

TEORES DE NUTRIENTES EM CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA SUBMETIDOS À DERIVA DE GLYPHOSATE¹

Nutrient Content in Arabica Coffee Cultivars Subjected to Glyphosate Drift

FRANÇA, A.C.², FREITAS, M.A.M.³, D'ANTONINO, L.⁴, FIALHO, C.M.T.⁵, SILVA, A.A.⁶, REIS, M.R.⁷
e RONCHI, C.P.⁸

RESUMO - Avaliaram-se, neste trabalho, os efeitos do glyphosate sobre os teores foliares de nutrientes em três cultivares de café (*Coffea arabica*). Utilizou-se o esquema fatorial (3 x 5) em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições, sendo os tratamentos compostos por três cultivares de café: Catucaí Amarelo (2 SL), Oeiras (MG-6851) e Topázio (MG-1190); e cinco doses de glyphosate (0; 57,6; 115,2; 230,4; e 460,8 g ha⁻¹). Aos 45 e 120 DAA, coletaram-se folhas (terceiro par) de ramos plagiotrópicos, contidos na parte mediana das plantas. Os sintomas de intoxicação foram caracterizados por clorose e estreitamento do limbo foliar para os três cultivares de café. Houve redução nos teores foliares de N, P, K, Cu e Zn aos 45 DAA e de N, K, Mn e Zn aos 120 DAA nas plantas de café tratadas com glyphosate, independentemente do cultivar utilizado. O cultivar Topázio apresentou as maiores reduções nos teores foliares de Fe e Mn, aos 45 DAA, e de P e Fe, aos 120 DAA.

Palavras-chave: herbicida, *Coffea arabica*, nutrição, EPSPs.

ABSTRACT - *The effects of glyphosate on the foliar levels of nutrients in three coffee cultivars (Coffea arabica) were evaluated in this work. A factorial (3 x 5) was used in a randomized block design with four replications, with treatments consisting of three coffee varieties: Catucaí Amarelo (2 SL), Oeiras (MG-6851) and Topázio (MG-1190) and five glyphosate doses (0, 57.6, 115.2, 230.4 and 460.8 g ha⁻¹). At 45 and 120 DAA, leaves (third pair) from plagiotrophic branches were collected from the medium part of the plants. Glyphosate intoxication symptoms were characterized by chlorosis and leaf narrowing for the three coffee varieties. There was a reduction in foliar levels of N, P, K, Cu and Zn at 45 DAA, and N, K, Mn and Zn at 120 DAA, in coffee plants treated with glyphosate, regardless of the cultivar used. Cultivar Topázio showed the greatest reductions in the foliar levels of Fe and Mn, at 45 DAA and P and Fe, at 120 DAA, when treated with glyphosate.*

Keywords: herbicide, *Coffea arabica*, nutrition, EPSPs.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de café, estudo produzido aproximadamente 46 milhões de sacas na safra de 2007/2008, com cerca de dois milhões de hectares de área

cultivada (CONAB, 2009). Essa produção concentra-se em duas espécies: *Coffea arabica* (café arábica), com 35 milhões, e *Coffea canephora* (café robusta), com 10 milhões de sacas colhidas, aproximadamente. Sabe-se que o País tem baixa produtividade de café, em

¹ Recebido para publicação em 15.11.2009 e na forma revisada em 12.11.2010.

² Eng^o-Agr^o, D.Sc., Professor da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, 39100-000 Diamantina-MG, <cabralfranca@yahoo.com.br>; ³ Eng^o-Agr^o, Estudante de Mestrado em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa – DFT/UFV, 36570-000 Viçosa-MG; ⁴ Eng^o-Agr^o, D.Sc., DFT/UFV; ⁵ Eng^o-Agr^o, M.Sc., Estudante de Doutorado em Fitotecnia, DFT/UFV; ⁶ Eng^o-Agr^o, D.Sc., Professor, DFT/UFV; ⁷ Eng^o-Agr^o, D.Sc., Professor, Campus Rio Paranaíba-MG, CRP/UFV; ⁸ Eng^o-Agr^o, D.Sc., Professor, Campus Rio Paranaíba-MG, CRP/UFV.



torno de 17,38 sacas ha⁻¹ (CONAB, 2009). Essa baixa produtividade deve-se, em parte, a lavouras antigas e depauperadas, deficiências nutricionais, baixa tecnologia de produção e problemas no manejo da cultura (Caixeta et al., 2008).

O manejo das plantas daninhas destaca-se entre os principais problemas encontrados pelos cafeicultores (Silva et al., 2008), pois elas têm efeito adverso na produção e no crescimento do cafeeiro. Isso ocorre por meio da competição pelos recursos disponíveis, ou seja, água, nutrientes e luz, além de elas interferirem em práticas culturais, como fertilizações e colheita, e no controle de pragas e doenças (Ronchi et al., 2003; Silva et al., 2006).

