

EFICIÊNCIA DE ABSORÇÃO, TRANSLOCAÇÃO E USO DE CÁLCIO, MAGNÉSIO E ENXOFRE POR MUDAS ENXERTADAS DE *Coffea arabica*⁽¹⁾

M. A. TOMAZ⁽²⁾, S. R. SILVA⁽³⁾,
N. S. SAKIYAMA⁽⁴⁾ & H. E. P. MARTINEZ⁽⁴⁾

RESUMO

O estudo da eficiência nutricional de plantas enxertadas de cafeeiro é importante para a seleção de combinações enxerto/porta-enxerto, visando ao desenvolvimento e produção máximos. O presente trabalho teve como objetivo avaliar, em cultivo hidropônico, a eficiência de absorção, translocação e uso de Ca, Mg e S por mudas enxertadas de *Coffea arabica* L., influenciada pelo porta-enxerto. O experimento foi realizado em casa de vegetação por um período de 170 dias, em vasos que continham areia, como substrato, e solução nutritiva circulante. Utilizaram-se, como enxerto, quatro genótipos de *Coffea arabica* L.: as variedades Catuaí Vermelho IAC 15 e Oeiras MG 6851 e as linhagens H 419-10-3-1-5 e H 514-5-5-3, e, como porta-enxerto, três genótipos de *C. canephora* Pierre et Froenher: Apoatã LC 2258, Conillon Muriaé-1, Robustão Capixaba (EMCAPA 8141) e um genótipo de *Coffea arabica* L.: Mundo Novo IAC 376-4, além da utilização de quatro pés-francos. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados com quatro repetições. Os contrastes entre médias compararam as mudas de pé-franco com as associações enxerto/porta-enxerto. A eficiência de absorção, translocação e uso de Ca, Mg e S por mudas enxertadas de cafeeiro variou de acordo com a combinação enxerto/porta-enxerto. Somente a eficiência de translocação de Ca não foi alterada pela combinação enxerto/porta-enxerto. A linhagem H 514-5-5-3 foi beneficiada na eficiência de uso de Mg e produção de matéria seca pelos porta-enxertos Mundo Novo IAC 376-4 e Apoatã LC 2258, e na eficiência de uso de Ca e S apenas pelo Mundo Novo IAC 376-4.

Termos de indexação: *Coffea canephora*, enxertia, hidroponia, solução nutritiva, absorção de nutrientes, transporte de nutrientes.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em novembro de 2002 e aprovado em junho de 2003.

⁽²⁾ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 36571-000 Viçosa (MG). E-mail: tomazma@bol.com.br

⁽³⁾ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, UFV. E-mail: sergioufv@yahoo.com.br

⁽⁴⁾ Professor(a) do Departamento de Fitotecnia, UFV. E-mails: sakiyama@ufv.br; herminia@ufv.br

SUMMARY: *EFFICIENCY OF UPTAKE, TRANSLOCATION AND USE OF CALCIUM, MAGNESIUM AND SULPHUR IN YOUNG Coffea arabica PLANTS UNDER THE INFLUENCE OF THE ROOTSTOCK*

Studies into the nutritional efficiency of grafted coffee plants is essential for the selection of graft/rootstock combinations for a maximum development and production. Our objective was the evaluation of the influence of rootstocks on the efficiency of uptake, translocation and use of Ca, Mg, and S in young Coffea arabica L. plants in hydroponic cultivation. The experiment was conducted in a greenhouse and lasted 170 days, using sand as substratum and circulating nutritive solution. Four genotypes of Coffea arabica L. were utilized as grafts: varieties Catuaí Vermelho IAC 15 and Oeiras MG 6851, and lines H 419-10-3-1-5 and H 514-5-5-3. Four non-grafted plants and four rootstocks, which comprised three genotypes of Coffea canephora Pierre et Froenher (Apoatã LC 2258, Conillon Muriaé-1, and Robustão Capixaba (EMCAPA 8141)) and one genotype of Coffea arabica L. (Mundo Novo IAC 376-4), were also studied. The experimental layout was a randomized block design with four replicates. Means of the non-grafted plants and graft/rootstock combinations were compared. The efficiency of uptake, translocation and use of Ca, Mg and S in the young coffee plants varied with the graft/rootstock combinations. Only the translocation efficiency of Ca was not altered by the graft/rootstock combination. Rootstocks Apoatã LC 2258 and Mundo Novo IAC 376-4 brought forth an enhanced use efficiency of Mg and dry matter yield in line H 514-5-5-3, and Mundo Novo IAC 376-4 an improved use efficiency of Ca and S

Index terms: Coffea canephora, grafting, hydroponics, nutritive solution, nutrient uptake, nutrient transport.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a busca de uma agricultura com menor consumo energético e ecologicamente sustentável tem estimulado a pesquisa a identificar mecanismos responsáveis pela maior eficiência nutricional, visando ao seu aproveitamento por meio de seleção e de outros métodos de melhoramento de plantas. Ademais, tem-se constatado ampla diversidade genética decorrente de uma série de mecanismos fisiológicos, morfológicos e bioquímicos desenvolvidos pelas plantas, quando submetidas às condições adversas de fertilidade do solo (Moura et al., 1999).

