

# RESPOSTA DO CAFEIEIRO À INOCULAÇÃO DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES, EM LATOSSOLO VERMELHO DE CERRADO

## RESPONSE OF COFFEE PLANTS COLONIZED INOCULATION WITH ARBUSCULAR MUCORRHIZAL FUNGI, IN RED LATOSOL OF CERRADO

**Maria Luiza de Freitas KONRAD<sup>1</sup>; Pedro Roberto FURLANI<sup>2</sup>;  
Ana Maria Rodrigues CASSIOLATO<sup>3</sup>; Adriana Parada Dias da SILVEIRA<sup>2</sup>**

1. Professora Doutora, Universidade Federal do Tocantins - UFT, Arraias, TO, Brasil. [lkonrad@uft.edu.br](mailto:lkonrad@uft.edu.br);

2. Instituto Agronômico - IAC, Centro de Solos e Recursos Ambientais, Campinas, SP, Brasil; 3. Faculdade de Engenharia, Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos - UNESP, Ilha Solteira, SP, Brasil.

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi verificar a resposta de dois cultivares de café (sensível e tolerante ao alumínio - Al), à inoculação de *Gigaspora margarita* e *Glomus etunicatum*, em Latossolo Vermelho do cerrado, com diferentes saturações por bases (30, 45 e 53 %). O experimento foi realizado em casa de vegetação, com delineamento inteiramente casualizado e em esquema fatorial 2x3x3, consistindo de 2 cultivares de (tolerante e sensível a Al), 3 tratamentos com micorriza (com inoculação de duas espécies de FMA e sem inoculação) e 3 níveis de saturação por bases do solo (V%), com cinco repetições por tratamento. As variáveis foram: altura da planta, diâmetro do caule, área foliar, massa da matéria seca da parte aérea, massa da matéria fresca de raiz, atividade da redutase do nitrato, teor de clorofila, colonização micorrízica e número de esporos. Os isolados de micorrizas proporcionaram maior crescimento do cafeeiro em solo ácido com alta concentração de Al, porém esta resposta foi verificada para ambos os cultivares quando colonizados por *G. margarita*. Os cultivares avaliados não mostraram diferenças quanto à tolerância ao Al quando não micorrizados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Micorriza arbuscular. Redutase de nitrato. Alumínio tóxico. Saturação por bases do solo. Tolerância a alumínio. *Coffea arabica*.

### INTRODUÇÃO

Entre as limitações da fertilidade do solo da região dos cerrados estão os baixos teores de fósforo disponível e a acidez elevada que disponibilizando o alumínio (Al) em níveis que podem ser tóxicos às plantas. Os níveis tóxicos de Al no solo provocam a morte ou injúria do meristema radicular aumentando a rigidez da parede celular, resultando em raízes atrofiadas (GUIMARÃES et al., 2006). Conseqüentemente, as plantas afetadas apresentam redução do crescimento e da produtividade (FREITAS et al., 2012), por deficiência na absorção de água e nutrientes pela raiz. Isto resulta na redução do volume de solo explorado, limitando a absorção de nutrientes e a busca pela água nas camadas mais profundas do solo, diminuindo o seu potencial produtivo (CHAFFAI et al., 2005).

O uso de cultivares tolerante e de mudas colonizadas por fungos micorrízicos arbusculares (FMA) tem sido uma alternativa para produção em solos ácidos e, também, o uso de mudas colonizadas por fungos micorrízicos arbusculares (FMA). A presença dos FMA, em associação com as plantas altera quantitativa e qualitativamente os exsudados radiculares, o que, conseqüentemente, modifica a microbiota associada à micorrizosfera e, portanto, a

aquisição de nutrientes pela planta (NOGUEIRA et al., 2004). As micorrizas podem, assim, influenciar na tolerância a estresses por alumínio, como observado por Cuenca et al. (2001), em um significativo efeito protetor dos FMA a plantas expostas ao excesso de Al.

Os FMA exercem, ainda, grande influência na estruturação do solo, influenciando o crescimento, nutrição e adaptação das plantas aos ambientes com estresses no solo (SIQUEIRA et al., 2007), pelo aumento da área de absorção das raízes promovida pelas micorrizas. Aumentam significativamente a absorção de nutrientes com baixa mobilidade e concentração na solução do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), como o fósforo, precipitado em solos ácidos, com altos teores de Al. A importância do incremento na absorção de fósforo, pelas micorrizas, se dá também pelo fato deste ser o nutriente limitante para a produção agrícola nos trópicos, com previsão de esgotamento dos estoques até o final do século XXI (BALOTA et al., 2012).

Grande parte dos estudos realizados sobre a fisiologia das plantas de cafeeiros visa, essencialmente, ao conhecimento das relações entre a planta e os fatores abióticos (fotossíntese, respiração, nutrição mineral, relações hídricas, etc.).

