

ANDRÉ CABRAL FRANÇA

AÇÃO DO GLYPHOSATE SOBRE O CRESCIMENTO E TEORES DE  
NUTRIENTES EM CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA

Tese apresentada à Universidade Federal  
de Viçosa, como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia,  
para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2009

ANDRÉ CABRAL FRANÇA

AÇÃO DO GLYPHOSATE SOBRE O CRESCIMENTO E TEORES DE  
NUTRIENTES EM CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA

Tese apresentada à Universidade Federal  
de Viçosa, como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia,  
para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 20 de julho de 2009.

---

**Prof. Cláudio Pagotto Ronchi**  
(Coorientador)

---

**Prof. José Barbosa dos Santos**  
(Coorientador)

---

**Prof. Francisco Affonso Ferreira**

---

**Prof. Tocio Sedyama**

---

**Prof. Antonio Alberto da Silva**  
(Orientador)

*Aos meus pais, Roberto e Rosângela,  
meus irmãos, Bruno e Roberta, e, ao  
meu amor Mina Yamada.*

*Ofereço e dedico.*

***"Quanto mais aumenta nosso  
conhecimento, mais evidente fica  
nossa ignorância".  
(John F. Kennedy)***

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, saúde e proteção, sem O qual nada seria.

À Jesus Cristo, fonte imensurável de amor e inspiração, a quem devo tudo o que sou.

À Nossa Senhora, Mãe em todos os momentos de minha vida.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, pela concessão dos recursos para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Antonio Alberto da Silva, pela amizade, confiança, compreensão, dedicação, força, orientação e apoio, sempre aperfeiçoando esse trabalho.

Aos Professores Cláudio Pagotto Ronchi e José Barbosa dos Santos, pela coorientação, amizade, atenção e disponibilidade de tempo. Pelas sugestões e pelas críticas que muito contribuíram para a qualidade final desse trabalho.

Aos Professores Tocio Sedyama e Francisco Affonso Ferreira pelas sugestões e pelas críticas que muito contribuíram para a qualidade final desse trabalho.

Ao Prof. Lino Roberto Ferreira, pela amizade e confiança. Pelas sugestões imprescindíveis para a execução e conclusão desse trabalho.

Aos amigos Leonardo D'Antonino e Marcelo Reis pela amizade inestimável e pelo imprescindível auxílio na execução desse trabalho.

Aos amigos Marco Antonio e Cíntia Maria pela amizade, companheirismo e formação do grupo de estudos em cafeicultura.

Ao Técnico Agrícola Luís Henrique Lopes de Freitas, pela amizade, companheirismo e sempre disponibilidade na montagem de experimentos.

Aos amigos do Laboratório de Herbicida Alexandre Ferreira, Edson Santos, Evander Alves, Ignácio Aspiazú, Leandro Galon e Siumar Tironi, pela amizade e pelo imprescindível auxílio na execução desse trabalho.

A todos os integrantes da Equipe Planta Daninha desta Universidade, pela amizade, pela brilhante convivência e que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desse trabalho.

Aos amigos e colegas do Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, pelas trocas constantes de informações.

E, finalmente, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução desse trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

## **BIOGRAFIA**

ANDRÉ CABRAL FRANÇA, filho de Roberto Márcio Figueiredo França e Rosângela Fonseca Cabral França, nasceu na cidade de Sete Lagoas, Minas Gerais, em 06 de abril de 1981.

Em janeiro de 2005, graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Estadual de Montes Claros, *campus* Janaúba, Minas Gerais, Brasil.

Em março de 2007, tornou-se Mestre em Fitotecnia pela Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, Brasil.

Em agosto de 2007, iniciou o curso de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia pela Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em 20 de julho de 2009.

## ÍNDICE

RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	ix
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2. LITERATURA CITADA .....	4
3. CRESCIMENTO DE CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA SUBMETIDAS A DOSES DO GLYPHOSATE .....	7
3.1. RESUMO .....	7
3.2. ABSTRACT .....	7
3.3. INTRODUÇÃO .....	8
3.4. MATERIAL E MÉTODOS .....	10
3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	12
3.6. LITERATURA CITADA .....	22
4. TEORES DE NUTRIENTES EM CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA SUBMETIDAS A DOSES DE GLYPHOSATE .....	25
4.1. RESUMO .....	25
4.2. ABSTRACT .....	25
4.3. INTRODUÇÃO .....	26
4.4. MATERIAL E MÉTODOS .....	28
4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
4.6. LITERATURA CITADA .....	37
5. EFEITO DO GLYPHOSATE NO CRESCIMENTO DAS CULTIVARES ACAIÁ E CATUCAÍ .....	40
5.1. RESUMO .....	40
5.2. ABSTRACT .....	40
5.3. INTRODUÇÃO .....	41
5.4. MATERIAL E MÉTODOS .....	43
5.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	45
5.6. LITERATURA CITADA .....	54
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	57

## RESUMO

FRANÇA, André Cabral, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2009. **Ação do glyphosate sobre o crescimento e teores de nutrientes em cultivares de café arábica.** Orientador: Antonio Alberto da Silva. Coorientadores: Cláudio Pagotto Ronchi e José Barbosa dos Santos.

O controle das plantas daninhas em lavouras jovens de café deve ser realizado em tempo hábil, a fim de reduzir eventuais interferências das espécies infestantes. Devido ao pequeno número de herbicidas seletivos e registrados para a cultura, cafeicultores utilizam-se de herbicidas não-seletivos, como o glyphosate, através da aplicação dirigida sobre as plantas daninhas. Apesar de todos os cuidados com a tecnologia de aplicação são constatados casos de intoxicação de plantas de café, pela deriva do produto aplicado. Diante da frequência e importância do uso do glyphosate nas lavouras cafeeiras faz-se necessário conhecer os reais efeitos desse herbicida em cafeeiros jovens. Para isso, foram realizados três experimentos visando avaliar os efeitos do glyphosate no crescimento de cultivares de café (*Coffea arabica* L.), bem como, a influência desse herbicida sobre a nutrição mineral dessas plantas. Os experimentos foram realizados em casa de vegetação, entre os meses de junho e março, no ano agrícola 2008/09. No primeiro experimento, utilizou-se do esquema fatorial (3 x 5) em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições, sendo os tratamentos compostos por três cultivares de café: Catucaí Amarelo (2SL), Oeiras (MG-6851) e Topázio (MG-1190) e cinco doses de glyphosate (0, 57,6; 115,2; 230,4 e 460,8 g ha<sup>-1</sup>). O herbicida foi aplicado aos 120 dias após o transplântio das mudas para vasos de 10 L, de forma que não atingisse o terço superior das mesmas. Os sintomas de intoxicação nas plantas de café foram semelhantes nas diferentes cultivares, sendo caracterizados por clorose e estreitamento do limbo foliar. A cultivar Topázio foi a cultivar mais sensível ao glyphosate, quanto ao acúmulo de área foliar e de matéria seca das raízes e na densidade radicular. No segundo experimento avaliaram-se os efeitos do glyphosate sobre os teores foliares de nutrientes em três cultivares de café (Catucaí, Oeiras e Topázio). Houve redução nos teores foliares de N, P, K, Cu e Zn quando as folhas foram coletadas aos 45 dias após a aplicação do glyphosate (DAA), e de N, K, Mn e Zn, quando a coleta foi realizada aos 120 DAA, independentemente da cultivar utilizada. A 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 tratadas com glyphosate. No terceiro experimento avaliaram-se os efeitos do glyphosate sobre o crescimento de duas

cultivares de café de crescimento distinto, sendo Acaiá de internódios longos e, Catucaí de internódios curtos. Utilizou-se do esquema fatorial (2 x 5) em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições, sendo os tratamentos compostos por duas cultivares de café (*Coffea arabica* L.): Catucaí Amarelo (2 SL), e Acaiá (IAC 474/19) e cinco doses de glyphosate (0; 57,6; 115,2; 230,4 e 460,8 g ha<sup>-1</sup>). A cultivar Acaiá mostrou-se menos tolerante ao glyphosate, quando comparada à Catucaí. Essa cultivar apresentou menor crescimento que Catucaí quando submetida ao tratamento com o herbicida, possivelmente devido ao maior comprimento dos internódios, favorecendo a exposição de suas folhas às gotas contendo glyphosate.

## ABSTRACT

FRANÇA, André Cabral, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2009. **Action of glyphosate on growth and nutrient content in arabica coffee cultivars.** Advisor: Antonio Alberto da Silva. Coadvisors: Cláudio Pagotto Ronchi and José Barbosa dos Santos.