Do transplântio das mudas para o campo até o segundo ano pós-plantio caracteriza-se a fase mais crítica da cultura para interferência das plantas daninhas nas plantas de café, sendo necessários programas intensivos de controle das espécies daninhas (Silva et al., 2008). As plantas de café, ainda jovens, deixam grande área de solo livre para a penetração de luz, favorecendo a infestação e o crescimento das plantas daninhas. Nesse sentido, em função do número reduzido de herbicidas registrados e que apresentam seletividade à cultura, o controle de plantas daninhas torna-se um processo oneroso, pois alguns cafeicultores utilizam a capina manual na linha de plantio para controle dessas plantas (Ronchi & Silva, 2003, 2004).

A fim de maior eficiência e economia no controle das plantas daninhas, muitos cafeicultores utilizam herbicidas não seletivos, como o glyphosate, sendo empregados em aplicações dirigidas. O glyphosate é um herbicida sistêmico e altamente solúvel em água. Yamada & Castro (2007) relatam que o mecanismo de ação do glyphosate baseia-se na interrupção da rota do ácido chiquímico, inibindo a enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato-sintase (EPSPs), responsável pela produção dos aminoácidos aromáticos, como fenilalanina, tirosina e triptofano. Esses são indispensáveis na síntese de proteínas e divisão celular e, tendo suas produções reduzidas, podem provocar a morte da planta.

A dispersão pelo vento das gotas aspergidas contendo glyphosate pode atingir as plantas não

alvo, causando a intoxicação dessas espécies, levando-as até a morte. Os principais sintomas visuais verificados após intoxicação das plantas não alvo pelo glyphosate são: clorose, necrose, superbrotamento devido à morte das gemas apicais, enrolamento, arroxamento e estreitamento do limbo foliar (Tuffi Santos et al., 2006; Gravena et al., 2009).

Na cultura do café é frequente a visualização de plantas intoxicadas pelo glyphosate. Essa intoxicação é caracterizada por alterações morfológicas e sintomas semelhantes aos de distúrbios nutricionais, como deficiência de N, B, Fe e Zn, que são caracterizados pelo aparecimento de folhas cloróticas, pequenas e quebradiças (Malavolta, 2006). Por esse motivo, é muito comum agricultores atribuírem os sintomas de intoxicação pelo glyphosate a distúrbios nutricionais das plantas, como deficiências de N, B, Fe, Zn e Mn (Franzen et al., 2003; Jolley et al., 2004; Römheld et al., 2005; Santos et al., 2007). Tem-se observado, em alguns casos, que aplicações foliares de micronutrientes promovem aumento da produtividade de culturas atingidas pela deriva do glyphosate (Hansen et al., 2004; Ozturk et al., 2008).

Não há referências na literatura de uma possível ligação entre os efeitos da deriva do glyphosate e a nutrição mineral do cafeeiro. Em outras culturas são citadas possíveis causas do aparecimento de distúrbios nutricionais em plantas atingidas pelo glyphosate. No girassol, o glyphosate atuou reduzindo a absorção e translocação de Fe⁵⁹, Zn⁶⁵ e Mn⁵⁴ radiomarcados (Eker et al., 2006; Ozturk et al., 2008); reduziu a atividade da enzima redutase férrica, nitrogenase e redutase do nitrato em plantas de soja convencional (Bellaloui et al., 2006; De Maria et al., 2006); e contribuiu para o menor desenvolvimento do sistema radicular em diversas culturas, dificultando a absorção de P e K, que se dá por difusão (Yamada & Castro, 2007) e pela formação de complexos pouco solúveis com cátions divalentes, como Ca²⁺, Mg²⁺, Fe²⁺, Mn²⁺ e Zn²⁺, ocorrendo menor absorção, transporte e acúmulo (Bernards et al., 2005; Thomas et al., 2007).

Diante do exposto, avaliaram-se neste trabalho os efeitos do glyphosate sobre os teores foliares de nutrientes em três cultivares de cafeeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, sendo avaliados três cultivares de café (*Coffea arabica*) de porte baixo: Catucaí Amarelo (2 SL), Oeiras (MG-6851) e Topázio (MG-1190). As mudas foram produzidas em sacolas plásticas de polietileno. Quando atingiram o estágio de cinco pares de folhas, foram transplantadas em vasos contendo 10 L de substrato composto por solo peneirado e esterco de curral curtido (3:1), além de calcário dolomítico, a fim de elevar a saturação por bases a 60%, e superfosfato simples (90 g por vaso) como fonte de P_2O_5 (Guimarães et al., 1999). Os resultados das análises física e química do solo utilizado encontram-se na Tabela 1. As plantas receberam adubações de cobertura com cloreto de potássio (11 g por vaso) e ureia (2 g por vaso), de acordo com Guimarães et al. (1999), aos 30 e 60 dias após transplântio.

O experimento foi instalado em esquema fatorial (3 x 5), com três cultivares de café e cinco doses de glyphosate, no delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. As doses testadas foram: 0; 57,6; 115,2; 230,4; e 460,8 g ha⁻¹ de glyphosate, respectivamente correspondentes a 0,0; 4,0; 8,0; 16,0; e 32,0% da dose de 1.440 g ha⁻¹ da formulação sal de isopropilamina. A parcela experimental foi constituída de um vaso, contendo uma planta.

