIGUES; MARTINS; SALOMÃO, 2003), *Acacia mangium* sinónima: *Racosperma mangium* (Willd.) Pedley (SCHIAVO; MARTINS, 2003), *Cedrela montana* Moritz ex Turcz e *Heliocarpus americanus* var. *popatanensis* (Kunth) K. Schum. (URGILES et al., 2009).

Os diferentes tipos de micorrizas distinguem-se pelas características anatômicas da associação, pelos fungos e hospedeiros envolvidos, e pelo ambiente em que a simbiose ocorre com mais frequência. As micorrizas arbusculares são de ocorrência generalizada em termos de hospedeiro e ambiente e não apresentam especificidade, enquanto as ectomicorrizas são típicas de espécies arbóreas temperadas e algumas espécies tropicais como membros das famílias Mirtaceae e Leguminosae (SIQUEIRA et al., 2007).

De acordo com Berbara, Souza e Fonseca (2006), a associação simbiótica dos fungos micorrízicos com as plantas é considerada mutualista nutricional, em que a planta supre o fungo com energia para o crescimento e manutenção via produtos fotossintéticos, enquanto o fungo provê à planta água e nutrientes. Neste sentido, a ampliação da capacidade de absorção de água e nutrientes por parte do organismo autotrófico aumenta a sua competitividade interespecífica e a sua produtividade. No entanto, *stricto sensu*, micorrizas são associações simbióticas, porém, nem sempre mutualistas. A dependência micorrízica de uma planta varia com a espécie de fungo inoculada. Além disso, para uma mesma espécie vegetal, a resposta pode variar desde levemente negativa até altamente positiva, dependendo do fungo a ela associado. Deve-se, ainda, considerar que o fungo representa um dreno de fotoassimilado e que, mesmo tratando-se de uma simbiose bem regulada, pode haver um desbalanço fisiológico na relação (SIQUEIRA et al., 2007).

Em levantamento realizado por Chaiyasen et al. (2014) em plantios de teca em diferentes sítios na Tailândia, os autores verificaram presença de Glomeraceae, incluindo *Glomus* spp e *Rhizophagus* spp. Considerando os vários parâmetros de crescimento e do estado nutricional das plantas, Rajan, Reddy e Bagyaraj (2000) observaram que *Glomus leptotichum* foi o melhor simbiote de fungos micorrízicos arbusculares para teca.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da inoculação de inóculos de fungos micorrízicos sobre o crescimento e nutrição mineral de mudas de *Tectona grandis* em solo não esterilizado.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes - RJ, localizada a 21°19'23" (S) e 41°19'41" (O).

Os tratamentos microbiológicos foram: 1) Testemunha (sem inoculação de fungos micorrízicos e solo não estéril); 2) Inóculo de *Rhizophagus clarus*; 3) Inóculo obtido de plantio de teca do Mato Grosso (inóculo MT); e 4) Inóculo nativo de Campos dos Goytacazes (inóculo de Campos).

O inóculo MT foi obtido por meio da coleta de solo juntamente com raízes de teca em plantio de teca com 20 anos, instalado em Cáceres - MT. Para a confirmação da presença de fungos micorrízicos nas raízes das plantas de teca, amostras dessas raízes foram acondicionadas, imersas em álcool 50%, para avaliação da colonização micorrízica. O inóculo MT foi identificado como sendo *Glomus* spp. As raízes e o solo coletados nos plantios foram também utilizados para a multiplicação do fungo micorrízico do isolado MT.

O inóculo dos FMAs de Campos foi obtido em cava de extração de argila, abandonada por 10 anos, pertencente à Cerâmica Caco-manga Ltda., situada no distrito de Ururaí, no município de Campos dos Goytacazes - RJ. Raízes de vegetação de ocorrência espontânea nas cavas foram coletadas e avaliadas quanto à presença de fungos micorrízicos, de acordo com os procedimentos adotados por Giovannetti e Mosse (1980) e Grace e Stribley (1991). O inóculo nativo foi constituído por três espécies: 1) *Glomus macrocarpum* Tul & Tul; 2) *Acaulospora colombiana* (Spain & Schenck) Kaonongbua, Morton & Bever, (sinonímia = *Entrophospora colombiana* Spain & Schenck; KAONONGBUA; MORTON; BEVER, 2010) e 3) *Claroideoglomus etunicatum* (Becker & Gerd) Walker & Schüßler (sinonímia = *Glomus etunicatum* Becker & Gerd; WALKER; SCHÜßLER, 2010).