Como a absorção, o transporte e a redistribuição de nutrientes apresentam controle genético, existe a possibilidade de melhorar e, ou, selecionar cultivares mais eficientes quanto ao uso de nutrientes (Gabelman & Gerloff, 1983). O estudo da eficiência nutricional de Ca, Mg e S na cultura do cafeeiro é de expressiva importância, pois os solos de fronteiras agrícolas, em sua maioria, onde a cultura está sendo estabelecida, apresentam acidez elevada, baixa capacidade de retenção de cátions (CTC) e baixos teores de bases trocáveis, como Ca e Mg, e freqüentemente de S.

Alguns trabalhos foram realizados com o objetivo de estudar a extração de nutrientes pelo cafeeiro, mas, com relação à enxertia, as pesquisas ainda são bastante escassas. Em estudo sobre o efeito da enxertia na nutrição mineral do cafeeiro, Alves

(1986) observou que o uso do genótipo Catimor, como porta-enxerto, proporcionou acréscimos nos teores de P e de K nas folhas de Mundo Novo e Caturra, quando comparados com os de pés-francos. Fahl et al. (1998), em experimento de enxertia de *Coffea arabica* L. sobre progênies de *C. canephora* Pierre et Froenher e de *C. congensis* Froenher, verificaram que as plantas enxertadas apresentavam maiores teores foliares de K e menores teores de Mn do que as não enxertadas.

Em outras culturas, nas quais o processo de enxertia já é estudado há mais tempo, como algumas fruteiras, inúmeros trabalhos têm demonstrado a influência positiva da enxertia sobre a absorção e composição mineral das plantas (Smith, 1975; Economides, 1976; Lima et al., 1980; Genú, 1985). Avaliando a absorção de macronutrientes por porta-enxertos de videira, produzidos em sistema hidropônico, Albuquerque & Dechen (2000) observaram diferenças significativas nas concentrações de nutrientes do enxerto sobre diversos porta-enxertos. Há necessidade, portanto, de selecionar porta-enxertos de cafeeiro que possibilitem o aumento do vigor da planta e aumentos da eficiência de absorção e de utilização de nutrientes.

Este trabalho teve como objetivo avaliar, em cultivo hidropônico, a eficiência de absorção, translocação e uso de Ca, Mg e S por mudas enxertadas de *Coffea arabica* L., influenciada pelo porta-enxerto.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, na Universidade Federal de Viçosa, MG, por um período de 170 dias, utilizando-se o cultivo em areia, suprindo-se os nutrientes com solução nutritiva circulante.

Foram utilizados, como enxerto, os seguintes genótipos de *Coffea arabica*: as variedades Catuaí Vermelho IAC 15 e Oeiras MG 6851 e as linhagens H 419-10-3-1-5 e H 514-5-5-3. Como porta-enxerto, foram empregados três genótipos de *Coffea canephora*: Apoatã LC 2258, Conillon Muriaé-1 (coletado de lavoura comercial em Muriaé, MG) e Robustão Capixaba (Emcapa 8141) e um genótipo de *Coffea arabica*: Mundo Novo IAC 376-4, além de quatro pés-francos.

O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com 20 tratamentos e quatro repetições, sendo quatro pés-francos e dezesseis combinações enxerto/porta-enxerto (Quadro 1). Os contrastes entre médias, utilizados para comparar mudas de pé-franco com as associações enxerto/porta-enxerto, foram realizados pelo teste "t" de Student a 5 %. As análises foram realizadas, utilizando-se o programa GENES (Cruz, 1997).

A semeadura foi feita em caixas que continham areia fina lavada, e colocadas em casa de vegetação até o momento anterior ao rompimento do pergaminho ("palito de fósforo"), quando foram efetuadas as enxertias do tipo hipocotiledonar, conforme Moraes & Franco (1973). Na seqüência, as plantas enxertadas e de pé-franco foram transplantadas para outras caixas, que continham areia, e mantidas em câmara de nebulização fechada por período de 12 dias. Após esse período, retiraram-se as plantas da câmara de nebulização, colocando-

as em viveiro coberto com sombrite de malha 50 %, onde permaneceram por 15 dias para aclimação. Nesse local, as mudas foram irrigadas diariamente e, depois de aclimatadas, foram levadas para casa de vegetação para instalação do experimento.

O substrato utilizado foi areia peneirada, lavada e tratada com HCl concentrado comercial, para purificação do material. A areia permaneceu no ácido por 24 h, e, posteriormente, lavada em água corrente para retirar o excesso de íons H⁺, deixando-se o substrato com pH 6,0 ao final da lavagem.