Aos 120 dias após o plantio (DAA), quando as plantas de café apresentavam-se com cerca de 21 pares de folhas e seis ramos

plagiotrópicos, realizou-se a aplicação do glyphosate, de modo que não atingisse o terço superior das plantas de café, utilizando-se pulverizador costal, pressurizado a CO₂, na pressão de 250 kPa, munido de uma barra com duas pontas de pulverização tipo leque (TT 11002), espaçadas de 50 cm entre si, o que proporcionou aplicação de 200 L ha⁻¹ de calda. No momento da aplicação, aferiu-se a temperatura do ar (25,3 °C ± 1), a umidade relativa do ar (80% ± 3) e a velocidade do vento (2 km h⁻¹).

Aos 45 e 120 DAA coletaram-se duas folhas completamente desenvolvidas (terceiro par a partir do ápice) de cada planta, sendo elas retiradas de ramos plagiotrópicos inseridos na porção mediana da planta. Após secagem das amostras a 65 °C até atingirem massa constante, procedeu-se à moagem destas em moinho de lâminas do tipo Wiley, equipado com peneira fina (40 mesh), visando homogeneização do material. Amostras desse material vegetal moído foram submetidas à digestão nitroperclórica. Em seguida, foram determinadas as concentrações de P, pelo método da vitamina C modificado (Braga & De Fellipo, 1974); de K, por fotometria de chama; de S, por turbidimetria do sulfato (Jackson, 1958); e de Ca, Mg, Fe, Zn, Mn e Cu, por espectrofotometria de absorção atômica (AOAC, 1975). A digestão sulfúrica do material vegetal foi realizada, para determinação da concentração de N (nitrogênio total) pelo método de Kjeldahl.

Para a interpretação dos dados, empregou-se a análise de variância, utilizando-se o teste

Tabela 1 - Características físicas e químicas do Latossolo Vermelho-Amarelo utilizado no experimento^{1/}. Viçosa-MG, 2009

Análise granulométrica (dag kg ⁻¹)											
Areia	Silte		Argila			Classe textural					
46	5		49			Argilo arenosa					
Análise química											
pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	t	T	m	V
(H ₂ O)	(mg dm ⁻³)		(cmol _c dm ⁻³)						(%)		
4,7	2,3	48	1,4	0,4	0,6	6,27	1,92	2,52	8,19	24	23
P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	MO					
(mg L ⁻¹)	(cmol _c dm ⁻³)						(dag kg ⁻¹)				
24,3	2,6	91,3	14,3	1,1	0,7	2,4					

^{1/} Análises realizadas no Laboratório de Análises Físicas e Químicas de Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.



F ($p \leq 0,05$). Efetuou-se o desdobramento da interação significativa, empregando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade para as comparações entre cultivares e análise de regressão para as doses de glyphosate, com escolha dos modelos baseada na sua significância, no fenômeno biológico e no coeficiente de determinação ($R^2 = S.Q. \text{ Reg.} / S.Q. \text{ Trat.}$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aos oito dias após a aplicação (DAA), observou-se clorose das folhas dos ápices das plantas como sintoma de intoxicação decorrente da aplicação do glyphosate nas doses acima de $230,4 \text{ g ha}^{-1}$. Aos 15 DAA surgiram folhas com limbo foliar reduzido, caracterizando-se como sintoma de intoxicação do glyphosate em plantas de café. Há relatos na literatura de outros sintomas de intoxicação promovidos pelo glyphosate, como: necrose e enrolamento das folhas em plantas de eucalipto (Santos et al., 2007), arroxejamento de folhas em plantas de maracujá-amarelo (Wagner Jr. et al., 2008), superbrotação pela morte do meristema apical em plantas de eucalipto (Tuffi Santos et al., 2006, 2009) e leve clorose nas folhas de plantas de *Citrus limonia* (Gravena et al., 2009).

Quando se analisaram os teores foliares de N, P, K, Ca, Cu e Zn aos 45 DAA, e os de N, K, Mn e Zn aos 120 DAA, observou-se que, independentemente do cultivar, os teores desses nutrientes nas plantas de café foram influenciados pelas doses de glyphosate. Contudo, os teores de Fe e Mn, aos 45 DAA, e de P e Fe, aos 120 DAA, foram dependentes do cultivar e da dose de glyphosate aplicada.