Weed control in young coffee plantations must be duly done in order to reduce possible interference of weed species. Due to the small number of registered and selective herbicides for the crop, coffee planters use non-selective herbicides, such as glyphosate, by directed spray on the targeted weeds. Despite all care with the application technology, cases of coffee plants intoxication are verified, due to the applied product's drift. Given the frequency and importance of the glyphosate use in coffee plantations, it is necessary to know the real effects of this herbicide on young coffee plants. For this, three experiments were performed to evaluate the effects of glyphosate on growth of coffee cultivars (*Coffea arabica* L.), and the influence of herbicide on the plants mineral nutrition. The experiments were conducted in a greenhouse, between June and March, in the agricultural year 2008/09. In the first experiment, it was used a factorial (3 x 5) in a randomized block design with four replications, with treatments consisting of three coffee varieties: Catucaí Amarelo (2SL), Oeiras (MG-6851) and Topázio (MG-1190) and five glyphosate doses (0, 57.6, 115.2, 230.4 and 460.8 g ha<sup>-1</sup>). The herbicide was applied at 120 days after transplanting the seedlings to 10 L pots, in a way that it would not reach their upper third. Intoxication symptoms in the coffee plants were similar in different cultivars, being characterized by chlorosis and leaf narrowing. The cultivar Topázio was the most sensitive to glyphosate cultivar, as for the accumulation of leaf area and roots dry matter and for root density. In the second experiment, the effects of glyphosate on the foliar levels of nutrients in three coffee cultivars (Catucaí, Oeiras and Topázio) were evaluated. There was a reduction in foliar content of N, P, K, Cu and Zn when the leaves were collected at 45 days after glyphosate application (DAA) and N, K, Mn and Zn, when the collection was performed at 120 DAA, regardless of the cultivar. The cultivar Topázio showed the highest reductions in levels of foliar Fe and Mn at 45 DAA, and P and Fe at 120 DAA, when treated with glyphosate. In the third experiment, the effects of glyphosate on growth of two coffee cultivars with different growing patterns, being Acaiá with long internodes and Catucaí with short internodes, were

evaluated. It was used a factorial (2 x 5) in a randomized block design with four replications, with treatments consisting of two coffee varieties (*Coffea arabica* L.): Catucaí Amarelo (2 SL), and Acaiá (IAC 474 / 19) and five glyphosate doses (0, 57.6, 115.2, 230.4 and 460.8 g ha<sup>-1</sup>). Cultivar Acaiá showed to be less tolerant to glyphosate when compared to Catucaí. This cultivar had lower growth than Catucaí when subjected to treatment with the herbicide, possibly due to greater internodes length, favouring the exposure of their leaves to the drops containing glyphosate.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O gênero *Coffea* é representado por pelo menos 103 espécies, no entanto, *C. arabica* L. (café arábica) e *C. canephora* Pierre (café robusta) são as que se destacam comercialmente (Davis et al., 2006). Nos últimos anos, a produção mundial de café tem sido superior a 110 milhões de sacas, e originou-se de países em desenvolvimento, como o Brasil, seguido pelo Vietnã, Colômbia, Indonésia, Etiópia, Peru e México. Além disso, o agronegócio cafeeiro movimenta aproximadamente 100 bilhões de dólares e emprega direta e indiretamente 500 milhões de pessoas em todo o mundo (ICO, 2009).

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café e produziu, na safra 2007/2008, 46 milhões de sacas, sendo 35 milhões de sacas de café arábica. O estado de Minas Gerais contribuiu com aproximadamente 66% da produção brasileira de café arábica, fato que o torna o maior produtor nacional. Porém, a produtividade média brasileira ainda é baixa, de apenas 17,38 sacas ha<sup>-1</sup> de café beneficiado, considerando que o potencial produtivo das variedades é superior a 40 sacas ha<sup>-1</sup> de café beneficiado (CONAB, 2009). Dentre os principais fatores que contribuem para a baixa produtividade do cafeeiro, destacam-se lavouras antigas e depauperadas, deficiências nutricionais, bienalidade de produção, oscilações nos preços internacionais do produto, estresse abiótico e biótico, baixa tecnologia de produção e problemas no manejo da cultura (Caixeta et al., 2008).

Entre os problemas encontrados pelos cafeicultores para alcançar maiores produtividades destaca-se o manejo das plantas daninhas (Silva et al., 2008) pois, essas, têm efeito adverso no crescimento e na produção do cafeeiro. Isso ocorre através da capacidade competitiva das plantas daninhas pelos recursos disponíveis, ou seja, água, nutrientes e luz, tornando-se escassos ao cafeeiro, durante períodos críticos, prejudicando-lhe o crescimento vegetativo e reprodutivo, e, conseqüentemente, reduzindo-lhe a produtividade. Além disso, as plantas daninhas interferem em práticas culturais, como fertilizações, colheita e no controle de pragas e doenças (Ronchi et al., 2003; Silva et al., 2006).

A competição mais severa entre plantas daninhas e as plantas de café arábica ocorre entre os meses de outubro a março (época das águas), período que coincide com à frutificação do cafeeiro, e, também durante a implantação e formação da lavoura (Silva et al., 2008). Blanco et al. (1982) constataram reduções na produção do café de 55,9% a 77,2% quando a lavoura estava infestada, na época “das águas”,

principalmente, por *Bidens pilosa*, *Digitaria horizontalis*, *Portulaca oleracea* e *Amaranthus viridis*. Diferentes intensidades de perdas na produção, causadas pela competição com as plantas daninhas, têm sido observadas: 28% (Merino et al., 1996), 24% (Moraima et al., 2000) e 65% (Eshetu, 2001).

Além da competição exercida pelas plantas daninhas, reduzindo a produção do cafeeiro, plantas jovens de café são muito sensíveis à interferência das espécies infestantes. Do transplântio das mudas no campo até o segundo ano pós-plantio, as plantas de café apresentam crescimento lento e deixam o solo exposto e propenso à exposição de luz. Desta forma, a infestação e o crescimento das plantas daninhas são favorecidos, e o crescimento do cafeeiro é, conseqüentemente, prejudicado, caso o controle não seja efetuado em tempo hábil (Silva et al., 2008).

Para o controle de plantas daninhas nas lavouras em formação, alguns produtores utilizam a capina manual na linha de plantio (Toledo et al., 1996; Alcântara et al., 2008). Todavia, este método de controle caracteriza-se por ser de baixo rendimento operacional, além de danificar as plantas de café com eventuais cortes na região do coleto e nas raízes das plantas (Alcântara et al., 2008).

O controle químico das plantas daninhas, por sua vez, tem sido o método mais utilizado. Todavia, um dos grandes problemas encontrados pelos cafeicultores tem sido o elevado custo do manejo (Ronchi & Silva, 2004). Isso ocorre porque embora existam vários herbicidas registrados para a cultura do café, pouquíssimos apresentam seletividade total para serem aplicados diretamente sobre as plantas dessa cultura, principalmente, aqueles utilizados em pós-emergência das plantas daninhas (Ronchi et al., 2003).

Dentre os produtos registrados para a cultura do café, aplicados em pós-emergência das plantas daninhas, apenas dois herbicidas (fluazifop-p-butil e clethodim) apresentam seletividade para a cultura, podendo ser aplicados em área total (Rodrigues & Almeida, 2005). Além desses, em trabalhos conduzidos em casa de vegetação, Alcântara & Carvalho (2000) e Ronchi & Silva (2003) selecionaram os herbicidas oxyfluorfen, fomesafen, flazasulfuron, chlorimuron-ethyl, sethoxydim, halosulfuron e fluazifop-p-butil + fomesafen (mistura), pois foram considerados seletivos para plantas jovens de café, quando aplicados em pós-emergência, e em área total.

Diante do pequeno número de herbicidas registrados e seletivos às plantas de café, cafeicultores empregam herbicidas não-seletivos aplicados em jato-dirigido, sobre as plantas daninhas, a fim de evitar o contato das gotas aspergidas com a cultura. O

glyphosate [N-(fosfonometil)glicina] destaca-se, principalmente, por suas características físico-químicas, econômicas e ambientais. São elas: baixo custo por aplicação, alta sorção no solo, baixa pressão de vapor, flexibilidade de aplicação, controle de grande número de espécies de plantas daninhas, mono e dicotiledôneas (anuais e perenes) e baixa toxicidade para mamíferos e aos organismos aquáticos (Green, 2007). No entanto, na aplicação dirigida do glyphosate sobre as plantas daninhas e, estas próximas às plantas jovens de café, é necessário utilizar proteções físicas, além de cuidados com a tecnologia de aplicação (pontas com indução de ar, pressão de trabalho, altura da barra e velocidade do vento). Dessa forma, pode-se evitar o contato das gotas menores e propensas ao arrastamento pelo vento, atingindo as folhas das plantas de café, intoxicando-as, sendo este fenômeno identificado como deriva (Rodrigues et al., 2003; Ronchi & Silva, 2004; Ferreira et al., 2007; Costa et al., 2007).