Foram utilizados vasos cilíndricos com capacidade de 3 L. Esses foram perfurados no fundo, colocando-se uma mangueira de ½ polegada para fazer a ligação com o recipiente coletor de solução nutritiva. Foi empregada a solução de Clark (1975) modificada, que apresenta as seguintes concentrações de macronutrientes: 5,7; 1,0; 0,1; 2,4; 1,2; 0,6 e 0,7 mmol L⁻¹ de N-NO₃⁻, N-NH₄⁺, P, K, Ca²⁺, Mg²⁺ e S, respectivamente. As concentrações de micronutrientes foram de: 19; 0,5; 40; 7,0; 0,09 e 2,0 µmol L⁻¹ de B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn, respectivamente.

Realizou-se o transplantio após a seleção das mudas quanto à uniformidade de tamanho e de vigor, colocando-se uma unidade por vaso quando atingiram o estágio cotiledonar ("orelha de onça"). A parte superior da casa de vegetação foi recoberta com sombrite de malha 50 % para amenizar a insolação e a temperatura.

Cada vaso recebeu 2 L de solução nutritiva e, à medida que diminuía o volume da solução com a evapotranspiração, era feita a reposição com água deionizada até completar novamente os 2 L. A circulação da solução nutritiva foi realizada duas vezes ao dia. No decorrer do experimento, a concentração da solução foi aumentada mensalmente

Quadro 1. Relação das combinações de enxertia em mudas de genótipos de cafeeiro

Muda enxertada ⁽¹⁾	Identificação no texto
Catuaí Vermelho IAC 15 / Apoatã LC 2258	Catuaí / Apoatã
Catuaí Vermelho IAC 15 / Conillon Muriaé 1	Catuaí / Conillon
Catuaí Vermelho IAC 15 / Mundo Novo IAC 376-4	Catuaí / M. Novo
Catuaí Vermelho IAC 15 / EMCAPA 8141	Catuaí / EMCAPA
Oeiras MG 6851 / Apoatã LC 2258	Oeiras / Apoatã
Oeiras MG 6851 / Conillon Muriaé 1	Oeiras / Conillon
Oeiras MG 6851 / Mundo Novo IAC 376-4	Oeiras / M. Novo
Oeiras MG 6851 / EMCAPA 8141	Oeiras / EMCAPA
H 419-10-3-1-5 / Apoatã LC 2258	H 419 / Apoatã
H 419-10-3-1-5 / Conillon Muriaé 1	H 419 / Conillon
H 419-10-3-1-5 / Mundo Novo IAC 376-4	H 419 / M. Novo
H 419-10-3-1-5 / EMCAPA 8141	H 419 / EMCAPA
H 514-5-5-3 / Apoatã LC 2258	H 514 / Apoatã
H 514-5-5-3 / Conillon Muriaé 1	H 514 / Conillon
H 514-5-5-3 / Mundo Novo IAC 376-4	H 514 / M. Novo
H 514-5-5-3 / EMCAPA 8141	H 514 / EMCAPA

⁽¹⁾ Enxerto/porta-enxerto.

para 1,5; 2,5 e 3,0 vezes a concentração da solução inicial. O pH da solução foi mantido em $5,5 \pm 0,5$, mediante ajustes diários com solução de NaOH 1 mol L^{-1} durante o período experimental. As trocas das soluções foram feitas periodicamente, sempre que a condutividade elétrica atingia $60 \pm 10 \%$ do valor inicial.

A colheita foi efetuada 170 dias após o transplante para os vasos, separando-se a planta em raízes, caule e folhas. O material colhido foi lavado com água desmineralizada, seco em estufa com circulação forçada de ar a $70 \text{ }^\circ\text{C}$, por 72 h, pesado e triturado em moinho tipo Wiley. A seguir, o material vegetal foi digerido em mistura nítrico-perclórica (Johnson & Ulrich, 1959) e analisado quimicamente, para determinação dos teores de Ca e Mg, por espectrofotometria de absorção atômica, e S, por turbidimetria (Malavolta et al., 1997).

A partir da matéria seca do conteúdo dos nutrientes na planta, foram calculados os índices: (a) eficiência de uso de nutriente = (matéria seca total produzida)²/(conteúdo total do nutriente na planta) (Siddiqi & Glass, 1981); (b) eficiência de absorção = (conteúdo total do nutriente na planta)/(matéria seca de raízes) (Swiader et al., 1994); (c) eficiência de translocação = ((conteúdo do nutriente na parte aérea)/(conteúdo total do nutriente na planta)) 100 (Li et al., 1991).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Eficiência nutricional quanto ao cálcio

O contraste entre médias de mudas de pé-franco e enxertadas mostra que a combinação de enxertia H 514/M. Novo proporcionou aumento de 66 % na eficiência de uso de Ca (EUCa) em relação ao pé-franco H 514. No entanto, as combinações Catuai/Conillon, Oeiras/Apoatã, Oeiras/Conillon, Oeiras/EMCAPA, H 419/Conillon, H 419/EMCAPA, H 514/Conillon e H 514/EMCAPA apresentaram redução significativa da EUCa, variando de 33 a 60 % (Quadro 2).