O inóculo de *Rhizophagus clarus* (Nicolson & Schenck) Walker & Schüßler (sinonímia = *Glomus clarum* Nicolson & Schenck; WALKER; SCHÜßLER, 2010) foi obtido do banco de inóculos do Laboratório de Microbiologia do Solo da UENF.

A multiplicação do inóculo de *Rhizophagus clarus*, do inóculo nativo de Campos e do inóculo MT foi realizada em plantas de *Brachiaria decumbens* Stapf. Prain. O substrato (mistura de solo + areia na proporção 2:1 (v:v)) foi autoclavado por duas vezes por uma hora e adicionado a vasos de seis dm³. Sobre o substrato foram adicionados os inóculos a serem multiplicados (mistura de solo e raízes colonizadas), correspondendo a 10% do volume do vaso. As sementes tiveram suas superfícies desinfestadas com hipoclorito de sódio (0,5 %), durante 15 minutos, e lavadas com água destilada esterilizada, por quatro vezes consecutivas e semeadas nos vasos (vinte sementes por vaso).

As plantas de *B. decumbens* foram cultivadas em casa de vegetação por quatro meses, quando a parte aérea foi cortada e descartada, permanecendo nos vasos somente as raízes com o substrato de

cultivo, cobertos com saco de papel, por mais 60 dias para estímulo da esporulação dos FMAs. Após esse período, as raízes foram picadas e misturadas ao substrato de cultivo. A mistura do substrato de cultivo da *B. decumbens* com as raízes colonizadas contendo, ainda, esporos e hifas dos fungos (previamente verificados de acordo com os procedimentos adotados por Giovannetti e Mosse (1980) e Grace e Stribley (1991)) foi utilizada como inóculo no experimento.

Utilizaram-se, para o experimento, vasos de seis dm³, contendo substrato não estéril com as seguintes características químicas antes do plantio: pH (água) = 5,6; P = 11 mg kg⁻¹; K = 1,2 mmolc Kg⁻¹; Ca²⁺ = 16 mmolc Kg⁻¹; Mg²⁺ = 11 mmolc Kg⁻¹; Al³⁺ = 1 mmolc Kg⁻¹; C = 4,8 g Kg⁻¹ (P e K extração com Mehlich 1; Ca, Mg e Al extração com KCl 1 Mol L⁻¹). O substrato foi adubado com 20 mg dm⁻³ de P, na forma de fosfato de rocha, antes do plantio.

A produção de mudas de *Tectona grandis* foi feita por sementes provenientes de povoamentos da Cáceres Florestal, situada em Cáceres - MT. Após a germinação das sementes em canteiros de areia lavada (autoclavada por duas vezes durante uma hora), as plântulas foram transferidas para os vasos com os tratamentos já definidos.

A inoculação da micorriza na teca foi realizada mediante a adição do inóculo (previamente multiplicado) sobre o substrato de cultivo (5% do volume do substrato) na ocasião do transplântio das plântulas.

Aos 60 dias após o plantio, os vasos foram irrigados com solução nutritiva, contendo 20 mg dm⁻³ de N, 30 mg dm⁻³ de K e 20 mg dm⁻³ de S. Aos 135 dias após o plantio, as mudas foram avaliadas quanto à altura e ao diâmetro do colo e, em seguida, a parte aérea foi cortada à altura deste. Caules e folhas foram acondicionados separadamente em sacos de papel. As raízes foram lavadas em água corrente e foi retirada uma amostra de 5 g das raízes das plantas de cada vaso. Essas raízes foram acondicionadas em recipientes de vidro, imersas em álcool 50%, e permaneceram em geladeira para posterior análise da colonização micorrízica.

Os caules, as folhas e o restante das raízes foram secos, separadamente, em estufa de circulação forçada de ar a 65°C, por 72 horas, para avaliação da biomassa seca. A massa da matéria seca das raízes não incluiu a quantidade retirada para a colonização. Após secas, as amostras foram pesadas e processadas em moinho tipo Willey, passadas em peneira de 20 "Mesh" e armazenadas em frascos hermeticamente fechados. Esse material foi submetido à oxidação por digestão nítrico-perclórica (proporção 4:1), determinando-se o fósforo, por colorimetria, o K, por fotometria de chama, e o S, por turbidimetria (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

A porcentagem de colonização micorrízica foi efetuada pelo método da contagem em lâmina sob microscópio após a coloração das raízes em azul de metil (GIOVANNETTI; MOSSE, 1980; GRACE e STRIBLEY, 1991).