O aumento das doses de glyphosate reduziu os teores foliares de N, P, K, Cu e Zn aos 45 DAA, porém, nessa data, os teores foliares de Ca foram aumentados (Tabela 2). As plantas de café acumularam $1,04$ e $16,90 \text{ g kg}^{-1}$ de matéria seca de P e K, respectivamente, quando tratadas na dose de $460,8 \text{ g ha}^{-1}$, representando percentuais de redução de $19,38\%$ e $18,46\%$, quando comparados as das plantas que não receberam tratamento com glyphosate. Todavia, os efeitos mais prejudiciais foram observados nos teores foliares de N e Zn, onde, na maior dose ($460,8 \text{ g ha}^{-1}$), encontraram-se $16,58 \text{ g kg}^{-1}$ e $10,05 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente. Ao se comparar com a testemunha, houve

redução percentual de $35,51\%$ ($26,10 \text{ g kg}^{-1}$) e $35,19\%$ ($15,66 \text{ mg kg}^{-1}$), para N e Zn, respectivamente. Eker et al. (2006) relataram que aplicações de glyphosate na dose de $86,4 \text{ g ha}^{-1}$ em plantas de girassol reduziram a absorção e translocação de Zn⁶⁵, 12 horas após a aplicação. Os sintomas visuais de deficiência de Zn, como crescimento retardado e surgimento de folhas pequenas e lanceoladas, foram identificados nas plantas que receberam aplicações de glyphosate, principalmente em doses superiores a $230,4 \text{ g ha}^{-1}$. As causas desses sintomas pela deficiência de Zn presumivelmente estão relacionadas a distúrbios no metabolismo das auxinas, mais precisamente do ácido indolacético. Sabe-se que o Zn é requerido na síntese do triptofano, sendo esse o precursor do AIA (Taiz & Zieger, 2004; Abouziena et al., 2009).

Zablotowicz & Reddy (2007) verificaram que os teores foliares de N foram reduzidos em plantas de soja convencional, quando tratada com doses inferiores a $84,5 \text{ g ha}^{-1}$ de glyphosate, em simulação de deriva. Do mesmo modo, ocorreu redução nos teores de N em folhas de pinus tratadas com subdoses desse herbicida (Sword et al., 1998). A redução nos teores foliares de N pôde ser visualizada pela clorose intensa das folhas das plantas. De acordo com Fuchs et al. (2002) e Reddy et al. (2008), o glyphosate pode reduzir indiretamente a síntese de clorofila, através da inibição da porfirina, precursora do ácido aminolevulínico, ou também estimulando sua degradação pela luz solar. Contrariamente, Gravena et al. (2009) não observaram reduções nos teores de clorofila em *Citrus limonia* com doses de até 720 g ha^{-1} de glyphosate.

Corroborando os valores apresentados na Tabela 2, houve aumento nos teores de Ca em plantas de eucalipto tratadas com glyphosate, em doses superiores a $345,6 \text{ g ha}^{-1}$ (Santos et al., 2007). Souza et al. (1999) relataram que o glyphosate exerce efeitos na produção de exsudatos da planta e na atividade microbiana do solo, com possível aumento das concentrações de Ca na solução do solo, onde seria mais absorvido. Isso pode explicar os aumentos foliares de Ca.

Observa-se redução dos teores de N, K, Mn e Zn aos 120 DAA com o aumento da dose de

Tabela 2 - Equações referentes aos teores de nutrientes em folhas de plantas de café (Y) submetidas a diferentes doses de glyphosate (x), aos 45 e 120 dias após aplicação (DAA). Viçosa-MG, 2009

Nutriente	Unidade	Equação	R ²
45 DAA			
N	(g kg ⁻¹)	$\hat{Y} = 14,77 + 11,23e^{-0,003961x}$	0,93*
P		$\hat{Y} = 0,9902 - 0,2985e^{-0,003920x}$	0,88*
K		$\hat{Y} = 20,7450 - 0,0131x + 0,000010408x^2$	0,91*
Ca		$\hat{Y} = 15,61 + 0,005973x$	0,94*
Mg		$\hat{Y} = \bar{Y} = 9,21$	--
S		$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,74$	--
Cu	(mg kg ⁻¹)	$\hat{Y} = 15,92 + 0,2490e^{-0,009145x}$	0,96*
Zn		$\hat{Y} = 9,096 + 6,560e^{-0,004184x}$	0,96*
120 DAA			
N	(g kg ⁻¹)	$\hat{Y} = 19,39 + 1,736e^{-0,004917x}$	0,92*
K		$\hat{Y} = 16,57 + 1,728e^{-0,001498x}$	0,94*
Ca		$\hat{Y} = \bar{Y} = 12,46$	--
Mg		$\hat{Y} = \bar{Y} = 7,19$	--
S		$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,46$	--
Cu	(mg kg ⁻¹)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 15,64$	--
Mn		$\hat{Y} = 147,7 - 0,1040x + 0,0001089x^2$	0,98*
Zn		$\hat{Y} = 10,02 + 1,822e^{-0,02789x}$	0,99*

* representa significância pelo teste F ($p \leq 0,05$).

glyphosate (Tabela 2). Os teores foliares de N e K foram de 19,57 e 17,43 g kg⁻¹ na matéria seca, respectivamente, na dose de 460,8 g ha⁻¹, o que proporcionou redução de 4,75% e 7,41% quando comparados com teores desses elementos nas plantas testemunhas. Do mesmo modo, ocorreu redução nos teores de Zn e Mn nas plantas de café com o aumento da dose de glyphosate, aos 120 DAA.