Variações na eficiência de uso de cálcio em tecidos vegetais não são ainda bem compreendidas. A inativação de Ca, devida à ligação e, ou, precipitação na forma de oxalato ou fosfato de cálcio, tem sido sugerida como causa para a baixa eficiência de utilização do nutriente (Behling et al., 1989; Horst et al., 1992). Behling et al. (1989) verificaram que a alta eficiência de Ca de uma linhagem de tomateiro foi devida à sua habilidade em manter alta proporção do Ca total na forma solúvel e manter o crescimento e metabolismo em todas as partes da planta, mesmo sob baixa concentração de Ca em seus tecidos. Por sua vez, a baixa eficiência da outra linhagem de tomateiro foi associada com altas concentrações de

Quadro 2. Eficiência de uso de cálcio (EUCa), eficiência de absorção de cálcio (EACa), eficiência de translocação de cálcio (ETCa) e conteúdo total de cálcio (CTCa) em mudas de genótipos de cafeeiro enxertadas, em contraste com às de pés-francos

Contraste	EUCa	EACa	ETCa	CTCa
	$\text{g}^2 \text{ mg}^{-1}$	mg g^{-1}	%	mg planta^{-1}
Catuai	0,76	28,5	90	29,9
vs Catuai / Apoatã	0,95 ^{ns}	29,4 ^{ns}	90 ^{ns}	33,3 ^{ns}
vs Catuai / Conillon	0,46*	38,6*	92 ^{ns}	22,4 ^{ns}
vs Catuai / M. Novo	0,86 ^{ns}	27,0 ^{ns}	90 ^{ns}	35,1 ^{ns}
vs Catuai / EMCAPA	0,58 ^{ns}	23,2 ^{ns}	87 ^{ns}	18,6 ^{ns}
Oeiras	1,07	28,8	90	50,4
vs Oeiras / Apoatã	0,72*	29,9 ^{ns}	88 ^{ns}	26,2*
vs Oeiras / Conillon	0,43*	27,1 ^{ns}	90 ^{ns}	16,7*
vs Oeiras / M. Novo	1,09 ^{ns}	27,1 ^{ns}	90 ^{ns}	43,6 ^{ns}
vs Oeiras / EMCAPA	0,46*	29,0 ^{ns}	92 ^{ns}	15,8*
H 419	0,95	30,3	90	30,52
vs H 419 / Apoatã	0,72 ^{ns}	24,5 ^{ns}	86 ^{ns}	26,7 ^{ns}
vs H 419 / Conillon	0,38*	26,4 ^{ns}	90 ^{ns}	12,7*
vs H 419 / M. Novo	1,05 ^{ns}	27,4 ^{ns}	90 ^{ns}	39,8 ^{ns}
vs H 419 / EMCAPA	0,42*	29,9 ^{ns}	92 ^{ns}	16,4*
H 514	0,68	29,2	89	27,2
vs H 514 / Apoatã	0,92 ^{ns}	33,0 ^{ns}	91 ^{ns}	45,1*
vs H 514 / Conillon	0,33*	28,4 ^{ns}	91 ^{ns}	10,3*
vs H 514 / M. Novo	1,13*	31,0 ^{ns}	91 ^{ns}	43,8*
vs H 514 / EMCAPA	0,43*	29,3 ^{ns}	90 ^{ns}	15,9 ^{ns}

* e ^{ns}: contrastes significativos e não-significativos, respectivamente, pelo teste "t" de Student a 5 %.

Ca insolúvel nos tecidos da parte aérea das plantas. O Ca é considerado um nutriente pouco móvel no floema (Marschner, 1995).

Em razão desse fato, variedades de plantas com conhecida diferença genotípica na eficiência de uso e redistribuição de Ca podem representar uma alternativa atrativa em áreas agrícolas deficientes nesse nutriente (Caines & Shennan, 1999).

A análise dos resultados de conteúdo total de Ca (CTCa) na planta (Quadro 2) e de matéria seca total (MST) (Quadro 3) indica que a taxa de aumento ou de decréscimo dessas variáveis, na maioria das vezes, foi diretamente proporcional aos valores observados para EUCa. Portanto, depreende-se desses resultados que a combinação da enxertia H 514/M. Novo proporcionou, em relação ao pé-franco H 514, melhor vigor vegetativo e nutricional, resultando em maior produção de matéria seca e EUCa. Por sua vez, a combinação H 514/Apoatã também foi promissora, apresentando aumento de 66 %, no CTCa, e de 50 %, na produção de MST, em relação ao pé-franco H 514. As demais combinações citadas proporcionaram efeito inverso.