Calculou-se a eficiência de utilização (EFU) de nutrientes nas folhas e nas raízes, de acordo com Sidiqi e Glass (1981), pela seguinte fórmula:

$$EFU = [(matéria\ seca)^2 / (conteúdo\ de\ nutriente)].$$

Por fim, adotou-se um delineamento experimental em blocos casualizados (seis blocos), com quatro tratamentos. Os dados foram submetidos à análise de variância e testes de média, por Tukey a 5% de probabilidade, usando-se o programa SAEG - Sistema de Análise Estatística e Genética (EUCLYDES, 1983).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características biométricas e associação micorrízica

A inoculação dos fungos micorrízicos arbusculares proporcionou variações significativas em todas as características biométricas de *Tectona grandis* avaliadas, variando-se, no entanto, entre a testemunha, o *Rhizophagus clarus*, o inóculo MT e o inóculo de Campos (Tabela 1). Comparativamente aos valores observados na testemunha, a inoculação do inóculo nativo de Campos proporcionou incrementos

significativos de 68%, 109% e 25%, respectivamente, na biomassa do caule, biomassa das raízes e diâmetro do colo das mudas. Na biomassa foliar e na altura das plantas, o maior incremento foi observado com a inoculação do isolado de *Rhizophagus clarus*, sendo 80% e 45%, respectivamente. O maior crescimento das plantas em altura, diâmetro do colo e matéria seca, proporcionados pela inoculação com os fungos micorrízicos, é importante na diminuição do tempo de produção das mudas (tempo de viveiro), bem como para o crescimento inicial após o plantio no campo.

TABELA 1: Características biométricas e colonização micorrízica de mudas de *Tectona grandis* inoculadas com diferentes fungos micorrízicos arbusculares e cultivadas em condições de casa de vegetação, por 135 dias, em solo não esterilizado.

TABLE 1: Biometric characteristics and mycorrhizal colonization of *Tectona grandis* seedling inoculated with different arbuscular mycorrhizal fungi and grown in greenhouse conditions of vegetation, for 135 days, in non-sterile soil.

Características	Tratamentos				CV (%)
	Testemunha	<i>Rhizophagus clarus</i>	Inóculo MT	Inóculo Campos	
Massa seca - caule (g)	3,50 b	5,35 ab	4,67 ab	5,92 a	21
Massa seca - folha (g)	2,91 b	5,22 a	3,74 ab	4,67 ab	26
Massa seca - raiz (g)	4,68 b	7,69ab	7,29 ab	9,40 a	26
Diâmetro do colo (cm)	6,58 d	8,04 b	6,74 c	8,23 a	22
Altura (cm)	11,00 b	15,90 a	13,75 ab	14,40 ab	18
Associação micorrízica (%)	45 b	96 a	87 a	87 a	11

Em que: Testemunha = sem inoculação em solo não autoclavado; Inóculo MT = fungo micorrízico obtido de povoamento de teca em Cáceres Mato Grosso; Inóculo Campos = fungos micorrízicos obtidos em cavas de extração de argila em Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. Médias seguidas de letras iguais na linha horizontal não diferem pelo teste de Tukey (5%).

A eficiência dos fungos micorrízicos no aumento do crescimento das plantas pode variar com as espécies fungo-hospedeiro associadas. Para o *Luehea grandiflora* Mart. Zucc., Santos, Siqueira e Moreira (2008) observaram que os isolados de *Glomus* sp. foram ineficientes para incrementar o crescimento das mudas, enquanto, para *Trema micrantha* (L.) Blum. e *Schinus terebinthifolius* Raddi, somente um isolado dos dois isolados de *Glomus* sp. testados foi eficiente para o crescimento das mudas aos 120 dias após o plantio.

Barroso et al. (2005) observaram uma produção de massa seca da parte aérea de 8,0 gramas em mudas de teca com 150 dias cultivadas em solução nutritiva completa. No presente experimento, plantas com 135 dias de cultivo, quando não inoculadas, apresentaram em média 6,4 g de massa seca de parte aérea (3,50 gramas para massa seca de caules mais 2,91 gramas para folhas) e quando inoculadas com o inóculo nativo de Campos, a massa seca da parte aérea foi cerca de 10,6 gramas (5,9 gramas para massa seca de caules e 4,7 gramas para folhas), indicando que a inoculação realmente beneficiou o crescimento das plantas no cultivo no solo.