As faixas críticas de nutrientes nos tecidos foliares de cafeeiro em pós-plantio foram determinadas em experimento utilizando-se o cultivar Topázio (Tabela 3) (Clemente, 2005; Clemente et al., 2008). Aos 45 DAA, os teores de nutrientes das plantas não tratadas com glyphosate foram ligeiramente superiores aos limites de máximo da faixa adequada. Isso pode ser atribuído às adubações de cobertura e à alta disponibilidade de nutrientes no substrato. Todos os teores médios de macro e micronutrientes observados nas folhas aos 120 DAA encontraram-se dentro dos limites da faixa adequada, exceto Ca e Mg, com teores médios inferiores aos listados.

Quanto ao teor foliar de Fe, observou-se redução com o aumento da dose de glyphosate, para todos os cultivares. Houve redução de 0,4265 mg kg⁻¹ no teor de Fe na matéria seca das folhas para cada grama de glyphosate aplicado no cultivar Catucaí. O teor foliar de Fe foi reduzido, seguindo tendência exponencial, para o cultivar Oeiras com o aumento das doses do herbicida; todavia, a redução seguiu uma tendência quadrática, com aumento da dose do glyphosate quando aplicado no cultivar Topázio, aos 45 DAA (Figura 1). O teor foliar

Tabela 3 - Faixas críticas de nutrientes nos tecidos foliares de plantas de café em pós-plantio^{1/}

Macronutriente	(g kg ⁻¹)	Micronutriente	(mg kg ⁻¹)
N	19,24–23,16	Cu	12,40–18,54
P	1,14–1,21	Fe	424,89–457,31
K	17,39–19,02	Mn	127,17–178,67
Ca	12,70–14,11	Zn	11,51–11,92
Mg	8,26–8,97		
S	1,49–1,77		

^{1/} Fonte: Clemente (2005) e Clemente et al. (2008).



de Fe diferiu entre os cultivares a partir da dose de 115,2 g ha⁻¹, com os maiores teores de Fe sendo encontrados no Catucaí, diferenciando-se dos demais. Na dose de 460,8 g ha⁻¹, o cultivar Oeiras apresentou os maiores teores foliares de Fe, diferenciando-se de Catucaí e Topázio. Trabalhando com plantas de girassol tratadas com glyphosate, Eker et al. (2006) observaram que o teor foliar de Fe foi severamente reduzido 12 horas após a aplicação, havendo redução na absorção e translocação desse nutriente quando as plantas foram tratadas com doses superiores a 172 g ha⁻¹ do herbicida. Essa menor absorção de Fe em plantas tratadas com glyphosate deve-se, possivelmente, à inibição da enzima redutase férrica localizada nas raízes, sendo esta essencial na redução do Fe³⁺ a Fe²⁺ (Marchner, 1995). Após aplicação de glyphosate (86,4 g ha⁻¹) em plantas de girassol, houve inibição de 50% na atividade da redutase férrica nas primeiras horas após tratamento, e inibição completa após 24 horas do tratamento, promovendo sintomas como clorose em folhas jovens (Ozturk et al., 2008). Embora o Fe não faça parte da molécula de clorofila, um dos sintomas de deficiência mais comuns é a clorose de folhas mais jovens, pois o Fe participa da conversão de Mg-protoporfirina IX em protoclorofila (Taiz & Zieger, 2004). Contudo, Santos et al. (2007) relataram que plantas de eucalipto submetidas a doses de 345,6 e 691,2 g ha⁻¹ de glyphosate apresentaram teores mais elevados de Fe, em comparação com aquelas que não receberam aplicações de glyphosate.

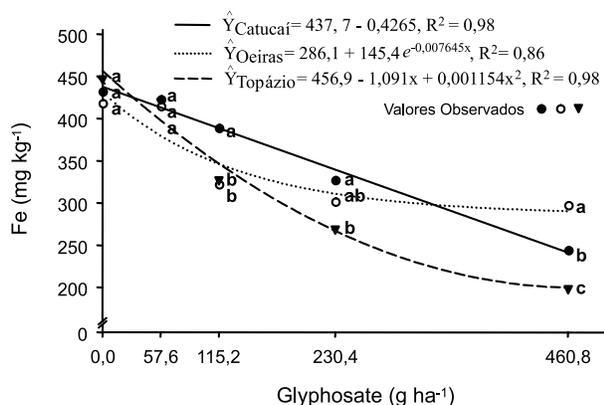


Figura 1 - Teor de ferro em folhas de plantas de cultivares de café submetidas a diferentes doses de glyphosate, 45 dias após a aplicação. Viçosa-MG, 2009.

Os teores foliares de Fe foram reduzidos com o aumento da dose de glyphosate, diferentemente para os três cultivares, aos 120 DAA (Figura 2). Houve redução linear no teor foliar de Fe nos cultivares Catucaí e Oeiras, quando submetidos ao tratamento com doses de glyphosate. Observou-se maior redução no cultivar Catucaí, onde, para cada grama do herbicida aplicado, reduz-se 0,2787 mg kg⁻¹ no teor de Fe na matéria seca das folhas, enquanto no teor de Fe no cultivar Oeiras essa redução é de 0,1624 mg kg⁻¹. Todavia, o cultivar Topázio diferenciou-se dos demais quanto ao teor foliar de Fe quando as plantas foram tratadas com doses superiores a 115,2 g ha⁻¹ de glyphosate.

