

Crescimento pós-plantio de cultivares de *Coffea arabica* inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares

   
Rafaele Sousa Cruz, Fausto Henrique Vieira Araújo, André Cabral França, Paulo Henrique Graziotti

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Autor correspondente: rafaelesouza_22@hotmail.com

RESUMO: Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) promovem significativo aumento no crescimento do cafeeiro, principalmente em solos de baixa fertilidade. No entanto, para aumentar a eficiência no processo de inoculação, é necessário que haja interação do genótipo da planta com os fungos micorrízicos, possibilitando a utilização de cultivares com maiores respostas positivas. Objetivou-se avaliar o efeito da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares no crescimento, tores de P e distribuição do sistema radicular em profundidade de três cultivares de café (*Coffea arabica* L.). O delineamento foi em blocos casualizados, com os tratamentos estabelecidos em esquema fatorial 3 x 4, sendo as cultivares Rubi (MG 1192), Mundo Novo (IAC 379-19) e Catuaí Vermelho (IAC 144) de *C. arabica* inoculadas com os FMAs *Rhizophagus clarus*, *Acaulospora colombiana* ou simultaneamente pelos dois (Mix) mais o controle não inoculado, com quatro repetições. O crescimento do cafeeiro foi maior com a inoculação de FMA, entretanto, sua intensidade variou de acordo com a cultivar. A espécie *R. clarus* de forma isolada ou em mistura com *A. colombiana* promoveu maior crescimento e massa seca radicular em profundidade nas camadas de solo, independente da cultivar de café.

Palavras-chave: Micorriza, cafeeiro, *Rhizophagus clarus*, *Acaulospora colombiana*

Growth after planting of *coffea arabica* l. cultivars inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi

ABSTRACT: Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) promote a significant increase in coffee plant growth, especially in low fertility soils. However, in order to increase the efficiency in the inoculation process, it is necessary to interact the genotype of the plant with the mycorrhizal fungi, allowing the use of cultivars with higher positive responses. The objective of this study was to evaluate the effect of the inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, P tors and root distribution in depth of three coffee cultivars (*Coffea arabica* L.). The experimental design was in a randomized complete block design, with the treatments established in a 3 x 4 factorial scheme. The cultivars Rubi (MG 1192), Mundo Novo (IAC 379-19) and Catuaí Vermelho (IAC 144) of *Coffea arabica* were inoculated with *Rhizophagus FMA clarus*, *Acaulospora Colombian* or simultaneously by the two (Mix) plus uninoculated control, with four replicates. Coffee plant growth was higher with FMA inoculation, however, its intensity varied according to the cultivar. The species *Rhizophagus clarus* alone or in combination with Colombian *Acaulospora* promoted higher growth and root dry mass in depth in the soil layers, independently of the coffee cultivar.

Keywords: Mycorrhizal, Coffee, *Rhizophagus clarus*, *Acaulospora colombiana*.

INTRODUÇÃO

O café (*Coffea arabica* L.), é uma das mais importantes commodities do agronegócio brasileiro, com grande contribuição no desenvolvimento socioeconômico e geração de empregos e rendas. Neste cenário, o Brasil lidera na produção de café, com um total de 47,5 milhões de sacas de 60 kg beneficiadas na safra 2017/2018 de todo total produzido no mundo (CONAB, 2017).

O melhoramento do cafeeiro tem sido voltado para produção de cultivares cada vez mais adaptativas e produtivas, com resistência a estresses bióticos e abióticos e qualidade de bebida, que, conseqüentemente são mais exigentes em demanda por nutrientes (SANTOS et al., 2015).

Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) constituem-se com uma alternativa para aumentar o crescimento, qualidade nutricional e produtividade do cafeeiro, maximizando o uso de fertilizantes fosfatados em solos deficientes ou com alta capacidade de fixação, além de contribuir para sustentabilidade agrícola. Os benefícios dessa simbiose, deve-se as hifas extras radiculares produzidas pelos FMA que aumentam o volume de solo explorado pelas raízes, melhorando a absorção e translocação de íons fosfatos muito além da zona de contato dos pelos radiculares (MARTINS et al., 2017). Entretanto esse efeito é modulado por diversos fatores, como tipo de solo, os genótipos das plantas hospedeiras e dos FMA, o qual estimula diferentemente a simbiose (SOUZA et al., 2015).

Cada cultivar cafeeira pode ter sua exigência nutricional alterada, devido ao tipo de crescimento, porte das plantas, e, de acordo com as condições de fertilidade do solo, o que poderá influenciar a sua capacidade de associação com FMA. Assim, o conhecimento de cultivares com maior capacidade de colonização micorrízica poderá possibilitar melhorar o potencial produtivo, maximizando a aquisição de P, do uso da água do solo e de outros nutrientes de baixa solubilidade.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e na distribuição do sistema radicular em profundidade de três cultivares de café (*Coffea arabica* L.).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de outubro de 2017 a outubro de 2018 em casa de vegetação na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri- UFVJM, em Diamantina/MG, com coordenadas geográficas de 18°12'10.72" Latitude Sul; 43°34'21.00" Longitude Oeste e altitude de 1.404 m. A temperatura média durante o período experimental foi de 24°C a 28°C.

O delineamento foi em blocos casualizados, com os tratamentos estabelecidos em esquema fatorial 3 x 4, sendo as cultivares Rubi (MG 1192), Mundo Novo (IAC 379-19) e Catuaí vermelho (IAC 144) de *C. arabica* inoculadas com os FMAs *Rhizophagus clarus*, *Acaulospora colombiana* ou simultaneamente pelos dois (Mix) mais o controle não inoculado, com quatro repetições. A unidade experimental foi constituída por uma planta de café em coluna de PVC com 100 mm de diâmetro e 30 cm de altura.