Portanto, há grande lacuna no entendimento da interação entre o metabolismo fisiológico da planta e os fatores bióticos como a presença das micorrizas (BONFIM et al., 2010).

A inoculação de FMA exerce pouco efeito no crescimento de mudas de cafeeiro com adequado suprimento de fósforo, mas favorece-lhes o crescimento pós-transplante para solo com baixo teor deste nutriente. A dependência do cafeeiro e os efeitos benéficos da micorrização a essa planta já foram observados com diferentes espécies de FMA e em várias condições de solo e de manejo (TRISTÃO et al., 2006).

Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar a resposta de dois cultivares de café (um sensível e outro tolerante a Al) à inoculação de *Gigaspora margarita* e *Glomus etunicatum*, em Latossolo Vermelho do cerrado, com diferentes saturações por bases (30, 45 e 53 %).

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação modelo em semi-arco, na Faculdade de Engenharia da UNESP, Campus de Ilha Solteira. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, em esquema fatorial 2 x 3 x 3, consistindo de 2 cultivares de café (tolerante e sensível a Al), 3 tratamentos com micorriza (com inoculação de duas espécies de FMA e sem inoculação) e 3 níveis de saturação por bases do solo (30, 45 e 53 V%) com cinco repetições por tratamento.

Os genótipos de café foram doados pela UFV-EPAMIG, sendo o cultivar UFV 2237 (genótipo de Catuaí Vermelho, H 2077-2-5-15) sensível ao Al (cvsens) e o UFV 2149 (Catuaí Amarelo H 2077-2-12-91) tolerante ao Al (cvtol),

quando cultivado em solução nutritiva (Braccini et al., 1998).

O inóculo de *G. etunicatum*, procedente da coleção da Embrapa - CPAC, foi obtido da multiplicação em vaso de cultivo com *Brachiaria decumbens* Stapf, por aproximadamente 180 dias. O inóculo final constou do substrato (solo:areia, 2:1, v:v) contendo pedaços de raiz colonizada, micélio e esporos do FMA na quantidade de 800 esporos por 50 mL de solo-inóculo. O inóculo de *Gigaspora margarita*, proveniente do Centro de Solos da Universidade Federal de Lavras (DCS-UFLA) continha cerca de 500 esporos por 50 mL de solo-inóculo.

O solo do experimento, classificado como latossolo vermelho escuro, ácido, foi coletado na camada superficial (0 - 0,20 m), na Fazenda de Ensino e Pesquisa da UNESP, Campus de Ilha Solteira, localizada em Selvíria, MS, em área de pastagem degradada, originalmente Cerrado *sensu stricto*. O pH do solo foi corrigido com a adição de 0,35 e 0,8 g L<sup>-1</sup> de calcário calcítico, PRNT = 96%, CaO = 36% e MgO = 3% para se obter 40 e 60% de saturação por bases, respectivamente. Os níveis de saturação por bases utilizadas foram V<sub>1</sub> = V% original = 30%; V<sub>2</sub> = 40% e V<sub>3</sub> = 60%. Após 30 dias da aplicação de calcário, V<sub>2</sub> e V<sub>3</sub> apresentavam valores de V% de 45 e 53 %, respectivamente, como pode ser verificado na análise de fertilidade (Tabela 1). Foi realizada uma adubação com N, P e K para permitir um crescimento adequado da planta, adicionando-se as seguintes quantidades de nutrientes: 0,16 g de cloreto de potássio, 0,10 g de sulfato de amônia e 0,506 g de superfosfato simples por dm<sup>3</sup> de solo. O solo foi homogeneizado e incubado por 30 dias e as características químicas são mostradas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Características químicas do solo 30 dias após a aplicação do corretivo.

V	pH*	Al	H+A	K	Ca	Mg	P	S-SO <sub>4</sub>	B	Cu	Fe	Mn	Zn	M O
%			mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					mg dm <sup>-3</sup>				g dm <sup>-3</sup>		
30	4,3	5,0	28	2,7	5	5/	34	39	0,2 3	2,0	17	13, 1	0,2	15
45	5,0	0,5	20	2,7	11	3	28	60	0,1 3	2,5	15	13, 1	0,2	20
53	5,3	<0,1	18	2,5	16	2	24	82	0,1 0	2,4	13	10, 9	0,2	15

\* pH em CaCl<sub>2</sub>

Com o objetivo de eliminar qualquer estrutura de fungo micorrízico nativo, o solo foi fumigado com 98% de brometo de metila e 2% de

cloropicrina ("Bromex") na proporção de 263 cm<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, por 3 dias, deixando-se descoberto por mais 3 dias para evaporação do produto. As sementes de

café foram desinfestadas com hipoclorito de sódio 1% por 5 minutos, lavadas com água destilada e colocadas para germinar em caixas plásticas contendo areia lavada e desinfestada por fumigação com “Bromex” (procedimento igual ao anteriormente descrito), por 30 a 40 dias até o estádio de orelha-de-onça. Os dois cultivares de café foram então transplantados para vasos de polietileno com capacidade para 3 L contendo uma mistura de solo e areia (4:1, v:v) com a adubação básica e a saturação por bases como descritos anteriormente. Cada vaso, constituindo uma parcela, continha uma planta após o desbaste.