O incremento na biomassa radicular, observado nas plantas inoculadas com os fungos micorrízicos (100,9% com a inoculação do inóculo de Campos), poderá proporcionar à muda maior capacidade de absorção de água e nutrientes, aumentando a possibilidade de sobrevivência e de capacidade competitiva com outras espécies vegetais no campo. Em mudas de *Annona muricata* L., a utilização de FMA reduziu à metade o tempo de formação das mudas e ainda reduziu em 75% a dose de adubo a ser aplicada. No entanto, os autores concluíram que a escolha dos FMAs compatíveis com o hospedeiro é indispensável para garantir respostas positivas nas plantas (SILVA et al., 2008). Em mudas de teca, Swaminathana e Srinivasanb (2006) observaram que a inoculação com FMA proporcionou maior comprimento e biomassa de raízes totais e biomassa de raízes finas. No entanto, a maior sobrevivência e crescimento no campo ocorreu em mudas inoculadas com FMA associado à *phosphobacteria*.

Nos percentuais de colonização de FMAs nas raízes (Tabela 1), foram observados 96%, 87% e 87% de colonização para o inóculo de *Rhizophagus clarus*, para o inóculo MT e para o inóculo de Campos, respectivamente. Apesar de a testemunha apresentar 45% de colonização micorrízica, esse valor foi signi-

ficativamente menor que nos tratamentos que receberam a inoculação, indicando que, apesar de ter sido observado contaminação de FMAs natural do solo (uma vez que o mesmo não foi esterilizado em nenhum dos tratamentos), a inoculação foi efetiva, proporcionando a colonização das plantas com os inóculos em estudo. Os incrementos no percentual de colonização micorrízica foram de 113%, 93% e 93% com a inoculação do inóculo *Rhizophagus clarus*, MT e de Campos, respectivamente, comparativamente à testemunha.

A seleção de FMAs nativos é de grande interesse prático, apresentando vantagens em relação aos FMAs exóticos, uma vez que já são adaptados ao ambiente. Por outro lado, a sua eficiência deve ser avaliada, uma vez que a simbiose pode não ser efetiva, dependendo do hospedeiro. No presente trabalho, o substrato, por não ter sido esterilizado, apresentou contaminação com fungo micorrízico nativo. No entanto, tal contaminação não inviabilizou os efeitos positivos da inoculação com os fungos micorrízicos testados, indicando que eles apresentam capacidade competitiva com outros fungos que possivelmente as plantas encontrariam se fossem estabelecidas no campo. Essa colonização, de maneira geral, proporcionou efeitos positivos no crescimento das plantas, indicando o benefício da simbiose para a qualidade física das mudas de teca.

Teores nutricionais

Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos nos teores de K e S nas folhas e nos teores de P e K nas raízes das plantas (Tabela 2). O teor de P nas folhas das mudas não inoculadas (testemunha) foi maior que os valores observados nas plantas inoculadas com os inóculos de FMAs testados. A inoculação com o inóculo de *Rhizophagus clarus* proporcionou maior teor de S nas raízes.

TABELA 2: Teor nutricional (g kg⁻¹) nas folhas e raízes em mudas de *Tectona grandis* inoculadas com diferentes fungos micorrízicos arbusculares e cultivadas em condições de casa de vegetação, por 135 dias, em solo não esterilizado.

TABLE 2: Nutrient content (g kg⁻¹) in the leaves and roots in seedlings of *Tectona grandis* inoculated with different arbuscular mycorrhizal fungi and grown in greenhouse conditions of vegetation, for 135 days, in non-sterile soil.

Nutriente	Tratamentos				CV (%)
	Testemunha	<i>Rhizophagus clarus</i>	Inóculo MT	Inóculo Campos	
Folhas					
P	3,84 a	2,07 b	2,65 b	2,59 b	19
K	15,32 a	15,03 a	13,50 a	14,00 a	14
S	1,37 a	1,41 a	1,41 a	1,34 a	7
Raízes					
P	1,58 a	1,33 a	1,50 a	1,49 a	15
K	12,78 a	15,35 a	14,73 a	13,47 a	12
S	1,39 b	1,67 a	1,56 ab	1,43 ab	10

Em que: Testemunha = sem inoculação em solo não autoclavado; Inóculo MT = fungo micorrízico obtido de povoamento de teca em Cáceres Mato Grosso; Inóculo Campos = fungos micorrízicos obtidos em cavas de extração de argila em Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. Médias seguidas de letras iguais na linha horizontal não diferem pelo teste de Tukey (5%).