Segundo Caines & Shennan (1999), a relação entre o uso eficiente de Ca e o crescimento de planta é

Quadro 3. Produção de matéria seca de raiz (MSR), da parte aérea (MSPA) e total (MST) de mudas de genótipos de café enxertadas, em relação às de pés-francos

Contraste	MSR	MSPA	MST
Catuai	1,05	3,69	4,75
vs Catuai / Apoatã	1,16 ^{ns}	4,45 ^{ns}	5,61 ^{ns}
vs Catuai / Conillon	0,54*	2,66 ^{ns}	3,19 ^{ns}
vs Catuai / M. Novo	1,30 ^{ns}	4,20 ^{ns}	5,51 ^{ns}
vs Catuai / EMCAPA	0,90 ^{ns}	2,38 ^{ns}	3,28 ^{ns}
Oeiras	1,73	5,59	7,32
vs Oeiras / Apoatã	1,02*	3,32*	4,34*
vs Oeiras / Conillon	0,63*	2,06*	2,68*
vs Oeiras / M. Novo	1,59 ^{ns}	5,29 ^{ns}	6,88 ^{ns}
vs Oeiras / EMCAPA	0,55*	2,13*	2,67*
H 419	1,04	4,32	5,35
vs H 419 / Apoatã	1,08 ^{ns}	3,18 ^{ns}	4,27 ^{ns}
vs H 419 / Conillon	0,48*	1,71*	2,19*
vs H 419 / M. Novo	1,45 ^{ns}	5,01 ^{ns}	6,46 ^{ns}
vs H 419 / EMCAPA	0,56*	2,04*	2,59*
H 514	0,94	3,37	4,30
vs H 514 / Apoatã	1,39*	5,04*	6,43*
vs H 514 / Conillon	0,37*	1,48*	1,85*
vs H 514 / M. Novo	1,43*	5,60*	7,03*
vs H 514 / EMCAPA	0,55 ^{ns}	2,08 ^{ns}	2,62*

* e ^{ns}: contrastes significativos e não-significativos, respectivamente, pelo teste "t" de Student a 5 %.

muito complexa e pode envolver vários controles fisiológicos, como a capacidade de retranslocação interna de Ca compartimentalizado em membranas e órgãos celulares de armazenamento (retículo endoplasmático, cloroplastos e vacúolo).

Quanto à eficiência de absorção de Ca (EACa), apenas a combinação Catuai/Conillon proporcionou efeito significativo, com aumento de 35 % em relação ao pé-franco Catuai (Quadro 2). Isto deveu-se à redução de 49 % na produção de matéria seca de raízes (Quadro 3), resultando em maior taxa de absorção de Ca por unidade de massa radicular. Os mecanismos desenvolvidos nas plantas para alta eficiência de absorção diferem entre as espécies. Algumas produzem extensivo sistema radicular e outras têm alta taxa de absorção por unidade de comprimento radicular, ou seja, alto influxo de nutrientes (Föhse et al., 1988).

Quanto à eficiência de translocação de Ca, verificou-se ausência de resposta em todas combinações de enxertia (Quadro 2), o que reforça a afirmativa da baixa mobilidade do nutriente no floema, comprometendo, assim, a redistribuição na planta.

Os melhores resultados nutricionais, em relação ao pé-franco H 514, obtidos nas combinações H 514/Apoatã e H 514/M. Novo, podem ser atribuídos ao aumento do sistema radicular em 48 e 52 %, respectivamente (Quadro 3), uma vez que a eficiência nutricional está relacionada com o crescimento e com a atividade das raízes e, em alguns casos, com o transporte dos nutrientes das raízes para a parte aérea (Marschner, 1995).

Eficiência nutricional quanto ao magnésio

Observou-se aumento da eficiência de uso de Mg (EUMg) de 101 e 72 %, respectivamente, para as combinações H 514/Apoatã e H 514/M. Novo, em relação ao pé-franco H 514. No entanto, os porta-enxertos Conillon e EMCAPA proporcionaram decréscimos significativos da EUMg, quando combinados com Oeiras e H 419, variando de 45 a 51 % (Quadro 4).

As combinações H 514/Apoatã e H 514/M. Novo também foram superiores quanto à produção de MST (Quadro 3), e apenas a combinação H 514/M. Novo proporcionou aumento do conteúdo total de Mg (CTMg) na planta (Quadro 4). No entanto, houve redução da produção de MST e CTMg nas combinações Oeiras/Apoatã, H 514/Conillon, H 514/EMCAPA e naquelas que apresentaram redução da EUMg. Igualmente, houve decréscimo do CTMg nas combinações Catuai/Conillon e Catuai/EMCAPA.