No momento do transplântio foi realizada a inoculação dos FMA (*G. etunicatum* e *G. margarita*) no solo, bem próximo ao sistema radicular das plantas. Para tanto foi feito um sulco onde o inóculo foi colocado ao fundo, antes da plântula e do solo de cobertura. O tratamento controle não recebeu solo inóculo, mas foram adicionados 50 mL de filtrado de solo por planta, livre de propágulos de FMA, para equilibrar a microbiota nativa entre os tratamentos.

A umidade do solo do experimento foi mantida entre 60 e 70% do volume total de poros (VTP) da mistura, por irrigações periódicas, usando um sistema de irrigação por gotejamento em cada vaso. O crescimento das plantas foi acompanhado até 206 dias após o transplântio (DAT), quando foram medidas as alturas de planta e diâmetro do caule, antes do corte da parte aérea. A área foliar das plantas foi medida em medidor de área foliar do tipo esteira, marca Li-cor modelo Li-3.100 area meter. A parte aérea foi separada da raiz e seca em estufa com ventilação forçada a 60 °C por 72 horas. Após a secagem, procedeu-se a pesagem para obtenção da massa de matéria seca da parte aérea. A raiz preservada foi lavada, seca em papel toalha, pesada e conservada em etanol 50%, para posterior determinação da colonização micorrízica.

A quantificação de clorofila foi feita na segunda folha completamente expandida, aos 71 e 157 DAT, utilizando-se medidor de clorofila Spad – meter 502 (Minolta Co. Ltda., Japan), e expressa em mg de clorofila cm<sup>-2</sup>. A atividade da enzima redutase de nitrato em folha foi determinada por espectrofotometria a 540 nm, da reação colorimétrica em reagente contendo sulfanilamida 1% e N-naftil 0,02% (Randall, 1969). Os resultados foram expressos em  $\mu\text{g NO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ .

Das raízes finas conservadas, uma amostra de 1g de raiz foi despigmentada com KOH 5% a 90 °C, acidificada em HCl 2%, corada com azul de tripan (KOSKE; GEMMA, 1989) a 90 °C e

conservada em lactoglicerol. A porcentagem de raiz colonizada pelo fungo micorrízico foi estimada pelo método da visualização de segmentos de raiz em lâminas, sob microscópio óptico (GIOVANNETTI; MOSSE, 1980).

Para a contagem do número de esporos de FMA foi empregado o método do peneiramento úmido (GERDEMANN; NICOLSON, 1963), seguido por centrifugação e flotação em sacarose 50%. A avaliação deu-se em placas de petri de acrílico com anéis concêntricos, sob microscópio estereoscópio, com o resultado expresso em número de esporos por 100 g de solo.

Todos os dados foram submetidos à análise de variância, utilizando o programa SAS para Windows e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5%. Para a análise de regressão foi empregado o programa SANEST. Os dados correspondentes a contagens de esporos foram transformados para  $\log(x+1)$  e os referentes à colonização micorrízica, para  $\text{arc sen}(x/100)^{1/2}$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O menor crescimento dos cultivares não colonizados por FMA sob as condições de V% do solo, mostram a elevada dependência à simbiose micorrízica do cafeeiro (SIQUEIRA; COLOZZI-FILHO 1986; LOPES et al., 1983).

Os resultados obtidos mostraram o efeito limitante do Al no crescimento e crescimento de plantas de café em solos ácidos, mas principalmente reforçaram os efeitos benéficos e protetores promovidos pelas micorrizas arbusculares às plantas em condições de estresse. Ambos os cultivares de café, colonizados tanto por *G. margarita* quanto por *G. etunicatum*, nas três condições de V% (Tabela 1), apresentaram alturas, diâmetro e área foliar significativamente maiores que as plantas não micorrizadas (Tabela 2). O menor crescimento dos cultivares não colonizados por FMA sob condições de V% do solo, mostram elevada dependência à simbiose micorrízica do cafeeiro (SIQUEIRA; COLOZZI-FILHO, 1986; LOPES et al., 1983).

Notou-se um maior crescimento para as plantas colonizadas por FMA, com maiores alturas, diâmetro e área foliar, mesmo em solo ácido sem correção por calcário (pH de 4,3; V% de 30 e 5 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-1</sup> de Al). Neste tratamento as plantas não micorrizadas praticamente não cresceram, permitindo inferir que os FMA empregados eram adaptados a solos ácidos e mostraram efeito protetor demonstrado (Tabela 2).