As cultivares de café utilizadas foram obtidas do setor de cafeicultura da UFVJM. Os inoculantes foram compostos por areia, argila expandida, fragmentos de raízes e esporos de *Acaulospora colombiana* – SCT115A contendo 33 esporos/g de solo e *R. clarus* RJN102A contendo 22 esporos/g de solo, doados pelo professor Sidney Stunner, responsável pela coleção Internacional de Cultura de Glomeromycota da Universidade Regional de Blumenau. Para quantificação da densidade dos esporos, amostras contendo 50 g do inóculo foi submetido à técnica de peneiramento úmido, seguida de centrifugação em água, por três minutos a 3000 rpm, e em sacarose 50% durante dois minutos a 2000 rpm, e posteriormente, efetuada a contagem com auxílio da lupa (GERDEMANN; NICOLSON, 1963).

O substrato utilizado na produção das mudas foi a mistura de um Latossolo vermelho-amarelo distrófico (LVd) (SANTOS et al., 2018), coletado na camada de 0-20 cm, peneirado em malha de 4 mm não esterilizado e substrato comercial Bioplant® na proporção de 1:1. A análise química e física do solo realizada no laboratório de fertilidade de solo do Departamento de Agronomia da UFVJM apresentou: pH (H₂O) = 5,31; P = 3,77 mg dm⁻³; K⁺ = 142,97 mg dm⁻³; Ca²⁺ = 3,89 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 1,88 cmol_c dm⁻³; Al = 0,09 cmol_c dm⁻³; H + Al = 3,81 cmol_c dm⁻³; SB = 6,14 cmol_c dm⁻³; t = 6,23 cmol_c dm⁻³; CTC(T) = 9,95 cmol_c dm⁻³; matéria orgânica: 1%; areia = 25%; silte = 24%; argila = 51%.

As sementes de café foram germinadas em bandejas plásticas, contendo areia lavada, em condições de sala de crescimento (temperatura de 28°C, fotoperíodo de 12 horas e 60 a 80% de umidade relativa do ar). A umidade das bandejas foi mantida, sendo feitas irrigações periódicas. Quando as plântulas atingiram a fase de “palito de fósforo”, isto é, antes do lançamento da folha hipocotiledonar, foram transplantadas para tubetes de 50 mL contendo o substrato citado anteriormente. No momento do transplântio, as plântulas receberam 10 g dos inóculos contendo os FMA *R. Clarus* (22 esporos g⁻¹), *A. colombiana* (33 esporos g⁻¹) junto às raízes de acordo com cada tratamento, para o tratamento Mix foi utilizado 50% de cada inóculo. A quantidade de inóculo foi suficiente para fornecer 100 esporos por planta. Não foi realizada adubação de fósforo nas mudas, a fim de evitar uma possível inibição da colonização devido a fertilização do substrato. Em seguida as mudas foram levadas para casa de vegetação e irrigadas diariamente de forma manual.

Quando as plantas atingiram 4 a 5 pares de folha, aos 150 dias após o transplântio, foram transplantadas para colunas de PVC preenchidas com Latossolo vermelho-amarelo distrófico (LVd) (SANTOS et al., 2018), coletado na camada de 0-20 cm, peneirado em malha de 4 mm não esterilizado (Tabela 1). A coluna foi composta pela sobreposição de três anéis de PVC rígido, de 100 mm de diâmetro e 10 cm de altura, unidos por fita adesiva. As paredes internas das colunas foram recobertas com parafina, visando evitar o escoamento lateral da água. Na base inferior de cada coluna, foi acoplado um prato plástico para que não ocorresse perda de solo.

Tabela 1. Características físicas e químicas do Latossolo Vermelho distrófico utilizado no experimento.

Análise Química												
pH	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al	SB	t	T	V	m	M.O.
CaCl ₂ Água	---- mg dm ⁻³ ---		----- (cmol _c dm ⁻³) -----							%	%	dag kg ⁻¹
5,97	32,73	262,36	0,02	5,03	2,38	2,81	8,08	8,10	10,89	74	0	3,36
Análise Textural												
Areia				Silte				Argila				
----- (dag Kg ⁻¹) -----												
25				24				51				

pH água: Relação solo-água 1:2,5. P e K: Extrator Mehlich-1. Ca, Mg e Al: Extrator KCl 1 mol L⁻¹. T: Capacidade de troca de cátions a pH 7,0. m: Saturação de alumínio. V: Saturação por bases. MO – Teor de matéria orgânica determinado pelo método Walkey & Black.

A adubação de plantio das colunas foi realizada de modo homogêneo nas camadas de 0-30 cm, reduzindo-se a 50% a recomendação de P₂O₅ para o plantio do cafeeiro, que foi de 50 g por cova (64 dm³) (GUIMARÃES et al, 1999), sendo a quantidade convertida para o volume da coluna de PVC de 2,35 dm³. Após 45 dias do plantio, efetuou-se a adubação de cobertura com 5 g de N por planta, utilizando como fonte o sulfato de amônio, de acordo com a Comissão de Fertilidade do Solo de Minas Gerais (GUIMARÃES et al., 1999).

As plantas foram irrigadas diariamente, mantendo 80% da capacidade de campo. O manejo fitossanitário e de plantas daninhas foram realizados manualmente, quando necessário.