Com o aumento das doses do herbicida, houve redução quadrática nos teores foliares de Mn para o cultivar Catucaí, atingindo o teor máximo de Mn na dose de 97 g ha⁻¹ de glyphosate, com posterior redução no teor de Mn foliar (Figura 3). Entretanto, houve relação direta entre o aumento da dose de glyphosate e a redução no teor foliar de Mn para o cultivar Oeiras, com redução de 0,1210 mg kg⁻¹ de matéria seca para cada grama aplicado do herbicida. Observou-se que o cultivar Topázio diferenciou-se dos demais, com os menores acúmulos de Mn, quando suas plantas foram tratadas nas doses de 115,2, 230,4 e 460,8 g ha⁻¹ de glyphosate. Observações de campo no Brasil e nos Estados Unidos mostram que a intoxicação das culturas pela aplicação de glyphosate para o controle de plantas daninhas induz a deficiências de Fe, Zn e Mn em diferentes espécies agrícolas (Franzen et al., 2003;

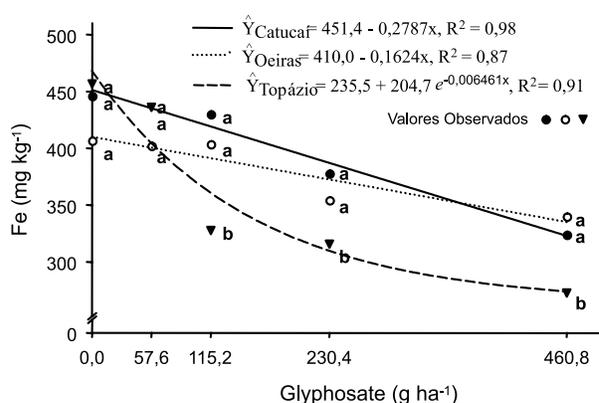


Figura 2 - Teor de ferro em folhas de plantas de cultivares de café submetidas a diferentes doses de glyphosate, 120 dias após a aplicação. Viçosa-MG, 2009.

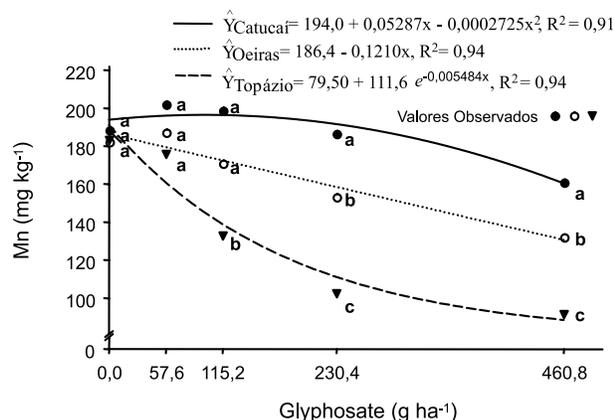


Figura 3 - Teor de manganês em folhas de plantas de cultivares de café submetidas a diferentes doses de glyphosate, 45 dias após a aplicação. Viçosa-MG, 2009.

Römheld et al., 2005). Os aumentos das doses de glyphosate reduziram até 50% a concentração de Mn nas folhas de girassol (Eker et al., 2006). Trabalhando com doses de 720 g ha^{-1} , aplicadas também em girassol, Neumann et al. (2006) encontraram 90% de redução nos teores foliares de Mn em comparação ao tratamento sem aplicação do herbicida. Desse modo, fica evidente que o glyphosate prejudica a absorção de Mn pelas plantas.

Observou-se que os cultivares Catucaí e Oeiras apresentaram comportamento exponencial ($Y = y_0 + ae^{-bx}$) quanto ao teor foliar de P em plantas tratadas com doses de glyphosate; no entanto, o cultivar Topázio apresentou comportamento linear quanto ao teor desse nutriente nas plantas tratadas com o herbicida (Figura 4). Houve redução de $0,0009783 \text{ g kg}^{-1}$ de P na matéria seca foliar no cultivar Topázio, para cada grama de glyphosate aplicado. O teor de P nas folhas do cultivar Topázio apresentou-se menor quando comparado ao dos demais cultivares, nas doses de 230,4 e $460,8 \text{ g ha}^{-1}$ de glyphosate. O P na fase jovem da cultura tem importância por aumentar significativamente o sistema radicular das plantas recém-plantadas (Malavolta, 2006). Entretanto, em plantas de eucalipto tratadas com glyphosate não se observaram reduções nos teores foliares de P (Santos et al., 2007).