É interessante destacar que as plantas mais eficientes no uso de Mg foram também as mais produtivas, o que concorda com os resultados obtidos por Martins et al. (1981), ao trabalharem com híbridos de sorgo.

Quadro 4. Eficiência de uso de magnésio (EUMg), eficiência de absorção de magnésio (EAMg), eficiência de translocação de magnésio (ETMg) e conteúdo total de magnésio (CTMg) em mudas de genótipos de cafeeiro enxertadas, em relação às de pés-francos

Contraste	EUMg	EAMg	ETMg	CTMg
	g ² mg ⁻¹	mg g ⁻¹	%	mg planta ⁻¹
Catuai	1,57	13,7	69	14,4
vs Catuai / Apoatã	2,14 ^{ns}	13,3 ^{ns}	70 ^{ns}	15,0 ^{ns}
vs Catuai / Conillon	1,53 ^{ns}	11,9 ^{ns}	70 ^{ns}	6,7*
vs Catuai / M. Novo	1,86 ^{ns}	12,6 ^{ns}	68 ^{ns}	16,3 ^{ns}
vs Catuai / EMCAPA	1,52 ^{ns}	8,5*	58*	7,1*
Oeiras	2,35	13,1	68	22,8
vs Oeiras / Apoatã	1,84 ^{ns}	11,3 ^{ns}	60 ^{ns}	10,3*
vs Oeiras / Conillon	1,30*	9,1*	66 ^{ns}	5,6*
vs Oeiras / M. Novo	2,36 ^{ns}	12,6 ^{ns}	68 ^{ns}	20,1 ^{ns}
vs Oeiras / EMCAPA	1,30*	10,2*	70 ^{ns}	5,5*
H 419	1,91	15,0	70	15,0
vs H 419 / Apoatã	1,73 ^{ns}	9,8*	64 ^{ns}	10,5 ^{ns}
vs H 419 / Conillon	0,94*	10,8*	62 ^{ns}	5,1*
vs H 419 / M. Novo	2,15 ^{ns}	13,5 ^{ns}	68 ^{ns}	19,5 ^{ns}
vs H 419 / EMCAPA	1,02*	11,9*	65 ^{ns}	6,6*
H 514	1,34	14,9	70	13,8
vs H 514 / Apoatã	2,69*	11,5*	59*	15,5 ^{ns}
vs H 514 / Conillon	0,94 ^{ns}	10,0*	66 ^{ns}	3,6*
vs H 514 / M. Novo	2,30*	15,2 ^{ns}	70 ^{ns}	21,7*
vs H 514 / EMCAPA	1,20 ^{ns}	10,7*	70 ^{ns}	5,8*

* e ^{ns}: contrastes significativos e não-significativos, respectivamente, pelo teste "t" de Student a 5 %.

Decréscimos na eficiência de absorção de Mg (EAMg) de 20 a 30 % ocorreram nas combinações Catuai/EMCAPA, Oeiras/Conillon, Oeiras/EMCAPA, H 419/Apoatã, H 419/Conillon, H 419/EMCAPA, H 514/Apoatã, H 514/Conillon e H 514/EMCAPA. Quanto à eficiência de translocação de Mg (ETMg), somente as combinações Catuai/EMCAPA e H 514/Apoatã apresentaram redução em relação aos respectivos pés-francos (Quadro 4). As demais combinações não apresentaram aumento ou redução da ETMg em relação ao pé-franco.

A redução da ETMg em H 514/Apoatã pode ter contribuído para o aumento da EUMg dessa combinação, uma vez que, segundo Caradus (1992), o baixo teor de nutriente nos tecidos vegetais ou uma elevada eficiência de utilização de nutrientes podem estar associados a ineficiências, como a baixa translocação das raízes para a parte aérea, ou refletirem uma deficiência nutricional.

Eficiência nutricional quanto ao enxofre

A combinação H 514/M. Novo foi a única que apresentou aumento significativo na eficiência de uso de S (EUS), da ordem de 70 % em relação ao pé-franco H 514. No entanto, houve redução de 41 a 52 % da EUS nas combinações Oeiras/Apoatã,

Oeiras/Conillon, Oeiras/EMCAPA, H 419/Conillon, H 419/EMCAPA e H 514/Conillon (Quadro 5). Observou-se que os valores de EUS foram proporcionados pela variação da quantidade de matéria seca total, uma vez que as respostas (positivas ou negativas) das combinações de enxertias correlacionaram-se nessas duas variáveis (Quadros 3 e 5). Souza (1999) atribuiu a maior EUS do cultivar de cafeeiro Rubi ao maior sistema radicular, o que está relacionado com a aquisição do nutriente no solo. Dessa forma, o aumento de 52 % da matéria seca de raízes da combinação H 514/M. Novo pode explicar o aumento da EUS dessa enxertia. Outro provável fator que determina a EUS é a capacidade do genótipo em redistribuir as frações, solúvel e insolúvel, de S de folhas maduras para as novas folhas, o que depende do estado nutricional em S da planta (Sunarpi & Anderson, 1996).