Aos 150 dias após o plantio (DAP) foram avaliadas o incremento em altura das plantas, diâmetro do caule e área foliar determinada pelo método não-destrutivo (ANTUNES et al., 2008). Os dados foram obtidos pela subtração da avaliação realizada no primeiro dia do plantio das mudas. Os teores de clorofila total foram determinados com uso do medidor eletrônico de teor de clorofila (clorofiLOG – CFL1030), em quatro folhas do terço médio, expressos em índice de clorofila Falker (ICF).

As plantas foram cortadas rente ao solo, e a parte aérea foi separada em folhas e caules. Em seguida, essas amostras foram acondicionadas em sacos de papel, colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C, até atingirem peso constante, para determinação da massa seca de raízes (MSR) e da massa seca parte aérea (MSPA) e cálculo da razão MSR/MSPA (R/PA). As folhas foram moídas em moinho tipo Willey com peneira de 40 mesh. Em seguida, o material foi digerido em ácido nítrico (HNO₃) para determinação do teor de P pelo método de sistema fechado em forno micro-ondas, conforme metodologia descrita em Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA

(2009), sendo determinado os teores de P por colorimetria (MALAVOLTA et al., 1997).

Na ocasião da colheita, as colunas de PVC foram seccionadas nos três anéis correspondentes e separadas as raízes do solo de cada camada, através da lavagem em água corrente. Uma fração de raízes finas (1 a 2 mm de diâmetro) foi retirada para determinação da colonização micorrízica, sendo o restante das raízes acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa com circulação de ar forçada a 65°C até atingirem peso constante.

Para análise de porcentagem de comprimento de raízes colonizadas (porcentagem de colonização) foram coletadas amostras do sistema radicular, retirando-se de cada camada (anel) da unidade experimental, aproximadamente, 1g de raízes, e armazenando em solução de álcool etílico a 50% até o momento da contagem. As raízes amostradas foram clarificadas com KOH 10%, acidificadas com HCl 1% e coradas com azul de tripano em lactoglicerol 0,05% (PHILLIPS; HAYMAN, 1970). A avaliação da colonização micorrízica foi realizada pelo método de interseção em placa quadriculada, sob microscópio estereoscópico (GIOVANNETTI; MOSSE, 1980), realizando a contagem de no mínimo 100 segmentos de raízes. Também foi realizado a e porcentagem de colonização total, obtida pelo somatório dos valores encontrados em cada camada da coluna de solo.

Os dados foram submetidos à análise de variância e quando significativo as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância. Os dados de massa seca e volume de raízes foram analisados por camada de solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o incremento de área foliar, altura de plantas e diâmetro do caule, houve interação

($p < 0,05$) entre os fatores de FMA e cultivares de café (Tabela 2).

Tabela 2. Incremento de altura de plantas, diâmetro do caule e área foliar de cultivares de *C. arabica* L. com e sem inoculação de fungos micorrízicos arbusculares, aos 150 dias após plantio.

Cultivares	Fungos micorrízicos arbusculares			
	Sem FMA	<i>R. clarus</i>	<i>A. colombiana</i>	Mix
Incremento de área foliar (cm ²)				
Rubi	425 Ab	651,34 Aa	376,81 Bb	600,69 Aa
Catuaí vermelho	440 Ab	486,52 Bb	430,86 Bb	612,32 Aa
Mundo Novo	439 Ab	515,46 Ba	562,64 Aa	570,05 Aa
CV (%)	12,49			
Incremento de altura de plantas (cm)				
Rubi	9,0 Bc	13,60 Bb	10,31 Bc	17,06 Ba
Catuaí vermelho	11,2 Bb	11,83 Bb	12,06 Bb	16,02 Ba
Mundo Novo	18,3 Ab	26,73 Aa	24,41 Aa	25,40 Aa
CV (%)	12,56			
Incremento de diâmetro do caule (mm)				
Rubi	1,82 Bb	2,59 Aa	2,49 Aa	2,54 Ba
Catuaí vermelho	1,96 Bb	2,56 Aa	2,21 Ab	2,56 Ba
Mundo Novo	2,27 Ac	2,79 Ab	2,34 Ac	3,60 Aa
CV (%)	9,41			

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *R. clarus* = *Rhizophagus clarus*, *A. colombiana* = *A. colombiana*, Mix = *Rhizophagus clarus* + *A. colombiana*.

Os incrementos em área foliar para a cultivar Rubi, foram maiores em plantas inoculadas com *R. clarus* e Mix, com aumento de 53,3 e 41,4% respectivamente em relação ao tratamento sem inoculação. Quando inoculadas com *A. colombiana*, essas plantas não apresentaram diferenças significativas. A cultivar Catuaí quando inoculada com inóculo misto, obteve aumento de 39,3% em relação as não inoculadas. Enquanto para a cultivar Mundo Novo, independente do inóculo utilizado, as plantas micorrizadas tiveram maiores incrementos de área foliar quando comparadas as não inoculadas, variando de 17,3 a 29,7% em relação ao controle (Tabela 2). Resultados semelhantes foram observados em mudas de Paricá (*Shizolobium amazonicum*), em que na ausência de adubação fosfatada, a inoculação com as espécies *R. clarus* e o inóculo misto proporcionaram incremento de 49 e 75% na área foliar em relação ao controle (BRITO et al., 2017).

A cultivar Rubi inoculada com *R. clarus* apresentou maior incremento de área foliar do que a Catuaí e Mundo Novo (Tabela 2). Enquanto que para Mundo Novo, quando inoculada com *A. colombiana* houve maior área foliar em relação as demais cultivares (Tabela 2). O aumento de área foliar está provavelmente relacionado ao aumento

de matéria seca das plantas inoculadas, que conferiram maior área para interceptação da energia luminosa para o processo fotossintético, refletindo em maior produção de fotoassimilados que serão, em parte, translocados para os FMA.