Mesmo com todos os cuidados com a tecnologia de aplicação são constatados casos de intoxicação de plantas de café (Ronchi & Silva, 2004). Os principais sintomas relatados por cafeicultores devido à deriva do glyphosate em plantas de café são a clorose em folhas mais novas, podendo associar-se a sintomas de deficiências nutricionais, tais como N, Fe e Mn e a emissão de folhas atrofiadas (Yamada & Castro, 2007).

Após o contato inicial das gotas contendo glyphosate com as folhas, ocorre rápida penetração do herbicida, o qual atravessa a cutícula conjuntamente à água de hidratação da mesma, seguida de absorção simplástica lenta (Zablotowicz & Reddy, 2007). Numerosos fatores, incluindo a espécie, idade, condições ambientais, concentrações do glyphosate e surfactante podem alterar a absorção e translocação do herbicida nas plantas. Após atingir o apoplasto, o glyphosate é absorvido pelas células por um processo complexo, envolvendo mais de um mecanismo. Hetherington et al. (1998) evidenciaram que quando o herbicida está em baixas concentrações no apoplasto, um mediador ativo é responsável pela sua absorção, provavelmente um transportador de fosfato, e, em altas concentrações, o processo predominantemente se dá por difusão. Uma vez que o glyphosate penetra na planta através da cutícula e é absorvido na membrana plasmática dos tecidos fotossintetizantes, é necessário que ocorra a translocação simplástica, através de tecidos vasculares, para os sítios-alvo do herbicida (Satichivi et al., 2000). O movimento do glyphosate pelo floema segue a mesma rota dos produtos da fotossíntese, ou seja, da fonte para os drenos. O fluxo ocorre das folhas fotossinteticamente ativas em direção às partes das plantas que

utilizam os fotoassimilados no crescimento, manutenção e metabolismo, ou armazenamento para uso futuro, como, por exemplo, raízes, tubérculos, rizomas, folhas jovens e zonas meristemáticas (Wanamarta & Penner, 1989).

O glyphosate é considerado como o único herbicida que inibe a atividade da enzima 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs), na rota do chiquimato. Essa enzima catalisa a condensação do chiquimato-3-fosfato (S3P) e do fosfoenolpiruvato (PEP), impedindo a formação do corismato, e, subsequentemente, dos aminoácidos aromáticos triptofano, fenilalanina e tirosina (Zablotowicz & Reddy, 2007). Esses aminoácidos são indispensáveis à síntese de proteínas e divisão celular, além de participar na formação de metabólitos secundários, tais como alcalóides, tetraidrofolato (THF), ubiquinona, vitamina K, antocianinas, ligninas, promotores e inibidores de crescimento e fitoalexinas (Duke et al., 2006). Estima-se que 35% da matéria seca das plantas é representado por derivados da via do chiquimato (Devine et al., 1993; Franz et al., 1997).

Diante da frequência e da importância do uso do glyphosate nas lavouras cafeeiras, tornam-se relevantes estudos para avaliar o impacto desse herbicida no crescimento e no desenvolvimento de cultivares de café, assim como identificar sintomas de intoxicação e relacioná-los com deficiências nutricionais da espécie.

Com intuito de avaliar os efeitos do glyphosate no crescimento de cultivares de café (*Coffea arabica* L.), bem como, a influência desse herbicida sobre a nutrição mineral das plantas, realizou-se este trabalho.

## 2. LITERATURA CITADA

ALCÂNTARA, E. N.; CARVALHO, G. R. Efeito de métodos de controle de plantas daninhas sobre o desenvolvimento de cafeeiros em formação. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1, 2000, Poços de Caldas, **Resumos expandidos ...** Poços de Caldas: Embrapa – Café/MINASPLAN, 2000. p. 1004 - 1006.

ALCÂNTARA, E. N. et al. Manejo de mato em cafeeiro: métodos e coeficientes técnicos utilizados. **Informe Agropec.**, v. 29, n. 247, p. 74-82, 2008.

BLANCO, H. G. et al. Período de competição de uma comunidade natural de mato em uma cultura de café em formação. **Biológico**, v. 48, n. 1, p. 9-20, 1982.

CAIXETA, G. Z. T. et al. Gerenciamento como forma de garantir a competitividade da cafeicultura. **Informe Agropec.**, v. 29, n. 247, p. 14-23, 2008.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira**. [11/07/2009]. (<http://www.conab.gov.br>).

COSTA, A. G. F. et al. Efeito da intensidade do vento, da pressão e de pontas de pulverização na deriva de aplicações de herbicidas em pré-emergência. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 203-210, 2007.

DAVIS, A. P. et al. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). **Bot. J. Linn. Soc.**, v. 152, p. 465-512, 2006.

DEVINE, M. et al. **Physiology of herbicide action**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993. 441 p.

DUKE, S. O. et al. Hormesis: Is it an important factor in herbicide use and allelopathy. **Outlooks on Pest Management**, v. 17, n. 1, p. 29-33, 2006.

ESHETU, T. Weed flora and weed control practices in coffee. In: COLLOQUE SCIENTIFIQUE INTERNATIONAL SUR LE CAFÉ, 19, 2001, Trieste, **Colloque...** Paris: ASIC, 2001. p. 1 - 9.

FERREIRA, L. R. et al. Tecnologia de aplicação de herbicidas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: UFV, 2007. p. 326-367.

FRANZ, J. E. et al. **Glyphosate: a unique global herbicide**. Washington, DC: ACS mono-graph, 1997. 653 p.

GREEN, J. M. Review of glyphosate and ALS-inibiting herbicide crop resistance and resistant weed management. **Weed Technol.**, v. 21, n. 2, p. 547-558, 2007.

HETHERINGTON, P. R. et al. Absorption and efflux of glyphosate by cell suspensions. **J. Exp. Bot.**, Oxford, v. 49, n. 320, p. 527-533, 1998.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION - ICO. **Trade statistics**. [21/02/2009] ([http://www.ico.org/coffee\\_prices.asp](http://www.ico.org/coffee_prices.asp)).

MERINO, M. C. I.; RAMIRES, A. R.; IBARRA, E. L. Study on critical periods for interspecific competition, weeds-coffee. In: SIMPOSIO SOBRE CAFEICULTURA LATINOAMERICANA, 17, 1996, San Salvador. **Resumem...** Tegucigalpa: IICA, 1996. 15 p.

MORAIMA, G. S. et al. A contribution to determine critical levels of weed interference in coffee crops of Monagas state, Venezuela. **Bioagro**, v. 12, p. 63-70, 2000.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de Herbicidas**. 5. ed. Londrina: IAPAR, 2005. 592 p.

RODRIGUES, G. J. et al. Eficiência de uma barra de pulverização para a aplicação de herbicidas em lavouras de café em formação. **Planta Daninha**, v. 21, n. 3, p. 459-465, 2003.

- 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.
- SATICHIVI, N. M. et al. Absorption and translocation of glyphosate isopropylamine and trimethylsulfonium salts in *Abutilon theophrasti* and *Setaria faberi*. **Weed Sci.**, v. 48, p. 675-679, 2000.
- 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.
- TOLEDO, S. V. et al. Efeito da frequência de capinas na produção do cafeeiro. **Bragantia**, v. 55, n. 2, p. 317-324, 1996.
- WANAMARTA, G. D.; PENNER, D. Foliar absorption of herbicides. **Weed Sci.**, v. 4, p. 215-231, 1989.
- YAMADA, T.; CASTRO, P. R. C. **Efeitos do glifosato nas plantas: implicações fisiológicas e agrônômicas**. INPI - International Plant Nutrition Institute, n. 119, p. 1-32, 2007.
- 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.

### **3. CRESCIMENTO DE CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA SUBMETIDAS A DOSES DO GLYPHOSATE**

#### **3.1. RESUMO**

Avaliaram-se, nesse trabalho, os efeitos do glyphosate sobre o crescimento de três cultivares de café arábica. Utilizou-se do 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<sup>-1</sup>). O herbicida foi aplicado quando as plantas de café apresentavam-se com 21 pares de folhas e de forma que não atingisse o terço superior das mesmas. Aos 45 e 120 dias após a aplicação do glyphosate (DAA) avaliaram-se os incrementos na altura, na área foliar, no diâmetro do caule, no número de folhas e nos ramos plagiotrópicos, sendo essas mensuradas inicialmente no dia da aplicação do herbicida, e, aos 10, 45 e 120 DAA a percentagem de intoxicação das plantas. A matéria seca das folhas, raízes e caule, densidade e comprimento radicular foram avaliados aos 120 DAA. Os sintomas de intoxicação das plantas de café causados pelo glyphosate foram semelhantes nas diferentes cultivares, sendo caracterizados por clorose e estreitamento do limbo foliar. O incremento no número de folhas e ramos plagiotrópicos e no diâmetro do caule, independentemente da cultivar, não foram afetados pelo glyphosate. A cultivar Topázio foi a mais sensível ao glyphosate, quanto ao acúmulo de área foliar, de matéria seca e densidade radicular.