**Tabela 2.** Altura, diâmetro e área foliar dos cultivares de *Coffea arabica* tolerante (Cv TOL) e sensível (Cv SENS) ao Al, na presença de *Gigaspora margarita* (GIM) e *Glomus etunicatum* (GET)) e ausência de fungo micorrízico arbuscular (NM), em três saturações por bases do solo (V%).

Fungos/ Cultivar	Altura (cm)			Diâmetro (cm)			Área foliar (cm <sup>2</sup> )		
	NM	GIM	GET	NM	GIM	GET	NM	GIM	GET
	V 30%			V 30%			V 30%		
Cv TOL	4,6aC	26,5aA	19,3aB	1,4aC	4,9aA	2,9bB	26,3aC	528,2aA	348,1bB
Cv SENS	6,1aB	24,8aA	28,2aA	1,5aB	4,9aA	4,4aA	31,6aC	462,2aB	739,8aA
	V 45%			V 45%			V 45%		
Cv TOL	5,7aC	23,0aA	15,3bB	1,6aC	4,3aA	3,1aB	40,7aC	575,5aA	323,9bB
Cv SENS	5,2aB	24,7aA	23,1aA	1,5aB	4,7aA	3,8aA	33,4aB	479,2aA	579,3aA
	V 53%			V 53%			V 53%		
Cv TOL	4,9aB	20,6bA	21,8aA	2,0aB	4,5aA	4,6aA	31,9aB	390,2bA	431,3bA
Cv SENS	6,9aB	25,2aA	25,5aA	2,1aB	4,2aA	4,1aA	43,9aB	529,9aA	561,1aA

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Letra minúscula – comparação na coluna entre cultivares, dentro do mesmo fungo e saturações por bases. Letra maiúscula – comparação na linha entre fungos micorrízicos, dentro da mesma cultivar e saturações por bases.

A micorrização também mostrou benefícios ao cafeeiro sendo que, no geral, *G. margarita* (GM) causou incremento de 4,1 vezes e 2,8 vezes e *G. etunicatum* (GET) de 3,6 vezes e 2,4 vezes, respectivamente, na altura e no diâmetro, em relação ao tratamento controle não micorrizado (NM) (Tabela 2). Cuenca et al. (2001) notaram um efeito protetor de plantas pelas micorrizas em solos com acidez elevada. O efeito foi maior, com maior crescimento da parte aérea e da raiz das plantas quando os isolados de FMA eram provenientes de solos ácidos do que com os isolados de solos neutros, demonstrando também uma adaptação das micorrizas ao meio.

No geral, os cultivares não diferiram entre si quanto às variáveis de crescimento. Entretanto, quando houve diferença, sempre a cultivar sensível ao Al superou a tolerante, refletindo os benefícios micorrízicos em detrimento dos cultivares. Para a cultivar sensível ao Al, as plantas colonizadas por *G. margarita* não diferiram das colonizadas por *G. etunicatum*, em todas as V% do solo, exceto na menor (V% = 30), na qual as colonizadas por *G. etunicatum* mostraram maior área foliar. As plantas colonizadas por *G. margarita*, entretanto, tiveram maior altura, diâmetro de caule e área foliar nas três condições de V% (Tabela 2).

Não houve efeito da variação da V% sobre o crescimento das plantas não micorrizadas (Tabela 3) e ambos os cultivares apresentaram baixo crescimento. A baixa resposta do cultivar Catuai amarelo, tolerante ao Al, contraria ao resultado obtidos por (MATTIELLO et al., 2008) em cujo ensaio o Catuai amarelo apresentou bom crescimento vegetativo em presença de Al. No mesmo trabalho os autores preconizam que fatores como a idade das plantas e quantidade de matéria

seca interferem na resposta de plantas submetidas ao estresse por Al. Quando as plantas apresentam menor matéria seca inicial são mais afetadas, devido a menor disponibilidade de carboidratos e possibilidade de produção de ácidos orgânicos que complexam o alumínio tóxico. No presente trabalho, todas as mudas foram transplantadas em estágio de orlha de onça o que talvez tenha contribuído para homogeneizar as respostas ao estresse por Al nas plantas não colonizadas.

Outras explicações para a não diferenciação entre os cultivares sensível e tolerantes ao Al no ensaio sem micorrizas seriam a dependência micorrízica do cafeeiro, que em ausência dos FMA apresenta crescimento mínimo e também fatores como os citados por Mattiello et al. (2008) do solo e clima que se sobrepõem aos efeitos do Al em ensaios de campo. Como este experimento ocorreu em vasos com solos ácidos e clima do cerrado, estes fatores se somam aos estritamente da toxidez do Al, como é o caso de ensaios em solução nutritiva. Considerando que estes fatores ocorrem normalmente no campo, outros ensaios seriam necessários para melhor compreensão.