Verificou-se que as combinações H 514/Apoatã e H 514/M. Novo foram as únicas que apresentaram aumento significativo do conteúdo total de S (CTS), de 52 e 55 %, respectivamente. Entretanto, houve decréscimo do CTS nas combinações Catuai/Conillon, Catuai/Emcapa, H 514/EMCAPA e naquelas que apresentaram redução da EUS (Quadro 5). O aumento do sistema radicular proporcionado pelos porta-enxertos Apoatã e M.

Quadro 5. Eficiência de uso de enxofre (EUS), eficiência de absorção de enxofre (EAS), eficiência de translocação de enxofre (ETS) e conteúdo total de enxofre (CTS) em mudas de genótipos de café enxertadas, em relação às de pés-francos

Contraste	EUS	EAS	ETS	CTS
	g ² mg ⁻¹	mg g ⁻¹	%	mg planta ⁻¹
Catuai	2,32	9,2	61	9,7
vs Catuai / Apoatã	2,84 ^{ns}	10,3 ^{ns}	53 ^{ns}	11,8 ^{ns}
vs Catuai / Conillon	1,98 ^{ns}	9,1 ^{ns}	71 ^{ns}	5,2*
vs Catuai / M. Novo	2,70 ^{ns}	8,6 ^{ns}	59 ^{ns}	11,2 ^{ns}
vs Catuai / EMCAPA	1,85 ^{ns}	6,8*	57 ^{ns}	5,9*
Oeiras	3,44	9,0	56	15,6
vs Oeiras / Apoatã	2,02*	10,4 ^{ns}	50 ^{ns}	9,4*
vs Oeiras / Conillon	1,78*	6,6*	67*	4,1*
vs Oeiras / M. Novo	3,41 ^{ns}	8,7 ^{ns}	59 ^{ns}	13,9 ^{ns}
vs Oeiras / EMCAPA	1,69*	7,8 ^{ns}	68*	4,2*
H 419	2,84	10,1	63	10,1
vs H 419 / Apoatã	2,16 ^{ns}	7,9*	51*	8,6 ^{ns}
vs H 419 / Conillon	1,36*	7,4*	65 ^{ns}	3,6*
vs H 419 / M. Novo	3,29 ^{ns}	8,7 ^{ns}	59 ^{ns}	12,7 ^{ns}
vs H 419 / EMCAPA	1,51*	8,2 ^{ns}	66 ^{ns}	4,5*
H 514	2,02	9,9	59	9,3
vs H 514 / Apoatã	2,94 ^{ns}	10,3 ^{ns}	51 ^{ns}	14,1*
vs H 514 / Conillon	1,10*	8,4 ^{ns}	68 ^{ns}	3,1*
vs H 514 / M. Novo	3,43*	10,2 ^{ns}	61 ^{ns}	14,4*
vs H 514 / EMCAPA	1,55 ^{ns}	8,2 ^{ns}	67 ^{ns}	4,5*

* e ^{ns}: contrastes significativos e não-significativos, respectivamente, pelo teste "t" de Student a 5 %.

Novo ao pé-franco H 514 (Quadro 3) pode explicar, ainda que parcialmente, o aumento do CTS nas plantas, o que provavelmente está relacionado com a aquisição do nutriente no cultivo hidropônico.

A eficiência de absorção de S foi reduzida nas combinações Catuai/EMCAPA, Oeiras/Conillon, H 419/Apoatã e H 419/Conillon, quando comparadas aos respectivos pés-francos. Quanto à eficiência de translocação de S, verificou-se aumento nas combinações Oeiras/Conillon e Oeiras/EMCAPA, bem como decréscimo em H 419/Apoatã (Quadro 5).

É importante ressaltar que a eficiência de absorção de nutrientes e sua relação com a morfologia das raízes devem, no entanto, ser investigadas em experimentos com solo. Fatores como pêlos radiculares, micorrizas e morfologia radicular podem provocar diferenças na eficiência de absorção de nutrientes entre as variedades cultivadas em solo e, conseqüentemente, diferenças na eficiência nutricional das plantas.

CONCLUSÕES

1. A eficiência nutricional quanto ao Ca, Mg e S em mudas de café variou, na maioria das vezes,

quando se compararam combinações de enxerto/porta-enxerto com os respectivos pés-francos.

2. O cultivar Oeiras MG 6851 e a linhagem H 419-10-3-1-5 não foram beneficiados pelas enxertias testadas, na eficiência nutricional quanto ao Ca, Mg e S e produção de matéria seca.