**Palavras-chave:** *Coffea arabica*, seletividade, herbicida, EPSPs, deriva.

### **GROWTH OF ARABICA COFFEE CULTIVARS SUBJECTED TO GLYPHOSATE DOSES**

#### **3.2. ABSTRACT**

It were evaluated, in this study, the effects of glyphosate on growth of three arabica coffee cultivars. It was used a factorial (3 x 5) 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<sup>-1</sup>). The herbicide was applied when the coffee

plants had 21 pairs of leaves in a way it did not reach their upper. At 45 and 120 days after glyphosate application (DAA), the increments in leaf area, stem diameter, number of leaves and plagiotropic branches were evaluated, being those initially measured on the herbicide application day, and, at 10, 45 and 120 DAA the plants intoxication rate. Dry matter of leaves, roots and stem, and root length and density were measured at 120 DAA. Symptoms of coffee plant intoxication caused by glyphosate were similar in different cultivars, being characterized by chlorosis and leaf narrowing. The increase in the number of leaves and plagiotropic branches and stem diameter, regardless of cultivar, was not affected by glyphosate. The cultivar Topázio was the most sensitive to glyphosate, as to the accumulation of leaf area, roots dry matter and root density.

**Keywords:** *Coffea arabica*, selectivity, herbicide, EPSPs, drift

### 3.3. INTRODUÇÃO

O café apresenta grande importância à economia brasileira, principalmente pelas divisas internacionais que proporciona, além de adequar oportunidade de emprego para grande número de trabalhadores (Caixeta et al., 2008). Em virtude da forma de exploração, a cultura do café permitiu grandes avanços tecnológicos para otimizar seu produto final. Atualmente, para garantir a competitividade e a permanência na atividade, o cafeicultor brasileiro tem de se esforçar para tornar a lavoura mais produtiva, rentável e lucrativa. Porém, a maior lucratividade pode ser alcançada com aumento da produtividade ou redução nos custos de produção, ou pela otimização das atividades da cadeia produtiva, como por exemplo, o adequado manejo das plantas daninhas (Ronchi et al., 2001).

As plantas daninhas, ao crescerem juntamente com as culturas agrícolas, podem interferir no desenvolvimento reduzindo a produção (Lorenzi, 2000). O cafeeiro não é diferente de outras culturas quanto à competição exercida pelas plantas daninhas, promovendo efeitos adversos no crescimento e produção, devido à competição por água, luz e nutrientes. Além disso, as plantas daninhas são hospedeiras de insetos e doenças que atacam as lavouras de café e também interferem nas práticas de manejo como fertilizações, colheitas, dentre outras (Ronchi et al., 2003; Silva et al., 2006).

Plantas jovens de café são muito sensíveis à interferência de plantas daninhas que ocorrem na linha de plantio, podendo ter seu crescimento e ciclo reprodutivo

comprometidos caso o controle não seja efetuado em tempo hábil (Ronchi & Silva, 2003). No entanto, manejar as plantas daninhas na linha de plantio do café torna-se dispendioso ao se usar o controle manual pelo baixo rendimento operacional e alto custo por área. Uma alternativa a esse problema é o controle químico, contudo, poucos são os produtos registrados com comprovada seletividade a cultura (Ronchi & Silva, 2003).

A aplicação de herbicidas não-seletivos é uma opção no manejo das plantas daninhas na linha de plantio, porém há necessidade de se utilizar proteção como barreiras físicas evitando o contato das gotas aspergidas com a planta da cultura e pontas com indução de ar. Também devem ser tomados cuidados com a pressão de trabalho do pulverizador, bem como com a altura da barra, velocidade de operação e do vento na hora da aplicação (Freitas et al., 2005; Costa et al., 2007; Ferreira et al., 2007). Todavia, apesar de vários estudos sobre essa tecnologia de aplicação, são constatados muitos casos de intoxicação de plantas devido à dispersão das gotas para as plantas não-alvo, intoxicando-as, sendo este fenômeno identificado como deriva (Rodrigues et al., 2003; Ronchi & Silva, 2004).

Entre os herbicidas não-seletivos utilizados no manejo das plantas daninhas em lavouras de café destaca-se o glyphosate, devido às suas características físico-químicas, econômicas e ambientais favoráveis, como: baixo custo por aplicação, alta sorção no solo, baixa pressão de vapor e flexibilidade de aplicação. Além disso, o glyphosate controla grande número de espécies de plantas daninhas, mono e dicotiledôneas (anuais e perenes) e tem baixa toxicidade para mamíferos e organismos aquáticos (Green, 2007).

Diversos estudos têm evidenciado os efeitos negativos da deriva de glyphosate em: eucalipto (Tuffi Santos et al., 2005; 2007; 2009), algodoeiro (Yamashita & Guimarães, 2006), soja (Ellis & Griffin, 2002), milho (Magalhães et al., 2001), arroz irrigado (Ferreira et al., 2006), varjão (*Parkia multijuga*) (Yamashita et al., 2006), citros (Gravena et al., 2009), amendoim (Lassiter et al., 2007), tomate (Figueredo et al., 2007; Santos et al., 2007), coqueiro (Procópio et al., 2009) e pêssego (Tuffi Santos et al., 2006). Nesses trabalhos foram constatadas mudanças morfológicas e anatômicas nas folhas, causando diminuição na absorção de nutrientes e favorecendo a incidência de doenças, além de, em muitos casos, provocar menor crescimento e produtividade das culturas. Entretanto, existe carência de pesquisas que elucidam os efeitos da deriva do glyphosate em plantas de café, principalmente, no estágio vegetativo da cultura, até dois

anos pós-plantio. Nessa fase têm-se grande utilização desse herbicida no controle de plantas daninhas na linha de plantio do café.

Considerando o exposto, objetivou-se com esse trabalho avaliar os efeitos do glyphosate sobre o crescimento de três cultivares de café arábica.

### 3.4. MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se três cultivares de café (*Coffea arabica* L.) de porte baixo: Catucaí Amarelo (2 SL), Oeiras (MG-6851) e Topázio (MG-1190). As mudas foram produzidas por semeadura direta em sacolas de polietileno. No estágio de cinco pares de folhas completamente expandidas, as plantas foram transplantadas em vasos contendo 10 L de substrato composto por solo peneirado e esterco de curral curtido (3:1). Para fornecimento de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, utilizou-se de superfosfato simples (100 g/vaso), além de calcário dolomítico a fim de elevar a saturação de bases a 60% (Guimarães et al., 1999). Os resultados das análises física e química do solo utilizado encontram-se na tabela 1. Após o transplântio das mudas, os vasos permaneceram em casa de vegetação, sob sistema de irrigação por aspersão até a aplicação dos tratamentos. Adicionaram-se cloreto de potássio (31,48 g/vaso) e uréia (10 g/vaso) aos vasos, sendo parcelados aos 30 e 60 dias após o transplântio (Guimarães et al., 1999).

**Tabela 1** – Características físicas e químicas do Latossolo Vermelho-Amarelo utilizado no experimento<sup>1</sup>. Viçosa-MG, 2009.

Análise granulométrica (dag kg <sup>-1</sup> )												
Areia		Silte			Argila		Classe textural					
46		5			49		Argilo-Arenosa					
Análise química												
pH	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	SB	t	T	m	V	
H <sub>2</sub> O	mg dm <sup>-3</sup>		.....cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....									.....%.....
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 <sup>-1</sup>	..... cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....									dag/kg		
24,3	2,6	91,3	14,3	1,1	0,7	2,4						

<sup>1/</sup>Análises realizadas no Laboratório de Análises Físicas e Químicas de Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

O experimento foi instalado em esquema fatorial (3 x 5), com três cultivares de café e cinco doses de glyphosate, em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. As doses testadas foram: 0,0; 57,6; 115,2; 230,4 e 460,8 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate, respectivamente correspondentes a 0,0; 4,0; 8,0; 16,0 e 32,0% da dose

comercial recomendada para o controle das plantas daninhas no cafeeiro (1.440 g ha<sup>-1</sup>). A parcela experimental foi constituída de um vaso, contendo uma planta.