A cultivar tolerante colonizada mostrou melhor resposta à V% do solo do que a sensível. Na cultivar tolerante colonizada por *G. etunicatum* houve um ajuste quadrático para as variáveis altura da planta ( $Y=0,47x^2-37,9x+90,8$ ;  $r^2=1^*$ ), diâmetro do caule ( $Y=0,08x^2-0,57x+13,06$ ;  $r^2=1^*$ ), massa da matéria seca da parte aérea ( $Y=0,012x^2-0,89x+18,6$ ;  $r^2=1^*$ ), com um pico na maior V% (53%), enquanto que para a massa da matéria fresca de raiz ( $Y=0,2x+2,38$ ;  $r^2=0,80^*$ ), o ajuste foi linear, ou seja, aumentou com o aumento na V% ou com a diminuição do Al tóxico do solo.

Nas colonizadas por *G. margarita*, no

entanto, o ajuste foi linear para altura da planta e massa da matéria seca da parte aérea e quadrático para área foliar, mas decresceu com o aumento na V%, ou seja, a simbiose foi mais eficiente em solos mais ácidos, com maior concentração de Al tóxico. Para a cultivar sensível, no geral não houve efeito da V% no crescimento das plantas, exceto para a massa da matéria fresca de raiz das plantas colonizadas por *G. margarita* e área foliar e massa da matéria seca da parte aérea, das colonizadas por *G. etunicatum* que mostraram efeito linear descendente, indicando melhor resposta em solos mais ácidos, ou seja, menor V%. Provavelmente, isto ocorreu devido à origem dos isolados de FMA empregados, provenientes de solos ácidos de cerrado, ou seja, já adaptados a menor pH e condições de alta disponibilidade de Al.

Konrad et al. (2005) avaliando cafeeiros submetidos a concentrações crescentes de Al, notaram queda na taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> devido ao efeito tóxico do Al, por injúrias na atividade fotoquímica do aparato fotossintético, provavelmente por destruir estruturas das membranas dos tilacóides o que compromete a fotossíntese. Neste experimento, o estabelecimento da micorriza teve influência significativa aumentando a concentração de clorofila nas folhas do cafeeiro, promovendo conseqüentemente, melhora na capacidade fotossintética da planta.

Aos 71 DAT, em ambos cultivares colonizadas por *G. margarita* e nas três condições de V% do solo, a concentração de clorofila foi significativamente maior que nas plantas colonizadas por *G. etunicatum* e nas não micorrizadas, sugerindo que durante este período *G. margarita* propiciou melhor condição fotossintética para a planta. Tristão et al. (2006) também verificaram maiores teores de clorofila e de carotenóides em mudas de cafeeiro colonizadas por *G. margarita*. Aos 157 DAT, o teor foi significativamente maior nas plantas micorrizadas para ambos os FMAs e em todas as V% do solo. Em ambas as épocas, praticamente não houve diferença entre os cultivares (Tabela 2). Somente ocorreu resposta do teor foliar de clorofila à variação na V% aos 71 DAT, nas plantas não micorrizadas da cultivar sensível e nas colonizadas por *G. etunicatum* na cultivar tolerante, havendo um ajuste quadrático com um aumento no teor de clorofila na maior V% (Tabela 3).

A redutase do nitrato é considerada uma enzima chave na regulação do metabolismo do N, uma vez que o nitrato absorvido pelas raízes deve ser reduzido antes de ser incorporado em compostos nitrogenados no sistema radicular e na parte aérea.

A análise da variância para a atividade da redutase do nitrato também mostrou efeito significativo do FMA e do V% do solo. Nas plantas cultivadas no solo com V% de 53, a atividade da enzima não foi influenciada pelo FMA e nem pelos cultivares. Entretanto, na V% de 30 e 45, as plantas colonizadas por *G. etunicatum*, em ambos cultivares, diferiram significativamente e apresentaram maior atividade enzimática. Na V% de 45, as plantas da cultivar tolerante micorrizada, por ambos os FMA, diferiram da sensível, pois amostraram maior atividade da enzima (Tabela 3).

Quanto ao efeito de V% do solo, observou-se que na cultivar tolerante houve um ajuste quadrático da atividade da enzima em função do aumento na V% do solo, com um pico de atividade na V% de 45, nas plantas colonizadas tanto por *G. margarita* quanto por *G. etunicatum*. Na cultivar sensível, somente houve efeito da V% nas plantas colonizadas por *G. etunicatum*, ocorrendo um ajuste quadrático que mostrou uma queda brusca na atividade da enzima na maior V%.