Em plantas de Mundo Novo, independente da espécie de FMA, a inoculação proporcionou maiores incrementos de altura, em média de 35,5% em relação as não inoculadas (Tabela 2). Em geral, percebe-se que os melhores resultados foram obtidos com a inoculação da mistura de espécies (Mix), com incremento de 51,9% em relação as plantas não inoculadas (Tabela 2). Isso demonstra a capacidade dos FMA em potencializar o crescimento do cafeeiro pós-plantio, gerando economia na adubação fosfatada na implantação da lavoura. Cafeeiros cultivados em solos com diferentes níveis de saturação por base, apresentaram-se maiores em altura, diâmetro do caule e área foliar quando inoculados com FMA (KONRAD et al., 2014).

Alguns genótipos de plantas podem apresentar respostas variadas na capacidade de colonizar e beneficiar o hospedeiro, embora não exista especificidade na associação de FMA e plantas. A falta de resposta em incremento de altura das plantas de Rubi e Catuaí inoculadas com *A.*

colombiana indica que a colonização radicular possa ter ocorrido com pouca presença de arbúsculos, estrutura fúngica responsável pela troca de nutrientes entre os simbioses, assim a simbiose representa significativo custo de carbono para a planta, que pode ser regulado pelo genótipo do hospedeiro.

A Mundo Novo, dentre as cultivares avaliadas, apresentou maiores incrementos de altura, incluindo o tratamento sem inoculação (Tabela 2). As diferenças observadas no presente trabalho estão relacionadas com as características intrínsecas dessa cultivar, que é de porte alto, conferindo-lhes maiores valores de altura em relação as cultivares de porte baixo. Dessa forma não deve ser considerada como mais responsiva a inoculação diante das demais.

A Rubi inoculada com FMA apresentou maiores diâmetros quando comparadas ao controle, independente da espécie de fungo com aumento em média de 23% maior que as plantas não inoculadas (Tabela 2). As cultivares Catuaí e Mundo Novo apresentaram maior incremento do diâmetro do caule quando inoculadas com *R. clarus* e Mix, este

aumento foi de 30,6% para Catuaí e 40,5% para a Mundo Novo em relação as plantas não inoculadas (Tabela 2). Comparando entre cultivares, os maiores diâmetros foram observados para a cultivar Mundo Novo inoculadas com o Mix e do tratamento controle (Tabela 2). Em estudos com plantas de *Coffea arabica*, houve maiores valores de diâmetro do caule quando inoculados com *Gigaspora margarita* em relação as plantas do controle (KONRAD et al., 2014).

De modo geral, o inóculo misto destacou-se, proporcionando os maiores incrementos no que se refere à altura de plantas, diâmetro do caule e área foliar, em todas as cultivares avaliadas (Tabela 2). O uso de mais de uma espécie de FMA pode apresentar melhores resultados para as plantas hospedeiras em promover o desenvolvimento da planta e beneficiá-la nutricionalmente, devido às diferentes estratégias adaptativas de cada espécie (BERUDE et al., 2018).

A massa seca foliar (MSF), massa seca de caule (MSC) e teores de clorofila total foram influenciados pelos FMA e pelas cultivares ($p < 0,05$) (Tabela 3).

Tabela 3. Massa seca foliar, massa seca de caule e teores de clorofila total das plantas de cultivares de *C. arabica* L. com e sem inoculação de fungos micorrízicos arbusculares, aos 150 dias após o plantio.

Cultivar	Fungos micorrízicos arbusculares			
	Não inoculado	<i>R. clarus</i>	<i>A. colombiana</i>	Mix
Massa seca foliar (g planta ⁻¹)				
Rubi	6,4 Ac	11,03 Aa	8,80 Ab	8,95 Ab
Catuaí Vermelho	6,5 Ab	8,03 Ba	7,27 Bab	7,21 Bab
Mundo Novo	5,2 Bb	7,93 Ba	7,94 Ba	8,00 ABa
CV (%)	8,94			
Massa seca de caule (g planta ⁻¹)				
Rubi	1,50 Ac	3,03 Ba	2,37 Bb	3,20 Ba
Catuaí Vermelho	1,56 Ab	1,75 Cb	1,61 Cb	3,32 Ba
Mundo Novo	2,00 Ab	3,85 Aa	4,14 Aa	4,32 Aa
CV (%)	11,27			
Teores de clorofila total				
Rubi	73,3 Ab	77,15 ABa	76,03 Aa	77,38 Aa
Catuaí Vermelho	72,9 ABb	78,32 Aa	76,30 Aab	77,30 Aab
Mundo Novo	68,9 Bb	73,97 Ba	74,83 Aa	72,05 Ba
CV (%)	3,25			

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *R. clarus* = *Rhizophagus clarus*, *A. colombiana* = *A. colombiana*, Mix = *Rhizophagus clarus* + *A. colombiana*.

A inoculação da cultivar Rubi com *R. clarus* aumentou em 71,2% o incremento de MSF em relação as plantas não inoculadas e demais inóculos, em 36,6% em relação às inoculadas com

A. colombiana e em 38,9% em relação as que receberam o inoculante misto (Tabela 3). As cultivares Catuai e Mundo Novo apresentaram aumento em MSF semelhante para todos os inoculantes (Tabela 3). Quando comparada as cultivares de café em relação a inoculação, observou-se que a Rubi inoculada com *R. clarus* e *A. colombiana* apresentou maior massa seca foliar quando comparadas as demais cultivares, e maior que a Catuai quando inoculadas com o Mix (Tabela 3). O efeito benéfico em promover maior crescimento das plantas hospedeira com a inoculação das espécies de FMA *R. clarus* (Syn. *Glomus clarum*) e *A. colombiana* foi relatado em outros trabalhos para a espécie *C. arabica* (FRANÇA et al., 2014; ARDITO et al., 2017).