No presente experimento, nas folhas, os teores de P variaram entre 2,07 e 3,84 g kg⁻¹ (Tabela 2) e nas raízes de 1,58 a 1,33 g kg⁻¹. Barroso et al. (2005) observaram que mudas de teca cultivadas por 150 dias em solução nutritiva completa apresentaram em média o teor foliar de P de 8,5 g kg⁻¹ e nas raízes de 4 g kg⁻¹. De acordo com os autores, nas plantas cultivadas em solução nutritiva em ausência de P, o teor foliar foi de 1,8 g kg⁻¹ e as plantas apresentaram deficiência nutricional visível, caracterizada pelo enrugamento (encarquilhamento) das folhas mais velhas e leve clorose. Apesar de o baixo teor foliar de P observado no presente experimento, não foram verificados sintomas de deficiência de P em nenhum dos tratamentos.

O teor foliar de K variou entre 13,5 e 15,3 g kg⁻¹ e o de S variou entre 1,34 e 1,41 g kg⁻¹ (Tabela 2) e as plantas não apresentaram sintomas de deficiência visível para esses elementos. Esses valores foram

menores que os observados por Barroso et al. (2005) que foram de 22,8 e 2,8 g kg⁻¹ de K e S, respectivamente, em plantas cultivadas em solução nutritiva completa, porém, ficaram acima dos valores em que as plantas foram cultivadas em ausência desses elementos, e que apresentaram sintomas visíveis de deficiência de K e S.

Igualmente ao observado para o P, os teores de K e S, nas raízes do presente experimento, foram menores que aqueles observados por Barroso et al. (2005) na solução nutritiva completa, mesmo para o teor de S nas raízes de plantas inoculadas com *Rhizophagus clarus* que foi maior que a testemunha.

Os baixos teores de P observados nas folhas de teca, no presente experimento, podem ter ocorrido como um efeito de diluição do elemento na folha tendo em vista o maior crescimento das plantas nos tratamentos em que foram realizadas as inoculações dos FMAs. Além disso, a adubação com P foi somente de 20 mg dm⁻³ de P de fosfato de rocha, que também não é uma fonte prontamente disponível.

Conteúdo de nutrientes

A inoculação com *Rhizophagus clarus* proporcionou incrementos de 76% e 84% no conteúdo de K e S nas folhas de teca (Tabela 3), comparativamente à testemunha. No conteúdo de P nas folhas, não foi verificado aumento significativo; enquanto, nas raízes, resposta significativa foi observada somente com o inóculo de Campos, com incremento de 99%, comparativamente às plantas não inoculadas.

No sistema radicular, todos os inóculos de FMAs proporcionaram incrementos significativos no conteúdo de K e S. Esse resultado deve-se ao maior crescimento das raízes, resultando em maior quantidade de nutrientes alocados para essa parte da planta até essa idade de cultivo. A inoculação com o *Rhizophagus clarus*, o inóculo de MT e o inóculo nativo de Campos proporcionou incrementos, respectivamente de 95%, 81% e 112% para o conteúdo de K na raiz e de 93%, 73% e 101% para o conteúdo de S na raiz.

TABELA 3: Conteúdo (mg) de nutrientes nas folhas e raízes em mudas de *Tectona grandis* inoculadas com diferentes fungos micorrízicos arbusculares e cultivadas em condições de casa de vegetação, por 135 dias, em solo não esterilizado.

TABLE 3: Content (mg) of nutrients in leaves and roots in seedlings of *Tectona grandis* inoculated with different arbuscular mycorrhizal fungi and grown in greenhouse conditions of vegetation, for 135 days, in non-sterile soil.