Apesar dos valores relativamente baixos de atividade da enzima redutase do nitrato, provavelmente por ter sido avaliada no final do experimento e sem adubação de cobertura de N, foi possível notar diferenças na sua atividade entre os cultivares e entre os FMAs. As plantas não micorrizadas apresentaram atividade da enzima mais baixa que as plantas colonizadas com FMA, devido ao pequeno crescimento das plantas (Tabela 3).

Em cafeeiro micorrizado, com exceção do cultivar sensível colonizada por *G. margarita*, a atividade da enzima diminuiu em função da elevação da V% do solo e, conseqüente, com a diminuição na disponibilidade de Al no meio. Marziah et al. (1991) observaram em culturas de células de amendoim um declínio na atividade da enzima nas doses de Al mais elevadas, o que também ocorreu no presente trabalho na menor V% (pH de 5,6 e 5 mmol<sub>c</sub> Al), para a cultivar tolerante. A diminuição na atividade desta enzima na maior V% pode estar relacionada ao bom estado nutricional das plantas como com o fato de terem absorvido mais N-NH<sub>4</sub> do solo como conseqüência de um aumento na atividade de microrganismos amonificadores em função do aumento na V% e no pH do solo. A saturação por bases de 45% pode ter favorecida a nitrificação do NH<sub>4</sub> adicionado ao solo no início do experimento e, conseqüentemente, aumentado a absorção de N-NO<sub>3</sub> pelas plantas, causando aumento na atividade da redutase do nitrato.

**Tabela 3.** Teor de clorofila nas folhas aos 71 dias após o transplântio (CL-71 DAT) e aos 157 dias após o transplântio (CL-157 DAT) e atividade da enzima redutase de nitrato (RN) nos cultivares de *Coffea arabica* tolerante (CvTOL) e sensível (CvSENS) ao Al, na presença *Gigaspora margarita* (GIM) e *Glomus etunicatum* (GET)) e ausência de fungo micorrízico arbuscular (NM,) em três saturações por bases do solo (V%).

Fungos / Cultivar	Redutase do nitrato ( $\mu\text{g NO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ )			Clorofila – 71 DAT ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ )			Clorofila – 157 DAT ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ )		
	NM	GIM	GET	NM	GIM	GET	NM	GIM	GET
	V 30%			V 30%			V 30%		
Cv TOL	0,06aAB	0,02aB	0,11bA	28,5aB	38,9aA	30,2aB	27,8aB	47,2aA	45,7aA
Cv SEN	0,07aB	0,05aB	0,27aA	31,1aB	39,6aA	34,0aB	27,2aB	47,2aA	50,8aA
	V 45%			V 45%			V 45%		
Cv TOL	0,07aB	0,29aA	0,32aA	29,3aB	39,9aA	31,9aB	26,7aB	44,5aA	44,0bA
Cv SEN	0,05aB	0,08bB	0,24bA	28,5aC	40,6aA	34,4aB	28,4aB	49,0aA	50,9aA
	V 53%			V 53%			V 53%		
Cv TOL	0,05aA	0,06aA	0,08aA	31,2aB	39,2aA	38,7aA	27,6aB	43,6aA	45,9aA
Cv SEN	0,06aA	0,06aA	0,08aA	33,5aB	40,4aA	32,6bB	28,8aB	48,1aA	45,9aA

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Letra minúscula – comparação na coluna entre cultivares, dentro do mesmo fungo e saturações por bases. Letra maiúscula – comparação na linha entre fungos micorrízicos, dentro do mesmo cultivar e saturações por bases.

A dependência micorrízica do cafeeiro para seu crescimento adequado, particularmente em solos de baixa fertilidade, já foi demonstrado por Lopes et al. (1983) e Colozzi-Filho e Siqueira (1986). Durante a fase de crescimento da muda, até 150 dias, o cafeeiro mostra maior dependência micorrízica, possivelmente devido à alta exigência de fósforo pelas plantas jovens e o reduzido fornecimento de fósforo pelo solo. O efeito benéfico da espécie *G. margarita* para o cafeeiro, o que tem sido constatado desde a década de 80 e confirmado em trabalhos mais recentes tanto em solo como em substratos (BHATTACHARYA; BAGYARAJ, 2002; TRISTÃO et al., 2006).

A colonização micorrízica foi maior nas plantas da cultivar tolerante colonizadas por *G. etunicatum* (Tabela 4), mas não houve ajuste da

colonização em função do aumento na V% do solo. Quanto à esporulação do FMA na rizosfera do cafeeiro, observou-se que *G. margarita* diferiu significativamente de *G. etunicatum*, mostrando maior número de esporos por 100 mL de solo, em ambas os cultivares e nas três V% do solo. As plantas colonizadas por *G. margarita* mostraram maior tolerância ao pH mais baixo do solo (V% de 30 e 45) no geral, mas tiveram maior esporulação na maior V% (pH= 5,6). Fernandes e Siqueira (1989) verificaram que espécies de *Gigaspora* tendem a ocorrer numa faixa estreita de pH baixo, enquanto que Lopes et al. (1983) demonstraram que isolados de *G. margarita* podem exibir comportamentos distintos, o que parece ter ocorrido no presente trabalho.