Para a cultivar Rubi, o incremento da MSC foi de 102,0% com a inoculação de *R. clarus* e em 113,3 % com o inóculo misto em relação ao controle (Tabela 3). A cultivar Catuai, apresentou diferenças significativas quando inoculadas com inoculante

misto, sendo esse aumento de 112,8% em relação ao controle, 89,7% em relação as plantas inoculadas com *R. clarus* e 106,2% em relação a inoculação com *A. colombiana* (Tabela 3). Enquanto que para a cultivar Mundo Novo, as plantas inoculadas apresentaram maior incremento em MSC do que as plantas não inoculadas, independe do inóculo utilizado (Tabela 3).

A inoculação com FMA aumentou os teores de clorofila total das três cultivares, sendo que para a cultivar Catuai, o maior teor de clorofila total foi observado com a inoculação de *R. clarus* (Tabela 3). O P é um dos nutrientes mais beneficiados pela simbiose, dessa forma, sua maior absorção pode ter contribuído de forma indireta para os teores relativos de clorofila nas folhas, pois como componente da fotossíntese, exerce papel crucial na constituição do NADPH e ATP.

A porcentagem total de raízes colonizadas foi influenciada ($p < 0,01$) pelos inóculos de FMA, e esse efeito foi dependente da cultivar (Tabela 4).

Tabela 4. Porcentagem de colonização micorrízica de cultivares de *C. arabica* L. com e sem inoculação de fungos micorrízicos arbusculares, aos 150 dias após o plantio.

Cultivares	Fungos micorrízicos arbusculares			
	Sem FMA	<i>R. clarus</i>	<i>A. colombiana</i>	Mix
	-----% Colonização -----			
Rubi	13,3 ABd	57,54 Ab	24,40 Cc	65,98 Aa
Catuai Vermelho	10,0 Cc	40,00 Bb	44,79 Ab	57,75 Ba
Mundo Novo	14,9 Ab	36,31 Ba	35,66 Ba	38,91 Ca
CV (%)	7,31			

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *R. clarus* = *Rhizophagus clarus*, *A. colombiana* = *Acaulospora colombiana*, Mix = *Rhizophagus clarus* + *Acaulospora colombiana*.

Em geral, a colonização variou de 24 a 65% nas plantas inoculadas. Para as cultivares Rubi e Catuai, observou-se maiores porcentagem de colonização micorrízica quando inoculadas com Mix, valores de 66,0 e 57,8% respectivamente. Enquanto que a cultivar Mundo Novo, todos os tratamentos de inoculação proporcionaram maiores taxas de colonização em relação as não inoculadas (Tabela 4).

O inoculante contendo a mistura de espécies (Mix) foi o que proporcionou maior porcentagem de colonização micorrízica para a maioria das cultivares (Tabela 4). A Rubi obteve maior colonização micorrízica em relação as demais cultivares, quando inoculadas com *R. clarus*, Mix e no tratamento controle. Já a Catuai apresentou maior quantidade de raízes colonizadas em comparação as demais cultivares quando inoculadas com *A. colombiana* (Tabela 4). Em

genótipos de *Coffea arabica* L. inoculados com diferentes espécies de FMA, observou-se médias em colonização variando de 34 a 62%, sendo os maiores valores obtidos com a utilização do inoculante misto composto por *R. clarus*, *Gigaspora margarita* e *Acaulospora mellea* (FONSECA, 2016).

A grande variação de colonização por fungos micorrízicos arbusculares entre as cultivares avaliadas, sugere que existem diferentes afinidades entre cultivares de café e FMA. Além disso, em solos sem desinfestação, o comportamento do fungo introduzido depende da sua competitividade com os FMA nativos, onde a sua rapidez na colonização e habilidade em manter o nível alto de colonização em condições de competitividade são alguns atributos que contribuem para o seu melhor desempenho.

Os teores foliares de P foram influenciados pela interação entre os fatores ($p < 0,05$) (Tabela 5).

Tabela 5. Teores foliares de fósforo (P) de cultivares de *C. arabica* L. com e sem inoculação de fungos micorrízicos arbusculares, aos 150 dias após o plantio.

Cultivares	Fungos micorrízicos arbusculares			
	Sem FMA	<i>R. clarus</i>	<i>A. colombiana</i>	Mix
	Teores de P foliar (g kg ⁻¹)			
Rubi	0,12 Ab	0,13 Ab	0,12 Ab	0,15 Aa
Catuaí Vermelho	0,12 Aa	0,13 Aa	0,13 Aa	0,13 Ba
Mundo Novo	0,12 Aa	0,13 Aa	0,13 Aa	0,13 Ba
CV (%)	5,38			

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A cultivar Rubi, inoculada com o Mix, apresentou maiores teores foliares de P, com aumento em média de 25% em relação as plantas sem inoculação e aos demais inóculos (Tabela 5). A contribuição dos FMA para o incremento na absorção do fósforo pelas plantas está amplamente aceita e documentada na literatura, entretanto neste trabalho, foi possível observar que este efeito foi dependente do inóculo de FMA e cultivar associada. O genótipo da planta pode regular a forma como os FMA podem influenciar o crescimento da sua planta hospedeira, tanto em nível fisiológico, quanto molecular, alterando também a concentração de fósforo (P) na parte aérea e na expressão de genes

transportadores de fosfato. O aumento do teor de P acumulado em folhas do cafeeiro inoculado com o Mix pode estar associado à maior colonização micorrízica nas raízes das plantas por esse inóculo. Esse resultado indica a capacidade dos FMA estudados em aumentar os teores de P nas folhas das plantas de café cv. Rubi MG 1192, podendo ser utilizados para reduzir os gastos com adubação fosfatada e contribuir para a sustentabilidade agrícola.