Aos 120 dias após o transplântio, em setembro de 2008, 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 a não atingir o terço superior das plantas de café, utilizando-se de pulverizador costal, pressurizado a CO<sub>2</sub>, calibrado na pressão constante de 250 kPa, munido com uma barra, com duas pontas de pulverização tipo leque (TT 11002), espaçadas a 50 cm entre si, o que proporcionou aplicação de 200 L ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>). Após a aplicação do glyphosate as plantas permaneceram fora da casa de vegetação por 24 horas, protegidas do contato das folhas com a água de irrigação ou da chuva, visando evitar a lavagem do produto.

No dia da aplicação do glyphosate determinaram-se a altura (cm), diâmetro do caule (cm), número de folhas e ramos plagiotrópicos e área foliar (cm<sup>2</sup>) nas plantas de café, sendo esta realizada de acordo com o método não destrutivo proposto por Antunes et al. (2008), a fim de fornecer índices para avaliações posteriores quanto ao acúmulo dessas variáveis. A percentagem de intoxicação das plantas de café pelo glyphosate em relação à testemunha foi avaliada aos 10, 45 e 120 dias após a aplicação (DAA), empregando-se a escala de 0 a 100%, em que, 0 corresponde à ausência de sintomas visíveis e 100% à morte das plantas (Frans, 1972). Aos 45 e 120 DAA, mensuraram-se o incremento na altura das plantas, no diâmetro do caule, no número de folhas, no número de ramos plagiotrópicos e, na área foliar, sendo estas subtraídas da avaliação realizada ao 0 DAA. Aos 120 DAA, as plantas foram seccionadas rente ao solo, sendo separadas em folhas, caule e raízes. Nas raízes das plantas determinaram-se o comprimento (cm) e densidade radicular, medida através da razão entre matéria fresca das raízes e volume de água deslocado (g mL<sup>-1</sup>). As amostras das plantas de café foram colocadas em estufa de circulação forçada de ar (65°C), até atingir massa constante, para determinação da matéria seca.

Para a interpretação dos dados, empregou-se a análise de variância utilizando-se do teste F ( $p \leq 0,05$ ). Efetuou-se o desdobramento da interação significativa, empregando-se o teste 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 ( $R^2 = S.Q. \text{ Reg.}/S.Q. \text{ Trat.}$ ).

### 3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as variáveis área foliar, mensuradas aos 45 e 120 DAA, densidade radicular e matéria seca da raiz, mensuradas aos 120 DAA, observou-se efeito significativo da interação entre os fatores testados (cultivares x doses), sendo a mesma desdobrada, estudando-se as doses para cada cultivar e cultivares em cada dose do glyphosate. Para as demais características, houve efeito significativo somente das doses de glyphosate, exceto, para número de folhas e ramos plagiotrópicos, e diâmetro do caule que não apresentaram diferenças após a aplicação do herbicida, independentemente da cultivar estudada (Tabela 2).

**Tabela 2** – Acúmulo no diâmetro do caule, número de folhas e ramos plagiotrópicos de cultivares de café aos 45 e 120 dias após a aplicação do glyphosate (DAA). Viçosa-MG, 2009.

Cultivares	Diâmetro do caule		Número de folhas		Ramos plagiotrópicos	
	45 DAA	120 DAA	45 DAA	120 DAA	45 DAA	120 DAA
Catucaí	5,08	11,28	37,40	160,40	4,55	11,85
Oeiras	5,13	11,34	37,15	159,50	4,50	11,85
Topázio	5,14	11,17	35,40	158,55	4,60	12,30
Média	5,11 <sup>ns1</sup>	11,26 <sup>ns</sup>	36,65 <sup>ns</sup>	159,48 <sup>ns</sup>	4,55 <sup>ns</sup>	12,00 <sup>ns</sup>
CV	--7,48--	--9,13--	--10,91--	--4,40--	--15,65--	--10,20--

<sup>1</sup>/ns – não significativo

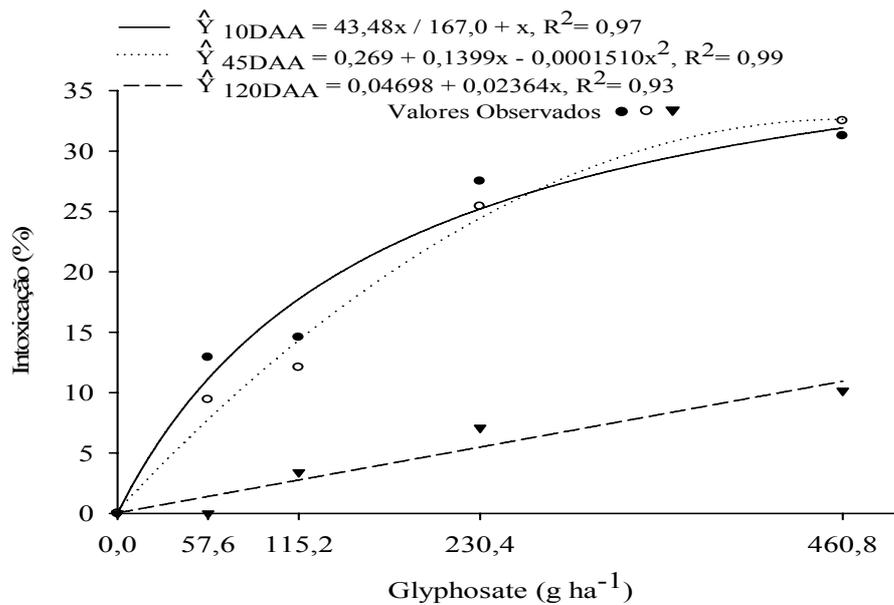
As plantas tratadas com glyphosate apresentaram como sintomas de intoxicação clorose nas folhas mais novas, a partir do 8º dia após a aplicação (DAA), sendo mais pronunciados às plantas que foram tratadas com doses superiores a 230,4 g ha<sup>-1</sup> (Figura 1). A clorose foliar pode ser devido a menor síntese de clorofila, pois esse herbicida impede de modo indireto sua formação (Zaidi et al., 2005; Tan et al., 2006). Aos 15 DAA observou-se o surgimento de folhas afiladas, ou seja, com estreitamento do limbo foliar. Sintomas mais severos de intoxicação, como necrose após clorose foliar, murcha foliar, superbrotamento por morte de meristemas apicais e morte das plantas não foram evidenciados nas plantas de café, como relatados em trabalhos com outras plantas perenes, como eucalipto, pêssigo e varjão (*Parkia multijuga*) submetidos à deriva de glyphosate (Tuffi Santos et al., 2006; 2009; Yamashita et al., 2006). Entretanto,

Gravena et al. (2009) não observaram efeitos visuais de intoxicação em *Citrus limonia* com doses de até 720 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate.



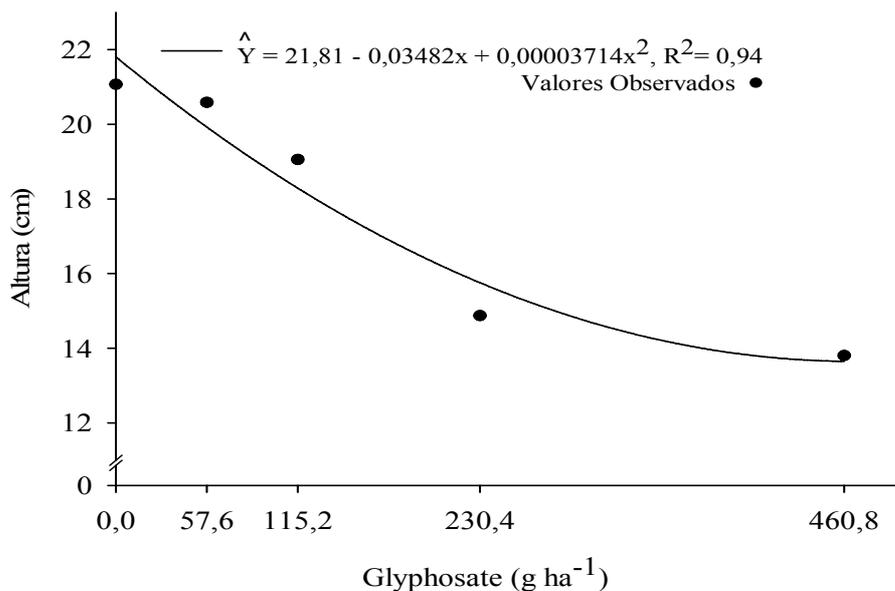
**Figura 1** – Sintomas de intoxicação de glyphosate em plantas de café, aos 15 DAA. Viçosa-MG, 2009.