Além de fatores extrínsecos, como deriva do glyphosate, fatores intrínsecos, como os genéticos, podem proporcionar diferenças nos

teores foliares de nutrientes minerais, indicando que entre os cultivares existe maior ou menor eficiência na absorção, na translocação ou na utilização de nutrientes pela planta (Augusto et al., 2007). Mudanças de cafeeiro Catucaí Amarelo (2 SL) apresentaram maiores taxas de absorção de N, P, K e Ca do que mudas de cafeeiros Oeiras (MG-6851) e Topázio (MG-1190) (Ferreira, 2008). Augusto et al. (2007) encontraram diferenças nos teores foliares de P entre cultivares de café, porém verificaram-se menores teores no cultivar Oeiras, corroborando os dados apresentados na Figura 4. Nesta figura, é observado menor teor foliar de P no cultivar Oeiras, nas plantas testemunhas, mesmo sem diferenciar-se estatisticamente dos demais cultivares. Do mesmo modo, o cultivar de café Catucaí Amarelo (2 SL) apresentou maior eficiência de absorção para Mn, Cu e Zn do que os cultivares Oeiras (MG-6851) e Topázio (MG-1190) (Ferreira, 2008).

Conclui-se que a deriva de glyphosate promove reduções nas concentrações foliares de N, P, K, Cu e Zn aos 45 DAA e de N, K, Mn e Zn aos 120 DAA em plantas de café tratadas com glyphosate, independentemente do cultivar. Houve incremento no teor foliar de Ca aos DAA com o aumento das doses de glyphosate. O cultivar Topázio apresentou as maiores reduções nos teores foliares de Fe e Mn, aos 45 DAA, e de P e Fe, aos 120 DAA, quando tratados com glyphosate.

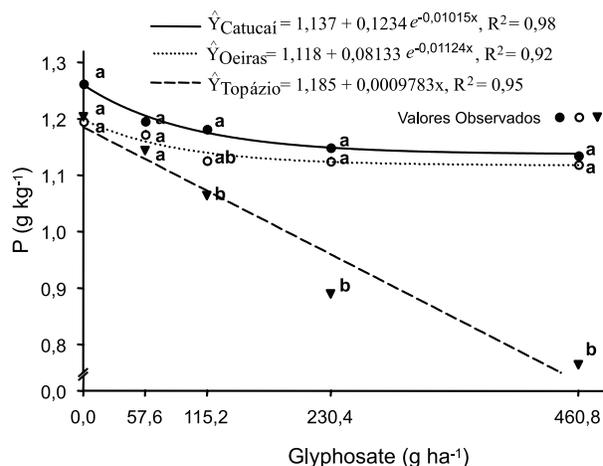


Figura 4 - Teor de fósforo em folhas de plantas de cultivares de café submetidas a diferentes doses de glyphosate, 120 dias após a aplicação. Viçosa-MG, 2009.



AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão da bolsa de estudos; e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG, pela concessão dos recursos para a realização deste trabalho.

LITERATURA CITADA

- ABOUZIENA, H. F. et al. Zinc antagonizes glyphosate efficacy on yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*). **Weed Sci.**, v. 57, n. 1, p. 16-20, 2009.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis**. 12.ed. Washington DC: 1975. 1094 p.
- AUGUSTO, H. S. et al. Concentração foliar de nutrientes e cultivares de *Coffea arabica* L. sob espaçamentos adensados. **Ci. Agrotec.**, v. 31, n. 4, p. 973-981, 2007.
- BELLALOU, N. et al. Simulated glyphosate drift influences nitrate assimilation and nitrogen fixation in non glyphosate-resistant soybean. **J. Agric. Food Chem.**, v. 54, n. 9, p. 3357-3364, 2006.
- BERNARDS, M. L. et al. Glyphosate interaction with manganese in tank mixtures and its effect on glyphosate absorption and translocation. **Weed Sci.**, v. 53, n. 6, p. 787-794, 2005.
- BRAGA, J. M.; De FELLIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de P em extratos de solo e material vegetal. **R. Ceres**, v. 21, n. 113, p. 73-85, 1974.
- CAIXETA, G. Z. T. et al. Gerenciamento como forma de garantir a competitividade da cafeicultura. **Inf. Agropec.**, v. 29, n. 247, p. 14-23, 2008.
- CLEMENTE, F. M. V. T. **Faixas críticas de teores foliares de macro e micronutrientes no cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no primeiro ano de formação da lavoura**. 2005. 72 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.
- CLEMENTE, F. M. V. et al. Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes no cafeeiro em pós-plantio - primeiro ano. **Coffee Sci.**, v. 3, n. 1, p. 47-57, 2008.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira**. [11/07/2009]. (<http://www.conab.gov.br>).
- De MARIA, N. et al. New insights on glyphosate mode of action in nodular metabolism: role of shikimate accumulation. **J. Agric. Food Chem.**, v. 54, n. 7, p. 2621- 2628, 2006.
- EKER, S. et al. Foliar-applied glyphosate substantially reduced uptake and transport of iron and manganese in sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. **J. Agric. Food Chem.**, v. 54, n. 27, p. 10019-10025, 2006.
- FERREIRA, A. D. **Eficiência do porta-enxerto Apoatã IAC 2258 (*Coffea canephora*) na nutrição mineral e no desenvolvimento de cafeeiros (*Coffea arabica* L.)**. 2008. 72 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.
- FRANZEN, D. W. et al. Interaction of a foliar application of iron HEDTA and three postemergence broadleaf herbicides with soybeans stressed from chlorosis. **J. Plant Nutr.**, v. 26, n. 12, p. 2365-2374, 2003.
- FUCHS, M. A. et al. Mechanisms of glyphosate toxicity in velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medikus). **Pestic. Biochem. Phys.**, v. 74, n. 1, p. 27-39, 2002.
- GRAVENA, R. et al. Low glyphosate rates do not affect *Citrus limonia* (L.) osbeck seedlings. **Pest. Manag. Sci.**, v. 65, n. 4, p. 420-425, 2009.
- GUTMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: 1999. p. 289-302.
- HANSEN, N. C. et al. Iron deficiency of soybean in the North Central U.S. and associated soil properties. **Soil Sci. Plant Nutr.**, v. 50, n. 6, p. 983-987, 2004.
- JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1958. 458 p.
- JOLLEY, V. D. Nutritional and management related interactions with iron-deficiency stress response mechanisms. **Soil Sci. Plant Nutr.**, v. 50, n. 6, p. 973-981, 2004.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.
- MARCHNER, H. **Mineral nutrition of hight plants**. 2.ed. New York: Academic Press, 1995. 889 p.
- NEUMANN, G. et al. Relevance of glyphosate transfer to non-target plants via the rhizosphere. **J. Plant Disease. Protec.**, v. 20, Special Issue, p. 963-969, 2006.
- OZTURK, L. et al. Glyphosate inhibition of ferric reductase activity in iron deficient sunflower roots. **New Phytol.**, v. 177, n. 4, p. 899-906, 2008.
- REDDY, K. N. et al. Aminomethylphosphonic acid accumulation in plant species treated with glyphosate. **J. Agric. Food Chem.**, v. 56, n. 6, p. 2125-2130, 2008.