A razão entre sistema radicular e parte aérea (R/PA) foi significativa para o fator cultivares e interação entre os fatores cultivares x espécies de FMA (P<0,05) (Tabela 6).

Tabela 6. Razão parte aérea/sistema radicular (R/PA) de cultivares de *C. arabica* L. com e sem inoculação de fungos micorrízicos arbusculares, aos 150 dias após o plantio.

Cultivares	Fungos micorrízicos arbusculares			
	Sem FMA	<i>R. clarus</i>	<i>A. colombiana</i>	Mix
	----- R/PA -----			
Rubi	0,34 Aa	0,40 Aa	0,41 Aa	0,39 Aa
Catuaí Vermelho	0,32 Aab	0,32 Aab	0,26 Bb	0,43 Aa
Mundo Novo	0,31 Aab	0,34 Aa	0,23 Bb	0,26 Bab
CV (%)	16,50			

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *R. clarus* = *Rhizophagus clarus*, *A. colombiana* = *Acaulospora colombiana*, Mix = *Rhizophagus clarus* + *Acaulospora colombiana*.

Para a cultivar Rubi, a relação R/PA manteve-se semelhante em todos os tratamentos de inoculação, no qual não apresentaram diferenças significativas. As cultivares Catuaí e Mundo Novo apresentaram menor relação Raiz/PA quando inoculadas com *A. colombiana*, porém não se diferiu significativamente do controle (Tabela 6). Plantas micorrizadas tendem a reduzir a relação Raiz/PA, resultando em maior eficiência no acúmulo de biomassa, pois parte é

investido proporcionalmente mais em parte aérea do que em raízes (LOVATO et al., 1996). Os resultados indicam que a uma certa dependência entre a cultivar e a espécie de FMA para o acúmulo de matéria seca na parte aérea e raízes do cafeeiro. Este aspecto é de grande importância na produção de plantas em associação com FMA, considerando que a micorrização pode suprir a necessidade da planta em alocar recursos na produção de raízes e

contribuir para o incremento da parte aérea, utilizada para produção de fotoassimilados para ambos os simbiontes (WEIRICH et al., 2018).

A massa seca de raízes (MSR) em camadas de solo, foi significativa para todos os fatores estudados e suas interações ($P < 0,05$) (Tabela 7).

Tabela 7. Distribuição de massa seca de raízes de cultivares de *C. arabica*. L inoculadas ou não com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em camadas do solo, aos 150 dias após o plantio.

Cultivar	Camadas (cm)	Fungos micorrízicos arbusculares			
		Sem FMA	<i>R. clarus</i>	<i>A. colombiana</i>	Mix
Rubi MG 1192	0-10	1,30 Ac	2,03 Aab	1,80 Ab	2,27 Aa
	10-20	0,69 Bc	2,01 Aa	1,27 Bb	1,00 Cbc
	20-30	0,76 Bb	1,43 Ba	1,39 Ba	1,48 Ba
Catuaí Vermelho IAC 144	0-10	1,46 Ab	1,21 Ab	1,31 Ab	2,07 Aa
	10-20	0,56 Bb	0,70 Bab	0,52 Bb	1,09 Ba
	20-30	0,75 Bbc	1,04 Aab	0,45 Bc	1,42 Ba
Mundo Novo IAC 379-19	0-10	1,54 Ab	2,31 Aa	1,55 Ab	1,62 Ab
	10-20	0,52 Ba	0,87 Ba	0,58 Ba	0,69 Ba
	20-30	0,50 Ba	0,79 Ba	0,63 Ba	0,71 Ba
CV (%)	19,76				

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *R. clarus* = *Rhizophagus clarus*, *A. colombiana* = *Acaulospora colombiana*, Mix = *Rhizophagus clarus* + *Acaulospora colombiana*.

A cultivar Rubi inoculada com *R. clarus* teve um aumento de 56 % na MSR, e de 74% quando inoculadas com Mix na camada de 0-10 cm, na camada de 10-20 cm, esses aumentos foram de 191 e 84% respectivamente quando comparadas ao as plantas não inoculadas (Tabela 7). Na camada de 20-30 cm, a produção de MSR foi aumentada com a inoculação de FMA, independente do inóculo utilizado (Tabela 7). A cultivar Catuaí, entretanto, somente aquelas inoculadas com Mix diferiram das não inoculadas com incrementos de 41, 94 e 89% nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm respectivamente (Tabela 7). A cultivar Mundo novo, inoculada com *R. clarus* na camada de 0,10 cm, houve aumento de 50% em relação ao as plantas não inoculadas, 49% em relação ao tratamento com *A. colombiana* e de 42% quando comparada as plantas inoculadas com Mix (Tabela 7). A falta de resposta no incremento de massa seca de raízes em profundidades das plantas inoculadas com *A. colombiana* podem ser explicadas, uma vez que o gênero pertencente a esta espécie é mais adaptado em solos de pH mais ácido (SILVA et al., 2015), o que pode ter afetado as taxas de geminação do fungo, uma vez que o solo utilizado no presente estudo possui o pH de 5,97.