Tratamentos					
Nutriente	Testemunha	<i>Rhizophagus clarus</i>	Inóculo MT	Inóculo Campos	CV (%)
Folhas					
P	11,3063 a	10,7454 a	9,6286 a	11,8435 a	32
K	44,9635 b	79,1067 a	50,4792 ab	64,8478 ab	33
S	3,9863 b	7,3822 a	5,2738 ab	6,2219 ab	25
Raízes					
P	7,3619 b	10,1248 ab	10,7807 ab	14,5569 a	33
K	59,8202 b	116,8640 a	108,2058 a	126,7293 a	25
S	6,6134 b	12,7668 a	11,4685 a	13,2797 a	23

Em que: Testemunha = sem inoculação em solo não autoclavado; Inóculo MT = fungo micorrízico obtido de povoamento de teca em Cáceres Mato Grosso; Inóculo Campos = fungos micorrízicos obtidos em cavas de extração de argila em Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. Médias seguidas de letras iguais na linha horizontal não diferem pelo teste de Tukey (5%).

Embora, no presente trabalho, o aumento no conteúdo de P com a inoculação dos fungos micorrízicos nas plantas tenha sido observado somente nas raízes das mudas de teca, a resposta positiva ou igual à testemunha no conteúdo de P foi verificado em *Acacia mangium* (SCHIAVO; MARTINS, 2003) em *Acacia mangium*, *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. (SCHIAVO; MARTINS; RODRIGUES, 2009), em *Coffea arabica* L. (TRISTÃO; ANDRADE; SILVEIRA, 2006), indicando que a aquisição do P pode variar entre as associações hospedeiro e FMA.

A maior resposta na aquisição de K e S em função da inoculação com as micorrizas comparativamente à aquisição de P também pode ter ocorrido porque foi realizada uma adubação com fonte solúvel de N, K e S nas mudas, enquanto a fonte de P foi o fosfato de rocha, que se trata de uma fonte não solúvel.

Eficiência de Utilização de nutrientes

A inoculação com os FMAs proporcionou aumentos na eficiência de utilização de nutrientes nas folhas e nas raízes da teca (Tabela 4). Nas folhas, a inoculação com o *Rhizophagus clarus* aumentou significativamente a eficiência de utilização de P e S, sendo o incremento de 268% e 74%, respectivamente. A eficiência de utilização de K apresentou incremento de 84% e 80% com a inoculação de *Rhizophagus clarus* e o inóculo nativo de Campos, respectivamente.

Nas raízes, a inoculação com inóculo de Campos proporcionou incremento de 90 e 102% na eficiência de utilização de K e S. Na eficiência de utilização de P, a inoculação com o inóculo de Campos e o *Rhizophagus clarus* proporcionaram incrementos significativos de 108% e 99%, respectivamente, quando comparada à eficiência de utilização de P nas plantas não inoculadas.

A maior eficiência de utilização de P foi também observada em mudas de café quando inoculadas com FMAs, no entanto, a eficiência variou com o substrato utilizado e com a espécie de FMA inoculada (TRISTÃO; ANDRADE; SILVEIRA, 2006). Em plantas de teca, Behling (2009) observou que a eficiência de utilização de P e de S foi maior que a eficiência de utilização dos demais nutrientes, o que também foi verificado no presente trabalho, principalmente quando as plantas foram inoculadas com *Rhizophagus clarus*.

TABELA 4: Eficiência na utilização dos nutrientes nas folhas e raízes de mudas de *Tectona grandis* inoculadas com diferentes fungos micorrízicos arbusculares e cultivadas em condições de casa de vegetação, por 135 dias, em solo não esterilizado.

TABLE 4: Efficiency of nutrients utilization in leaves and roots of *Tectona grandis* seedling inoculated with different arbuscular mycorrhizal fungi and grown in greenhouse conditions of vegetation, for 135 days, in non-sterile soil.

Nutriente	Tratamentos				CV (%)
	Testemunha	<i>Rhizophagus clarus</i>	Inóculo MT	Inóculo Campos	
Folhas					
P	751,3625 b	2765,6020 a	1645,9450 ab	1922,5030 ab	46
K	189,5894 b	348,6220 a	286,8742 ab	340,8498 a	26
S	2119,8950 b	3700,5340 a	2673,3000 ab	3524,4110 ab	28
Raízes					
P	2991,8970 b	5967,3590 a	4975,3130 ab	6238,1860 a	31
K	369,8861 b	523,0136 ab	492,4496 ab	701,7137 a	32
S	3332,7730 b	4701,8010 ab	4641,7830 ab	6730,2300 a	32

Em que: Testemunha = sem inoculação em solo não autoclavado; Inóculo MT = fungo micorrízico obtido de povoamento de teca em Cáceres Mato Grosso; Inóculo Campos = fungos micorrízicos obtidos em cavas de extração de argila em Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. Médias seguidas de letras iguais na linha horizontal não diferem pelo teste de Tukey (5%).