Independentemente da cultivar de café, houve diferença quanto à intoxicação das plantas tratadas com o glyphosate em função das doses utilizadas. Aos 10 DAA com aumento das doses do herbicida houve aumento da intoxicação, obtendo-se valores de 31,91% para a dose de 460,8 g ha<sup>-1</sup> (Figura 2). Aos 45 DAA com o aumento das doses ocorreu elevação quadrática na injúria das plantas. Todavia, aos 120 DAA, observou-se relação direta e linear entre o aumento das doses do glyphosate e a percentagem de intoxicação nas plantas, onde cada grama do herbicida causou 0,071% de intoxicação nas plantas de café. Entre as doses testadas, aos 120 DAA, houve percentual de intoxicação de 10,94% para 460,8 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate. Observou-se, aos 120 DAA, diferentemente das observações de intoxicação aos 10 e 45 DAA que houve recuperação das plantas tratadas com o glyphosate, reduzindo o nível de intoxicação nas plantas. Corroborando, Tuffi Santos et al. (2009), trabalhando com deriva desse herbicida sobre eucalipto, observou recuperação das plantas tratadas com doses menores a 43,2 g ha<sup>-1</sup> aos 50 DAA. No entanto, sintomas de intoxicação observados nas folhas nem sempre podem estar correlacionados à diminuição no incremento em matéria seca e perda da produtividade. Alguns herbicidas podem não causar sintomas visíveis nas plantas, mas podem comprometer o crescimento e o desenvolvimento das plantas durante o ciclo da cultura (Carvalho et al., 2009).



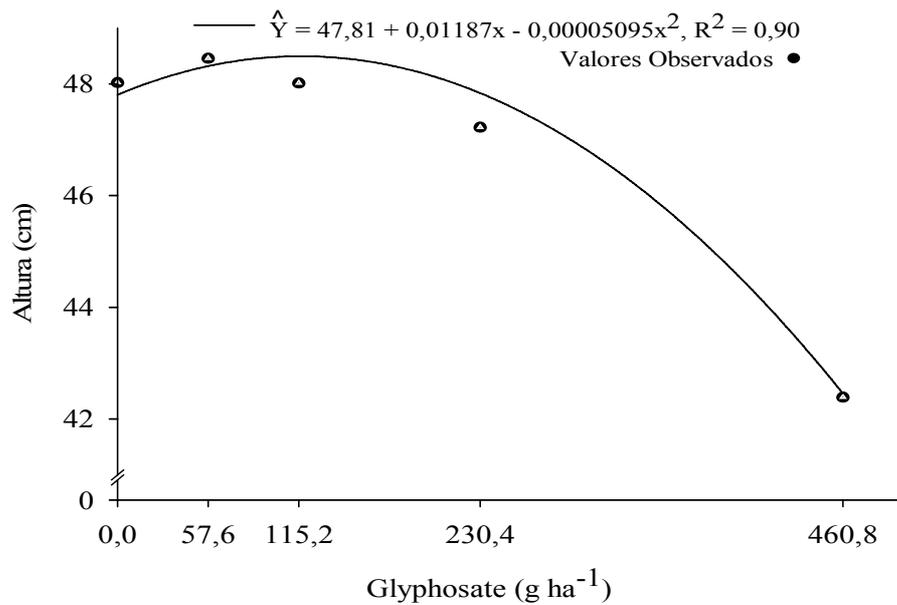
**Figura 2** – Percentagem de intoxicação em plantas de café submetidas a diferentes doses de glyphosate, aos 10, 45 e 120 dias após a aplicação (DAA). Viçosa-MG, 2009.

Houve menor incremento na altura das plantas de café com o aumento da doses de glyphosate, aos 45 DAA, seguindo modelo quadrático de redução (Figura 3). Nas doses de 230,4 e 460,8 g ha<sup>-1</sup>, observou-se menor incremento na altura das plantas de café com 15,81 e 13,65 cm, respectivamente, quando comparadas com a testemunha sem aplicação, com incremento na altura de 21,81 cm. Do mesmo modo, doses acima de 172,8 g ha<sup>-1</sup> promoveram reduções no incremento em altura de clones de eucalipto (Tuffi Santos et al., 2007). Todavia, a altura de plantas jovens de pêsego não foi influenciada por aplicações de doses de glyphosate, aos 45 DAA (Tuffi Santos et al., 2006), e, doses abaixo de 360 g ha<sup>-1</sup> não proporcionaram paralisação significativas do crescimento de plantas de varjão (*Parkia multijuga*) (Yamashita et al., 2006).



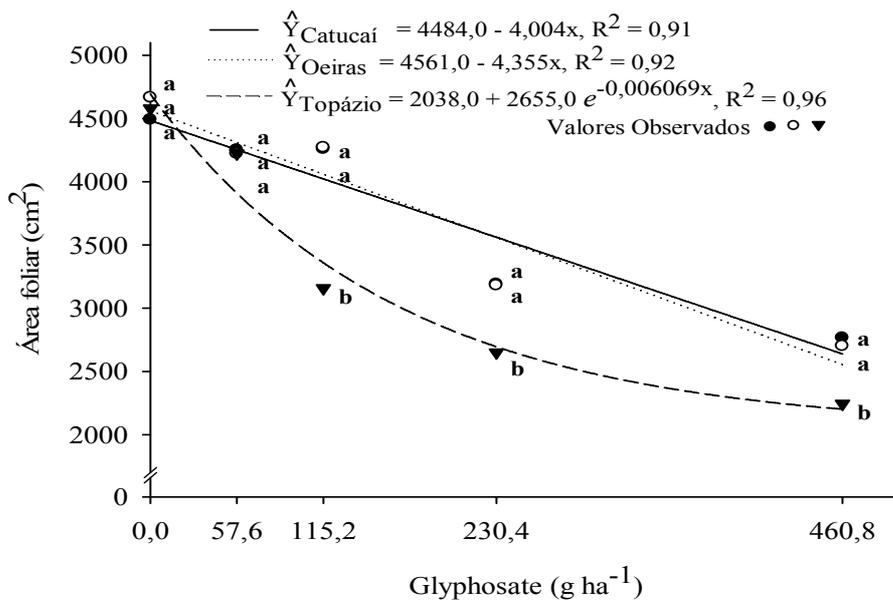
**Figura 3** – Altura acumulada de plantas de café submetidas a diferentes doses de glyphosate em deriva simulada, aos 45 dias após a aplicação. Viçosa-MG, 2009.

Independentemente da cultivar utilizada o incremento em altura seguiu tendência quadrática com aumento das doses de glyphosate (Figura 4). Houve incremento nas doses menores, atingindo a altura máxima na dose de 116,49 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate com posterior redução dessa variável. Este estímulo no crescimento de plantas tratadas com baixas doses do glyphosate tem sido relatada por Velini et al. (2008) ao trabalharem com *Pinus caribea* e *Commelina benghalensis*, submetidas a doses de 1,8 a 36 g ha<sup>-1</sup>. Do mesmo modo, Duke et al. (2006) observaram estímulo no crescimento de eucalipto submetidas a doses menores que 36 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate.



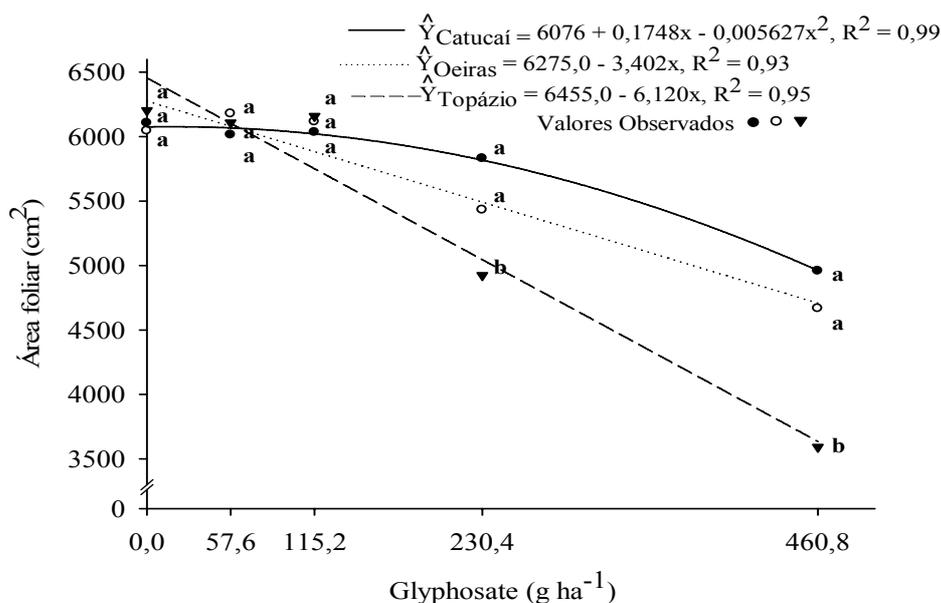
**Figura 4** – Altura acumulada de plantas de café submetidas a diferentes doses de glyphosate em deriva simulada, aos 120 dias após a aplicação. Viçosa-MG, 2009.