Para a MSR em profundidades de cada cultivar, observou-se que inóculo *R. clarus* promoveu maior quantidade de massa seca radicular até a camada de 20 cm do solo em plantas da cultivar Rubi e nas camadas de 0-10 e 20-30 cm da cultivar Catuaí (Tabela 7).

Embora o desenvolvimento do sistema radicular do cafeeiro esteja ligado, principalmente, à genética da planta e a quantidade de água no solo (PARTELLI et al., 2014), acredita-se que neste estudo, a maior quantidade de raízes em profundidade das cultivares Rubi e Catuaí possam ter ocorrido como resposta fisiológica das plantas a presença dos FMA, com reflexos em maior desenvolvimento do sistema radicular. Esse aumento do sistema radicular em profundidade no solo, é de extrema importância, pois possibilita as plantas adquirirem água e nutrientes em períodos de escassez de água, ou até mesmo em solos com alguma limitação física.

A porcentagem de colonização micorrízica em profundidade no solo se concentrou na camada de 0-10 cm em todas as cultivares e inóculos de FMA, com redução à medida que se aumenta a profundidade (Tabela 8).

Tabela 8. Porcentagem de colonização micorrízica de cultivares de *Coffea arabica*. L inoculadas ou não com fungos micorrízicos arbusculares em profundidades do solo, aos 150 dias após o plantio.

Cultivar	Camada (cm)	Fungos micorrízicos arbusculares			
		Sem FMA	<i>R. clarus</i>	<i>A. colombiana</i>	Mix
Rubi MG 1192	0-10	9,0 Ad	44,79 Ab	22,14 Ac	50,24 Aa
	10-20	4,0 Bb	12,00 Ba	5,00 Bb	13,75 Ba
	20-30	0,3 Ca	0,75 Ca	0,25 Ca	2,00 Ca
Catuaí Vermelho IAC 144	0-10	7,50 Ad	22,58 Ac	28,29 Ab	37,50 Aa
	10-20	2,50 Bb	16,42 Ba	16,00 Ba	17,50 Ba
	20-30	0,00 Ba	1,00 Ca	0,50 Ca	2,75 Ca
Mundo Novo IAC 379-19	0-10	11,69 Ac	31,04 Aa	28,41 Ab	33,16 Aa
	10-20	3,75 Ba	5,02 Ba	5,75 Ba	5,00 Ba
	20-30	1,50 Ba	0,25 Ca	1,50 Ca	0,75 Ca
CV (%)	17,01				

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *R. clarus* = *Rhizophagus clarus*, *A. colombiana* = *Acaulospora colombiana*, Mix = *Rhizophagus clarus* + *Acaulospora colombiana*.

A maior parte do sistema radicular de plantas de café está distribuída na camada superficial do solo (RONCHI et al., 2015), e essas raízes são mais finas, nos quais os fungos micorrízicos arbusculares comumente se associam, o que explica as maiores taxas de colonização nessa camada do solo.

As maiores taxas de porcentagens de colonização na camada superficial (0-10 cm) foram observadas para a cultivar Rubi quando inoculadas com Mix, que diferiu do controle e dos demais inóculos (Tabela 8). Na camada de 0-20 cm as plantas inoculadas com *R. clarus* e Mix foram superiores ao tratamento controle, por outro lado, na última camada de solo 20-30 cm não foram encontradas diferenças significativas entre os inóculos e o tratamento controle (Tabela 8).

Para a cultivar Catuaí na camada de 0-10 cm e inoculadas com o Mix, verificou-se maiores porcentagens de colonização em relação as plantas não inoculadas e aos tratamentos com *R. clarus* e *A. colombiana* (Tabela 8). Já na camada de 20-30 cm as plantas inoculadas apresentaram maior porcentagem de colonização em relação as não inoculadas, independente do inóculo utilizado

(Tabela 8). Por outro lado, na camada de 20-30 cm não foram observadas diferenças entre os tratamentos de inoculação micorrízica (Tabela 8). Nas plantas da cultivar Mundo novo, a porcentagem de colonização na camada de 0-10 cm foi maior quando inoculada com *R. clarus* e Mix, com valores de 31,04 e 3,16% respectivamente, diferindo-se do controle (Tabela 8).

A colonização por FMA podem variar de acordo com fatores edafoclimáticos, atributos químicos e físicos do solo. Dessa forma acredita-se que menor presença de colonização micorrízica nas raízes mais profundas do solo, possa estar relacionada a baixa pressão parcial de oxigênio que prevalece em profundidade, uma vez que estes fungos são aeróbicos e, portanto, a água utilizada na irrigação dessas plantas tenha se acumulado nos últimos anéis da coluna de solo, impedindo a sobrevivência dos esporos.

Há escassez de trabalhos que avaliariam a porcentagem de colonização em raízes de cafeeiro quanto a profundidade no solo. No entanto, as maiores porcentagens de colonização em profundidade observadas para as cultivares Rubi e Catuaí inoculadas com *R. clarus* e Mix, indicam uma

melhor distribuição de FMA nas raízes mais profundas do solo, possibilitando essas plantas terem maior superfície de contato das raízes com água e nutrientes, uma vez que a associação micorriza aumenta consideravelmente o volume de solo explorado pelas plantas.

CONCLUSÕES

A inoculação com fungos micorrizicos arbusculares aumenta o crescimento das plantas de café e massa seca radicular em profundidade, com sua intensidade dependente da cultivar.

A cultivar Rubi MG 1192 foi mais responsiva a inoculação com fungos micorrizicos arbusculares, apresentando maior crescimento da parte aérea, sistema radicular e acúmulo de fósforo nas folhas.