**Tabela 4.** Colonização micorrízica e número de esporos no solo rizosférico dos cultivares de *Coffea arabica* tolerante (Cv TOL) e sensível ao Al (Cv SENS), na presença (*Gigaspora margarita* (GIM) e *Glomus etunicatum* (GET)) e ausência de fungo micorrízico arbuscular (NM), em três saturações por bases do solo (V%).

Fungos/ Cultivar	Colonização%		Esporos (n° por 100 mL solo)	
	GIM	GET	GIM	GET
	V 30 %		V 30%	
Cv TOL	14,4B	34,6A	75,5A	4,4B
Cv SENS	32,4A	20,0A	83,8A	1,7B
	V 45%		V 45%	
Cv TOL	24,7A	30,1A	91,1A	7,9B
Cv SENS	28,2A	24,5A	100,8A	3,5B
	V 53%		V 53%	
Cv TOL	12,9B	41,7A	155,5A	9,5B
Cv SENS	21,5A	26,9A	116,8A	5,9B

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% e comparam entre fungos micorrízicos, dentro da mesma cultivar e saturações por bases.

O aumento da disponibilidade do Al afeta a germinação de esporos, o crescimento do tubo germinativo e o crescimento micelial (Lambais e Cardoso, 1989) e segundo Moreira e Siqueira (2006) a densidade de esporos de FMA no solo é inversamente proporcional à porcentagem de saturação de Al no solo, ou seja diminui a densidade à medida que aumenta a disponibilidade de Al. No presente trabalho, entretanto, como não foi notado diferenças significativas para a colonização radicular e esporulação devido às mudanças na V% do solo, não é possível afirmar que o Al tenha causado algum efeito negativo diretamente sobre o FMA. Apesar disto, a colonização micorrízica mostrou correlação positiva com a massa da matéria fresca de raiz ( $r^2= 0,57$  e  $p<0,01$ ), área foliar ( $r^2= 0,51$  e  $p<0,01$ ), massa da matéria seca da parte aérea ( $r^2= 0,49$  e  $p<0,01$ ) e teor foliar de clorofila aos 157 DAT ( $r^2= 0,58$  e  $p<0,01$ ), provavelmente proporcionado pelo aumento na absorção de nutrientes do solo com a expansão da área de exploração do sistema radicular, devido ao micélio externo do fungo.

## CONCLUSÕES

Os cultivares avaliados, considerados sensível e tolerante ao Al quando conduzidos em solução nutritiva, não mostraram diferenças quanto à tolerância ao Al quando conduzidos em solos ácidos e não micorrizados.

As micorrizas promoveram maior crescimento do cafeeiro em solo ácido com alta concentração de Al, protegendo-o do efeito tóxico.

As plantas micorrizadas apresentaram aumento significativo na concentração de clorofila nas folhas e maior atividade da enzima redutase do nitrato que as plantas não colonizadas por FMA.

*Gigaspora margarita* apresentou maior esporulação que *Glomus etunicatum* e foi mais eficiente ao promover o crescimento e crescimento de ambos os cultivares de café os quais, em simbiose, apresentaram maior tolerância a acidez do solo.

---

**ABSTRACT:** The aim of this study was evaluate the response of two coffee cultivars (tolerant and sensitive to aluminum - Al), inoculated or not by two arbuscular mycorrhiza fungi (AMF), *Gigaspora margarita* and *Glomus etunicatum*, in cerrado Oxisol, with different base saturation. This experiment was conducted under greenhouse conditions, with a complete randomized design, in a 2x3x2 factorial scheme, consisting of 2 cultivars (tolerante and sensitive to Al), 3 treatments with mycorrhizal (inoculated with two species of AMF and without inoculation) and 3 levels of soil base saturation (30, 45 and 53 V%), with five replicates per treatment. The variables were: plant height, stem diameter, leaf area, shoot dry weight, root fresh weight, nitrate reductase activity, chlorophyll concentration, root colonization and number of AMF spores. Mycorrhizae isolates promoted greater response of coffee plants, in acid soil with high concentration of Al, but this response was observed for both cultivars when plants were colonized by *G. margarita*. The cultivars evaluated showed no differences in Al tolerance when non inoculated.

**KEYWORDS:** Arbuscular mycorrhiza. Nitrate reductase. Toxic aluminium. Base soil saturation values. Aluminium tolerance, *Coffea arabica*.