3. A linhagem H 514-5-5-3 foi beneficiada na eficiência de uso de Mg e produção de matéria seca pelos porta-enxertos Mundo Novo e Apoatã e na eficiência de uso de Ca e S apenas pelo Mundo Novo.

LITERATURA CITADA

- ALBUQUERQUE, T.C.S. & DECHEN, A.R. Absorção de macronutrientes por porta-enxertos e cultivares de videira em hidroponia. *Sci. Agríc.*, 57:135-139, 2000.
- ALVES, A.A.C. Efeito da enxertia na nutrição mineral, no crescimento vegetativo, na fotossíntese e na redução do nitrato, em *Coffea arabica* L. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1986. 61p. (Tese de Mestrado)
- BEHLING, J.P.; GABELMAN, W.H. & GERLOFF, G.C. The distribution and utilization of calcium by two tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) lines differing in calcium efficiency when grown under low-Ca stress. *Plant Soil*, 113:189-196, 1989.

- CAINES, A.M. & SHENNAN, C. Growth and nutrient composition of Ca²⁺ use efficient and Ca²⁺ use inefficient genotypes of tomato. *Plant Physiol. Biochem.*, 37:559-567, 1999.
- CARADUS, J.R. Heritability of, and relationships between phosphorus and nitrogen concentration in shoot, stolon and root of white clover (*Trifolium repens* L.). *Plant Soil*, 146:209-217, 1992.
- CLARK, R.B. Characterization of phosphatase of intact maize roots. *J. Agric. Food Chem.*, 23:458-460, 1975.
- CRUZ, C.D. Programa Genes: Aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- ECONOMIDES, C.V. Performance of Marsh seedless grapefruit on six rootstocks in Cyprus. *J. Hort. Sci.*, 53:393-400, 1976.
- FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C.; GALLO, P.B.; COSTA, W.M. & NOVO, M.C.S.S. Enxertia de *Coffea arabica* sobre Progenies de *C. canephora* e de *C. congensis* no crescimento, nutrição mineral e produção. *Bragantia*, 57:297-312, 1998.
- FÖHSE, D.; CLAASEEN, N. & JUNGK, A. Phosphorus efficiency of plants. *Plant Soil*, 110:101-109, 1988.
- GABELMAN, W.H. & GERLOFF, G.C. The search for and interpretation of genetic controls that enhance plant growth under deficiency levels of a macronutrient. *Plant Soil*, 72:335-350, 1983.
- GENÚ, P.J.C. Teores de macro e micro nutrientes em folhas de porta-enxertos cítricos (*Citrus* spp) de pés-francos e em folhas de tangerineira 'Poncã' (*Citrus reticulata*, Blanco) enxertadas sobre os mesmos porta-enxertos. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1985. 156p. (Tese de Doutorado)
- HORST, W.J.; CURRLE, C. & WISSEMEIER, A.H. Differences in calcium efficiency between cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cultivars. *Plant Soil*, 146:45-54, 1992.
- JOHNSON, C.M. & ULRICH, A. Analytical methods for use in plants analyses. Los Angeles, University of California, 1959. p.32-33. (Bulletin, 766)
- LI, B.; McKEAND, S.E. & ALLEN, H.L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. *For. Sci.*, 37:613-626, 1991.
- LIMA, L.A.; MICHAN, M.M. & SALIBE, A.A. Concentração de boro e enxofre em folhas de laranjeiras doces, determinados por diferentes porta-enxertos e enxertos. *R. Bras. Frutic.*, 2:54-61, 1980.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba, Potafos, 1997. 319p.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London, Academic Press, 1995. 889p.
- MARTINS, C.E.; AMARAL, F.A.L.; MONNERAT, P.H.; CONDÉ, A.R. & FONTES, L.A.N. Eficiência de utilização de potássio, cálcio e magnésio de 16 híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *R. Ceres*, 28:323-332, 1981.
- MORAES M.V. & FRANCO, C.M. Método expedito para enxertia em café. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro do Café, 1973. 8p.
- MOURA, W.M.; CASALI, V.W.D.; CRUZ, C.D. & LIMA, P.C. Divergência genética em linhagens de pimentão em relação à eficiência nutricional de fósforo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 34:217-224, 1999.
- SIDDIQI, M.Y. & GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *J. Plant Nut.*, 4:289-302, 1981.
- SMITH, P.F. Effect of scion and rootstock on mineral composition of mandarin - type citrus leaves. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 100:368-369, 1975.
- SOUZA, R.B. Níveis críticos de enxofre em solos e em folhas de cultivares de café. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 88p. (Tese de Doutorado)
- SUNARPI & ANDERSON, J.W. Effect of sulfur nutrition on the redistribution of sulfur in vegetative soybean plants. *Plant Physiol.*, 112:623-631, 1996.
- SWIADER, J.M.; CHYAN, Y. & FREIJI, F.G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. *J. Plant Nut.*, 17:1687-1699, 1994.