O aumento da dose de glyphosate influenciou o incremento da área foliar de café para as três cultivares, aos 45 DAA (Figura 5). A área foliar das cultivares Catucaí e Oeiras foi reduzida de forma proporcional com aumento das doses de glyphosate, onde, para cada grama aplicada do herbicida houve redução de 4,004 e 4,355 cm<sup>2</sup>, respectivamente. Todavia, a cultivar Topázio comportou-se de modo diferenciado das demais cultivares, seguindo tendência exponencial de redução no incremento da área foliar com aumento das doses de glyphosate. Observou-se ainda que a partir de 115,2 g ha<sup>-1</sup> houve menor acúmulo de área foliar para Topázio, quando comparados à Catucaí e Oeiras. Independentemente das doses de glyphosate não houve diferença no incremento de área foliar para Catucaí e Oeiras, sendo estas cultivares estatisticamente iguais em todas as doses testadas, indicando, possivelmente, maior tolerância à deriva do glyphosate quando comparadas com plantas da cultivar Topázio (Figura 5). Segundo Reddy et al. (2008) e Carvalho et al. (2009), a tolerância diferencial de plantas aos herbicidas pode ser devida a diferenças na interceptação e absorção do produto, na sensibilidade da enzima alvo (local de ação) e na capacidade da espécie em se desintoxicar.



**Figura 5** – Área foliar acumulada de plantas café submetidas a diferentes doses de glyphosate em deriva simulada, aos 45 dias após a aplicação. Viçosa-MG, 2009. \*As médias seguidas da mesma letra para cultivares dentro de cada dose não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

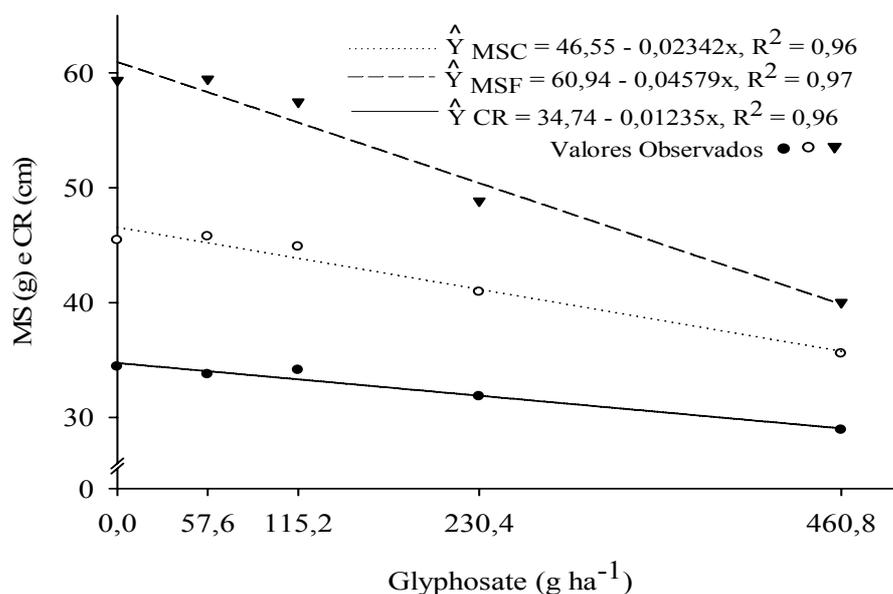
Analisando-se o incremento da área foliar aos 120 DAA, verificou-se que todas as cultivares testadas apresentaram redução desta variável com aumento da dose aplicada do herbicida (Figura 6). A área foliar da Catucaí seguiu tendência quadrática com aumento das doses de glyphosate, onde houve incremento nessa variável atingindo o máximo na dose de 15,53 g ha<sup>-1</sup>, com posterior redução. Todavia, para Oeiras e Topázio houve redução proporcional no incremento da área foliar com aumento da dose de glyphosate, sendo que para cada grama do herbicida houve redução de 3,402 e 6,120 cm<sup>2</sup> na área foliar das plantas, respectivamente. As diferenças entre cultivares foram observadas a partir da dose de 230,4 g ha<sup>-1</sup>, quando Topázio apresentou o menor incremento na área foliar, diferenciando-se das demais cultivares e indicando maior sensibilidade dessa quanto a possíveis intoxicações pelo herbicida.



**Figura 6** – Área foliar acumulada de plantas de café submetidas a diferentes doses de glyphosate em deriva simulada, aos 120 dias após a aplicação. Viçosa-MG, 2009. \*As médias seguidas da mesma letra para cultivares dentro de cada dose não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

As doses de glyphosate influenciaram no acúmulo de matéria seca do caule e folhas e sobre o comprimento radicular aos 120 DAA, independentemente da cultivar utilizada (Figura 7). Houve redução no acúmulo de matéria seca do caule e folhas de plantas tratadas com o glyphosate, evidenciando relação direta entre o aumento da dose do herbicida e a redução no acúmulo de matéria seca pelas plantas. Observou-se maior redução na matéria seca das folhas quando comparadas com o caule, onde, para cada grama de glyphosate aplicado reduziu em 0,04579 e 0,02342 g na matéria seca, respectivamente. Utilizando plantas de eucalipto, Tuffi Santos et al. (2007) observaram reduções no acúmulo de matéria seca da parte aérea de 21,15%, aos 50 DAA. O comprimento radicular foi comprometido com o aumento das doses do herbicida, promovendo pontos necróticos no ápice radicular e prejudicando o seu crescimento, principalmente das raízes axiais, responsáveis pela absorção de água e nutrientes do solo. Os pontos necróticos nos ápices radiculares podem ser explicados pelo movimento do glyphosate no floema. Este segue a mesma rota dos produtos da fotossíntese, seguindo em direção às partes das plantas que utilizam os fotoassimilados para o crescimento, manutenção e metabolismo, ou armazenamento para uso futuro, como raízes em zonas meristemáticas, acumulando-se nessas regiões (Monqueiro et al., 2004). Todavia, Wagner Jr. et al. (2008) relataram que doses de glyphosate aplicadas sobre

maracujazeiro-amarelo não promoveram reduções no comprimento das raízes, aos 28 DAA.

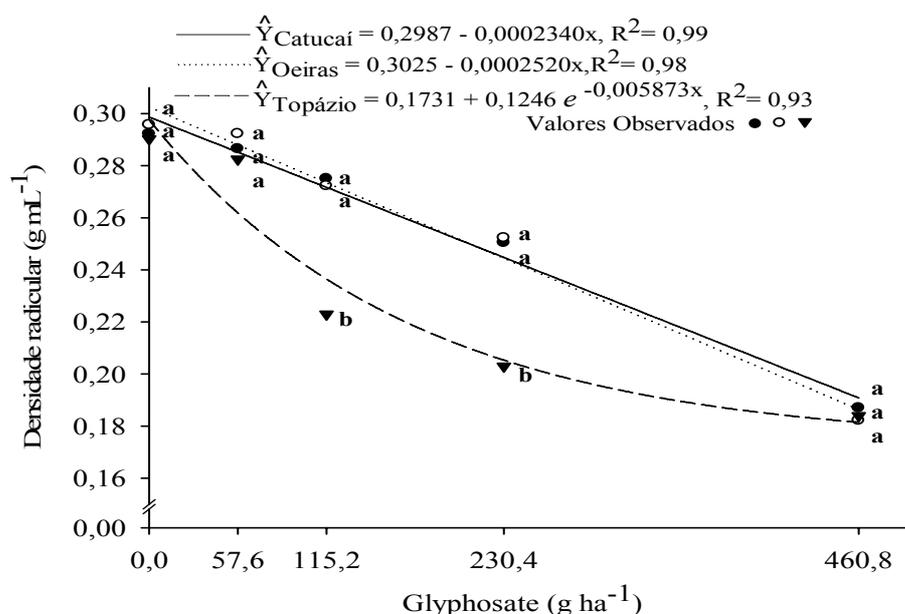


**Figura 7** – Matéria seca do caule (MSC), matéria seca das folhas (MSF) e comprimento radicular de plantas de café submetidas a diferentes doses de glyphosate em deriva simulada, aos 120 dias após a aplicação. Viçosa-MG, 2009.