O inóculos *R. clarus* e a mistura dos fungos *R. clarus* e *A. colombiana* são os mais recomendados para as cultivares avaliadas.

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, W. C.; POMPELLI, M. F.; CARRETERO, D. M.; DAMATTA, F. M. Allometric models for non-destructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*). *Annals of Applied Biology*, v. 153, n. 1, p. 33-40, 2008.
- ARDITO, A. C. D. S.; SAGGIN-JÚNIOR, O. J.; FORS, R. O.; COSTA, R. S. C. D.; SILVA, E. M. R. D. Arbuscular mycorrhizal fungi selection for *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner clonal cultivar conilon 'BRS OURO PRETO'. *Coffee Science*, Lavras, v. 12, n. 4, p. 486-497, 2017.
- BERUDE, M. C.; ALMEIDA, D.; RIVA, M.; CABANÉZ, P.; AMARAL, A. Micorrizas e sua importância agroecológica. *Enciclopédia Biosfera*, v. 11, n. 22, p. 132, 2018.
- BRITO, V. N.; TELLECHEA, F. R. F.; HEITOR, L. C.; FREITAS, M. S. M.; & MARTINS, M. A. Fungos micorrizicos arbusculares e adubação fosfatada na produção de mudas de paricá. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 485-497, 2017.
- CONAB - Companhia nacional de abastecimento : Levantamento da Safra Brasileira – Café. Quarta Estimativa, dezembro de 2017. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>>. Acesso em: 20 mar. 2019.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. Sistema de Classificação de solos. 5. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2018.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, Embrapa informação tecnológica, 2009.
- FONSECA, A. J. Fungos micorrizicos arbusculares no desenvolvimento inicial de genótipos de *Coffea arabica* L. 74 f. Tese (Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Programa de Pós Graduação em Agronomia/Fitotecnia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.
- FRANÇA A. C.; CARVALHO, F. P.; FRANCO, M. H.; AVELAR, M. D.; SOUZA, B. P.; STÜRMER, S. L. Crescimento de mudas de cafeeiro inoculadas com fungos micorrizicos arbusculares. *Revista Brasileira Ciências Agrárias*. v. 9, n. 4, p. 506-11, 2014.
- GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, London, v. 46, n. 2, p. 235-244, 1963.
- GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, Cambridge, Grã-Bretanha, v. 84, n. 3, p. 489-500, 1980.
- GUIMARAES, P.T.G.; GARCIA, A.W.R.; ALVAREZ V., V.H.; PREZOTTI, L.C.; VIANA, A.S.; MIGUEL, A.E.; MALAVOLTA, E.; CORRÊA, J.B.; LOPES, A.S.; NOGUEIRA, F.D.; MONTEIRO, A.V.C.; OLIVEIRA, J.A. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.289-302.
- KONRAD, M. L. F.; FURLANI, P. R.; CASSIOLATO, A. M. R.; SILVEIRA, A. P. D. Resposta do cafeeiro á inoculação de fungos micorrizicos arbusculares, em Latossolo Vermelho de cerrado. *Bioscience, Journal*, Uberlandia, v. 30, n. 4, p. 933-941, 2014.
- LOVATO, P.E.; TROUVELOT, A.; GIANINAZZI-PEARSON, V.; GIANINAZZI, S. Micorrização de plantas micropropagadas. In: SIQUEIRA, J.O. (ed.). *Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas*. Lavras, MG: UFLA, pp. 175-201, 1996.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. D. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 317p.
- MARTINS, R. M. S.; MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P. Crescimento micelial de fungos micorrizicos arbusculares e formação de micorriza em solo contaminado por cádmio. *Revista Scientia Agraria*, v. 18, n. 3, p. 48-60, 2017.
- PARTELLI, F. L.; COVRE, A. M.; OLIVEIRA, M. G.; ALEXANDRE, R. S.; VITÓRIA, E. L. D.; SILVA, M. B. D. Root system distribution and yield of 'Conilon' coffee propagated by seeds or cuttings. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 49, n. 5, p. 349-355, 2014.

- PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D.S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesiculararbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *British Mycological Society Transactions*, Cambridge, Grã-Bretanha, v. 55, n. 1, p. 158-160, 1970.
- RONCHI, C. P.; JÚNIOR, J. M. D. S.; AMEIDA, W. L. D.; SOUZA, D. S.; SILVA, N. O.; OLIVEIRA, L. B. D.; GUERRA, A. M. N. M.; FERREIRA, P. A. Morfologia radicular de cultivares de café arábica submetidas a diferentes arranjos espaciais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 50, n. 3, p. 187-195, 2015.
- SILVA, D. V.; PEREIRA, G. A. M.; FREITAS, M. A. M. D.; SILVA, A. A. D.; SEDIYAMA, T.; SILVA, G. S.; FERREIRA, L. R.; CECON, P. R. Nutritional efficiency of maize in intercropping with signalgrass. *Ciência Rural*, v. 45, n. 8, p. 1394–1400, 2015.
- WEIRICH, S. W.; DA SILVA, R. F.; PERRANDO, E. R.; DA ROS, C. O.; DELLAI, A.; SCHEID, D. L.; TROMBETA, H. W. Influência de ectomicorrizas no crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis*, *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus saligna* E *Eucalyptus dunnii*. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 765-765, 2018.
- SANTOS, T. B. D.; MEDA, A. R.; SITTA, R. B.; VESPERO, E. B.; PAVAN, M. A.; CHARMETANT, P.; DOMINGUES, D. S. Caracterização nutricional de acessos provenientes da Etiópia de café arábica. *Coffee Science*, Lavras, v. 10, n. 1, p. 10-19, 2015.