---

## REFERÊNCIAS

- BHATTACHARYA, S.; BAGYARAJ, D. J. Effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungal isolates on Arabica coffee (*Coffea arabica* L.). **Biological Agriculture and Horticulture**, v. 20, p. 125-131, 2002.
- BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; SCHERER, A. Mycorrhizal effectiveness on physic nut as influenced by phosphate fertilization levels. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 23-32, 2012.
- BONFIM, J. A.; MATSUMOTO, S. N.; LIMA, J. M.; CÉSAR, F. R. C. F.; SANTOS, M. A. F. Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e aspectos fisiológicos em cafeeiros cultivados em sistema agroflorestal e a pleno sol. **Bragantia**, Viçosa, v. 69, n. 1, p. 201-206, 2010.
- BRACCINI, M. C. L.; MARTINEZ, H. E. P.; PEREIRA, P. R. G.; SAMPAIO, N. F.; SILVA, E. A. M. Tolerância de genótipos de cafeeiro ao alumínio em solução nutritiva. I. Crescimento e desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, p. 35-442, 1998.

- CHAFFAI, R.; MARZOUK, B.; EL FERJANI, E. Aluminum mediates compositional alterations of polar lipid classes in maize seedlings. **Phytochemistry**, Oxford, v. 66, p. 1903-1912, 2005.
- COLOZZI-FILHO, A.; SIQUEIRA, J. O. Micorrizas vesículo-arbusculares em mudas de cafeeiro. I. Efeitos de *Gigaspora margarita* e adubação fosfatada no crescimento e nutrição. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 199-205, 1986.
- CUENCA, G.; ANDRADE, Z.; MENESES, E. The presence of aluminum in arbuscular mycorrhizas of *Clusia multiflora* exposed to increased acidity. **Plant and Soil**, The Hague, v. 231, p. 233-241, 2001.
- FREITAS, L. B.; FERNANDES, D. M.; MAIA, S. C. M. Interação silício e alumínio em plantas de arroz de terras altas cultivadas em solo alumínio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 507-515, 2012.
- GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of *micorrhizal Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions British Mycology Society**, v. 46, p. 235-244, 1963.
- GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, Lancaster, v. 84, p. 484-500, 1980.
- GUIMARÃES, C. M.; NEVE S.; P. C. F.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, F. J. P. Resistência do arroz de terras altas ao alumínio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, p. 855-860, 2006.
- KONRAD, M. L. F.; SILVA, J. A. B.; FURLANI, P. R.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 3, p. 339-347, 2005.
- KOSKE, R. E.; GEMMA, J. N. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. **Mycological Research**, v. 4, p. 486-505, 1989.
- LAMBAIS, M. R.; CARDOSO, E. J. B. N. Germinação de esporos e crescimento do tubo germinativo de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em diferentes concentrações de alumínio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, p. 151-154, 1989.
- LOPES, E. S.; OLIVEIRA, E.; NEPTUNE, A. M. L.; MORAES, F. R. P. Efeito da inoculação do cafeeiro com diferentes espécies de fungos micorrízicos vesicular-arbusculares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, p. 137-141, 1983.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 626p.
- MARZIAH, M.; ABDULLAH, P.; MISPAR, N.; SYED, M. A. Biochemical studies of peanut cells grown in suspension cultures treated with aluminum. In: WRIGHT, R. J.;
- MATTIELLO, E. M.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, V.; MAURI, J.; MATIELLO, J. D.; GEOVANE, P.; MEIRELES, P. G.; SILVA, I. R. Produção de matéria seca, crescimento radicular e absorção de cálcio, fósforo e alumínio por *Coffea canephora* e *Coffea arabica* sob influência da atividade do alumínio em solução. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 425-434, 2008.
- NOGUEIRA, M. A.; MAGALHÃES, G. C.; CARDOSO, E. J. B. N. Manganese toxicity in mycorrhizal and phosphorus-fertilized soybean plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 27, p. 141-156, 2004.
- RANDALL, P. J. Changes in nitrate and nitrate reductase levels on restoration of molybdenum-deficient plants. **Australian Journal of Agriculture Research**, Collingwood, v. 20, p. 635-642, 1969.

SIQUEIRA, J. O.; COLOZZI-FILHO, A. Micorrizas vesículo-arbusculares em mudas de cafeeiro. II Efeito do fósforo no estabelecimento e funcionamento da simbiose. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 207-211, 1986.

SIQUEIRA, J. O.; SOUSA, C. R. F.; SANTOS, J. G. D.; SCHNEIDER, J.; CARNEIRO, M. A. C. Micorrizas e degradação do solo: Caracterização, efeitos e ação recuperadora. In: CERETA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v. 5. p. 219-305.

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, p. 649-658, 2006.