- RÖMHELD, V. et al. Relevance of glyphosate in the rhizosphere of non-target plants in orchards for plant health. In: INTERNATIONAL PLANT NUTRITION COLLOQUIUM, 15., 2005. **Proceedings...** v. 15, p. 476-477, 2005.
- RONCHI, C. P. et al. Acúmulo de nutrientes pelo cafeeiro sob interferência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 219-227, 2003.
- RONCHI, C. P.; SILVA, A. A. Tolerância de mudas de café a herbicidas aplicados em pós-emergência. **Planta Daninha**, v. 21, n. 3, p. 421-426, 2003.
- RONCHI, C. P.; SILVA, A. A. Weed control in young coffee plantations through post-emergence herbicide application onto total area. **Planta Daninha**, v. 22, n. 4, p. 607-615, 2004.
- SANTOS, L. D. T. et al. Crescimento e concentração de nutrientes na parte aérea de eucalipto sob efeito da deriva do glyphosate. **R. Cerne**, v. 13, n. 4, p. 347-352, 2007.
- SILVA, S. O. et al. Diversidade e frequência de plantas daninhas em associações entre cafeeiros e grevileas. **Coffee Sci.**, v. 1, n. 2, p. 126-134, 2006.
- SILVA, A. A. et al. Manejo integrado de plantas daninhas em lavouras de café. In: TOMAZ, M. A et al. (Eds.). **Seminário para a sustentabilidade da cafeicultura**. Alegre:UFES, 2008. p. 251-268.
- SOUZA, R. B. **Níveis críticos de enxofre em solos e folhas de cultivares de café**. 1999. 88 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.
- SWORD, M. A. et al. Establishment treatments affect relationships among nutrition, productivity and competing vegetation of loblolly pine saplings on a Gulf Coastal Plain site. **For. Ecol. Manag.**, v. 105, n. 2, p. 175-188, 1998.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 820 p.
- THOMAS, C. M. et al. Comparison of glyphosate salts (isopropylamine, diammonium, and potassium) and calcium and magnesium concentrations on the control of various weeds. **Weed Technol.**, v. 20, n. 1, p. 164-171, 2007.
- TUFFI SANTOS, L. D. et al. Intoxicação de espécies de eucalipto submetidas à deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 359-364, 2006.
- TUFFI SANTOS, L. D. et al. Leaf anatomy and morphometry in three eucalypt clones treated with glyphosate. **Braz. J. Biol.**, v. 69, n. 1, p. 129-136, 2009.
- WAGNER JR., A. et al. Deriva simulada de formulações comerciais de glyphosate sobre maracujazeiro-amarelo. **Planta Daninha**, v. 26, n. 3, p. 677-683, 2008.
- YAMADA, T.; CASTRO, P. R. C. **Efeitos do glifosato nas plantas: implicações fisiológicas e agrônômicas**. Piracicaba-SP: INPI - International Plant Nutrition Institute, 2007. p. 1-32.
- ZABLOTOWICZ, R. M.; REDDY, K. N. Nitrogenase activity, nitrogen content, and yield responses to glyphosate in glyphosate-resistant soybean. **Crop Protec.**, v. 26, n. 3, p. 370-376, 2007.