A espécie vegetal eficiente na utilização de nutrientes é aquela capaz de sintetizar o máximo de biomassa e superfície de aquisição de recursos por unidade de nutriente absorvido (BARROS et al., 1995). Existem vários mecanismos e processos na planta que contribuem para o uso eficiente de nutrientes. Dentre eles, Meuer (2007) cita a alta relação entre a raiz e a parte aérea e a colonização do sistema radicular por micorrizas. No presente trabalho, em todos os tratamentos foi observada uma maior produção de biomassa de raiz comparativamente à produção da biomassa da parte aérea (Tabela 1), além do incremento na eficiência de utilização de nutrientes obtida com a inoculação, notadamente para o P.

Os maiores teores de P na parte aérea observados na testemunha devem-se, provavelmente, ao fato das mudas terem apresentado menor altura e menor produção de biomassa, indicando que o P absorvido

poderia estar mais concentrado nas plantas não inoculadas comparativamente aos tratamentos inoculados com as micorrizas, nos quais as mudas cresceram mais, causando o efeito de diluição do nutriente nas folhas. Por outro lado, o maior crescimento e a maior produção de biomassa das mudas inoculadas com os FMAs refletiram no maior conteúdo de nutrientes nas plantas, indicando o efeito positivo da inoculação com os fungos micorrízicos nas respostas nutricionais da planta e na eficiência de utilização de nutrientes. Assim, inoculação dos fungos micorrízicos nas mudas de teca em solo não estéril proporcionam a maior qualidade física e nutricional das mudas teca, podendo ser utilizada com vista na redução do tempo das mudas no viveiro e na produção de mudas com sistema radicular mais desenvolvido.

CONCLUSÕES

A inoculação do *Rhizophagus clarus* e do inóculo nativo de Campos nas mudas de teca proporcionaram a maior conteúdo de K e S, além do maior crescimento da parte aérea e das raízes das plantas.

A inoculação com os fungos micorrízicos proporcionou maior eficiência de utilização de nutrientes, principalmente de P.

REFERÊNCIAS

- BARROS, N. F. et al. Nutricalc 2.0 – Sistema para cálculo del balance nutritional y recomendación de fertilizantes para el cultivo de eucalipto. **Bosque**, Valdivia, v. 16, p. 129-131, 1995.
- BARROSO, D. G. et al. Diagnóstico de deficiência de macronutrientes em mudas de teca. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 671-679, 2005.
- BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. Fungos micorrízicos arbusculares, muito além da nutrição. In: FENANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 53-88.
- BHELING, M. **Nutrição, partição de biomassa e crescimento de povoamentos de teca em tangará da Serra-MT**. 2009. 156 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.
- CHAIYASEN, A. et al. Characterization of arbuscular mycorrhizal fungus communities of *Aquilaria crassna* and *Tectona grandis* roots and soils in Thailand plantations. **PLoS One**, Nanjing, v. 9, n. 11, p. 112-591, 2014.
- EUCLYDES, R. F. **Sistema para Análise Estatísticas e Genéticas - SAEG**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1983. 74 p.
- FAVARE, L. G. **Doses crescentes de nitrogênio, fósforo, potássio e diferentes níveis de saturação por bases em relação ao desenvolvimento e nutrição mineral de teca (*Tectona grandis* L.F.), sob condições de vaso**. 2010. 96 f. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2010.
- GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring VA mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, Sheffield, v. 84, p. 489-500, 1980.
- GRACE, C.; STRIBLEY, D. P. A safer procedure for routine staining of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Mycological Research**, Cambridge, v. 95, p. 1160-1162, 1991.
- JANOS, D. P. Mycorrhizas, succession and the rehabilitation of deforested lands in the humid tropics. In: FRANKLAND, J. C.; NAGUN, N.; GADD, G. M. (Ed.). **Fungi and environmental change**. Cambridge: British Mycology Society Symposium, 1996. p. 129-162.
- KAONONGBUA, W.; MORTON, J. B.; BEVER, J. D. Taxonomic revision transferring species in *Kuklospora* to *Acaulospora* (Glomeromycota) and a description of *Acaulospora colliculosa* sp. nov. from field collected spores. **Mycologia**, Stanford, v. 102, n. 66, p. 1497-1509, 2010.
- KRISHNAPILLAY, B. Silviculture and management of teak plantations. **Unasylva** 201, Rome, v. 51, p. 14-21, 2000. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/x4565e/x4565e04.htm#TopOfPage>>. Acesso em: 10 dez. 2014.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas:**

- princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.
- MATRICARDI, W. A. T. **Efeitos dos fatores do solo sobre o desenvolvimento da teca (*Tectona grandis* L.F.) cultivada em Cáceres – Mato Grosso**. 1989. 130 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Piracicaba, 1989.
- MEUER, E. J. II- Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 65-90.
- MOSSE, B. **Vesicular-arbuscular mycorrhizae research for tropical agriculture**. Hawaii: Institute of Tropical Agriculture and Human Resources; College of Tropical Agriculture and Human Resources, 1981. 82 p.
- OLIVEIRA, J. R. V. **Sistema de cálculo para balanço nutricional e recomendação de calagem e adubos de povoamento de teca**. 2003. 76 f. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição Mineral de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.
- PARON, M. E.; SIQUEIRA, J. O.; CURI, N. Fungo Micorrízico, Fósforo e Nitrogênio no crescimento inicial na *Trema* e do Fedegoso. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, p. 567-574, 1997.
- RAJAN, S. K.; REDDY, B. J. D.; BAGYARAJ, D. J. Screening of arbuscular mycorrhizal fungi for their symbiotic efficiency with *Tectona grandis*. **Forest Ecology and Management**, Netherlands, v. 126, n. 2, p. 91-95, 2000.
- RODRIGUES, L. A.; MARTINS, M. A.; SALOMÃO, M. S. B. Uso de micorrizas e rizóbio em cultivo consorciado de eucalipto e sesbânia. I Crescimento, absorção e transferência de nutriente entre plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 583-591, 2003.
- SANTOS, J. G. D.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Eficiência de fungos micorrízicos arbusculares isolados de solos de áreas de mineração de bauxita no crescimento inicial de espécies nativas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 141-150, 2008.
- SCHIAVO, J. A.; MARTINS, M. A.; RODRIGUES, L. A. Avaliação nutricional de mudas de *Acacia mangium*, *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis* inoculadas com fungos micorrízicos, em casa de vegetação e em cava de extração de argila. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 701-707, 2009.
- SCHIAVO, J. A.; MARTINS, M. A. Produção de mudas de acácia colonizadas com micorrizas e rizóbio em diferentes recipientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 173-178, 2003.
- SILVA, D. et al. Uso de vermicomposto favorece o crescimento de mudas de gravioleira (*Annona muricata* L. ‘Morada’) associadas a fungos micorrízicos arbusculares. **Acta Botânica Brasilica**, v. 22, n. 3, p. 863-869, 2008.
- SIQUEIRA, J. O. et al. Micorrizas e degradação do solo: caracterização, efeitos e ação recuperadora. In: TÓPICOS em Ciência do Solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 219-306.
- SWAMINATHAN, C.; SRINIVASAN, V. M. influence of microbial inoculants on seedling production in teak (*Tectona grandis* L.f.) **Journal of Sustainable Forestry**, Philadelphia, v. 22, n. 3-4, p. 63-76, 2006.
- TRISTÃO, F. S. M.; ANDRADE, S. A. L.; SILVEIRA, A. P. D. Fungos micorrízicos arbusculares na formação de mudas de cafeeiro, em substratos orgânicos comerciais. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 4, p. 649-658, 2006.
- TSUKAMOTO FILHO, A. A. et al. Análise econômica de um plantio de teça submetido a desbastes. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 487-494, 2003.
- URGILES, N. et al. Application of mycorrhizal roots improves growth of tropical tree seedlings in the nursery: a step towards reforestation with native species in the Andes of Ecuador. **New Forests**, Netherlands, v. 38, n. 3, p. 229-239, 2009.
- WALKER, C.; SCHÜBLER, A. **The Glomeromycota, A Species list with new families and New Genera**: (Gloucester): 19 (2010). [s. l.: s. n.], 2010. 56 p. (Libraries at the Royal Botanic Garden Edinburgh, v. 19).
- WEBB, M. J. et al. Determining P and N status of a tropical timber species (teak): assessment of ‘quick’ chemical tests and a root phosphatase assay. **Developments in Plant and Soil Sciences**, Hannover, v. 92, p. 706-707, 2006.