Os resultados demonstraram diferenças significativas na interação (cultivares x doses) para as características de densidade radicular e matéria seca das raízes (Figuras 8 e 9). A densidade radicular das plantas das cultivares Catucaí e Oeiras foi reduzida diretamente pelo aumento das doses de glyphosate, onde observou-se para cada grama do herbicida aplicado houve redução de 0,0002340 e 0,0002520 g mL<sup>-1</sup> na densidade radicular das plantas de Catucaí e Topázio, respectivamente, aos 120 DAA. O aumento das doses de glyphosate reduziu a densidade radicular das plantas da cultivar Topázio com tendência exponencial, obtendo-se, para as doses de 0,0; 57,6; 115,2; 230,4 e 460,8 g ha<sup>-1</sup>, densidades radiculares de 0,2977; 0,2720; 0,2364; 0,2053 e 0,1814 g mL<sup>-1</sup>, respectivamente. Essa mesma cultivar apresentou as menores densidades radiculares quando comparadas com Catucaí e Oeiras, nas doses de 115,2 e 230,4 g ha<sup>-1</sup> do herbicida. Na dose de 460,8 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate as três cultivares apresentaram similaridade quanto à densidade radicular, evidenciando que esta dose proporcionou alta intoxicação das plantas, refletindo em um menor acúmulo de matéria seca do sistema radicular.

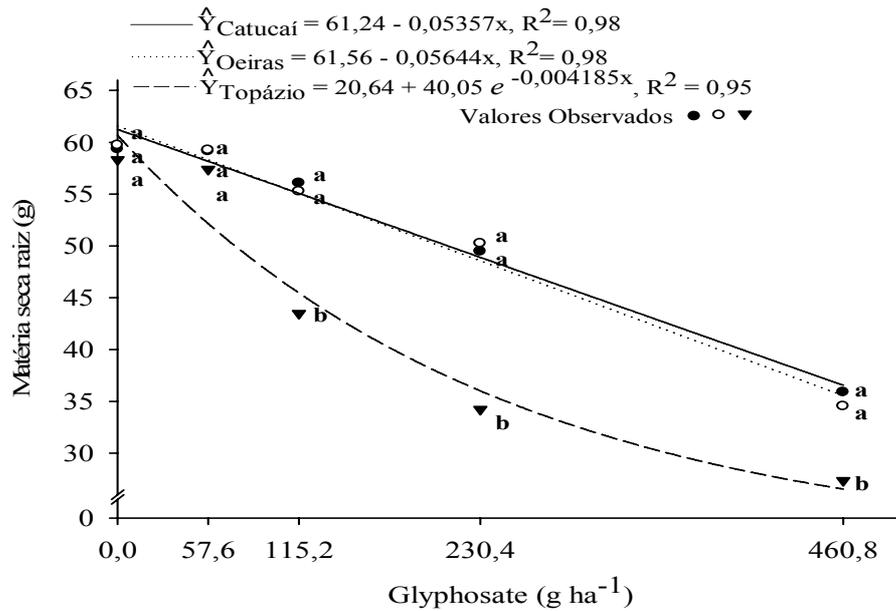
Tendência similar aos valores obtidos da densidade radicular pode ser visualizado na Figura 9, referente ao acúmulo de matéria seca do sistema radicular. O

aumento da dose de glyphosate promoveu menor acúmulo de matéria seca nas raízes das plantas de forma direta nas cultivares para as cultivares Catucaí e Oeiras, e, de forma exponencial para a cultivar Topázio. Essa cultivar diferenciou-se das demais quanto ao acúmulo de matéria seca nas raízes a partir da dose de 115,2 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate, evidenciando maior sensibilidade ao herbicida.



**Figura 8** – Densidade radicular de plantas de café submetidas a diferentes doses de glyphosate em deriva simulada, aos 120 dias após a aplicação. Viçosa-MG, 2009. \*As médias seguidas da mesma letra para cultivares dentro de cada dose não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

A cultivar Topázio originou-se do cruzamento entre Catucaí e Mundo Novo, duas espécies de Coffea arabica. No entanto, as cultivares Oeiras e Catucaí originaram-se do cruzamento de Caturra Vermelho x Híbrido de Timor e de Icatu x Catucaí, respectivamente. Com isso, obtiveram-se plantas de cruzamentos interespecíficos entre Coffea arabica e Coffea canephora, para obtenção dos progenitores, Híbrido de Timor e Icatu. A introdução de caracteres da espécie C. canephora pode explicar a maior tolerância de Oeiras e Catucaí ao glyphosate, quando comparados a Topázio. Possivelmente diferenças nas bases genéticas dessas espécies, mesmo que ainda não relatadas na literatura atual, poderão explicar este fato. Isto evidencia a necessidade de novos estudos referentes à tolerância de espécies de cafeeiros ao glyphosate para inclusão destes em programas de melhoramento.



**Figura 9** – Matéria seca das raízes de plantas de café submetidas a diferentes doses de glyphosate em deriva simulada, aos 120 dias após a aplicação. Viçosa-MG, 2009. \*As médias seguidas da mesma letra para cultivares dentro de cada dose não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

De modo geral, a intoxicação das plantas de café pelo glyphosate é refletida em maiores injúrias na parte aérea durante os primeiros 45 dias após aplicação, demonstrando sintomas característicos de clorose e estreitamento do limbo foliar, além de menor crescimento da parte aérea. Nas avaliações realizadas aos 120 DAA, verificou-se que as plantas conseguiram recuperar o crescimento da parte aérea, reduzindo os sintomas de injúrias, mas, houve comprometimento expressivo do sistema radicular, possivelmente pela translocação de carboidratos das raízes para recuperação da parte aérea.

Concluiu-se neste trabalho que a deriva de glyphosate promove sintomas de intoxicação nas plantas de café caracterizados por clorose e estreitamento do limbo foliar. O incremento no número de folhas e ramos plagiotrópicos e, no diâmetro do caule, independentemente da cultivar, não foram afetados pelo glyphosate. A cultivar Topázio foi a mais sensível ao glyphosate, quanto ao acúmulo de área foliar, de matéria seca e densidade radicular, devendo-se, portanto, serem adotadas medidas que evitem o contato do herbicida com as plantas de café.

### 3.6. LITERATURA CITADA

- ANTUNES, W. C. et al. Allometric models for non-destructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*). **Ann. Appl. Biol.**, v. 153, n. 1, p. 33-40, 2008.
- CAIXETA, G. Z. T. et al. Gerenciamento como forma de garantir a competitividade da cafeicultura. **Informe Agropec.**, v. 29, n. 247, p. 14-23, 2008.
- CARVALHO, S. J. P. et al. Herbicide selectivity by differential metabolism: considerations for reducing crop damages. **Sci. Agrícola**, v. 66, n. 1, p. 136-142, 2009.
- COSTA, A. G. F. et al. Efeito da intensidade do vento, da pressão e de pontas de pulverização na deriva de aplicações de herbicidas em pré-emergência. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 203-210, 2007.
- DUKE, S. O. et al. Uso de herbicidas e seus efeitos em doenças vegetais. **Informações Agronômicas**, n. 115, p. 1-4, 2006.
- ELLIS, J. M.; GRIFFIN, J. L. Soybean (*Glycine max*) and cotton (*Gossypium hirsutum*) response to simulated drift of glyphosate and glufosinate. **Weed Technol.**, v. 16, n. 3, p. 580-586, 2002.
- FERREIRA, F. B. et al. Consequências da deriva simulada do herbicida glyphosate sobre a cultura do arroz irrigado (*Oryza sativa* L.). **R. Bras. de Agrociência**, v. 12, n. 3, p. 309-312, 2006.
- FERREIRA, L. R. et al. Tecnologia de aplicação de herbicidas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: UFV, 2007. p. 326-367.
- FIGUEREDO, S. S. et al. Influência de doses reduzidas do glyphosate no tomateiro (*Lycopersicon esculentum*). **Planta Daninha**, v. 25, n. 3, p. 849-857, 2007.
- FRANS, R. E. Measuring plant response. In: WILKINSON, R. E. (Ed.) **Research methods in weed science** [S.l.]: Southern Weed Science Society, 1972. p. 28-41.
- FREITAS, F. C. L. et al. Distribuição volumétrica de pontas de pulverização turbo teejet 11002 em diferentes condições operacionais. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 161-167, 2005.
- 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.
- GREEN, J. M. Review of glyphosate and ALS-inibiting herbicide crop resistance and resistant weed management. **Weed Technol.**, v. 21, n. 2, p. 547-558, 2007.
- GUIMARÃES, 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, 1999. p. 289-302.

LASSITER, B. R. et al. Yield and physiological response of peanut to glyphosate drift. **Weed Technol.**, v. 21, n. 4, p. 954–960, 2007.

LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional**. 5. ed. Nova Odessa, São Paulo: Editora Plantarum, 2000. p. 384.

MAGALHÃES, P. C. et al. Efeito de doses reduzidas de glyphosate e paraquat simulando deriva na cultura do milho. **Planta Daninha**, v. 19, n. 2, p. 247-253, 2001.

MONQUEIRO, P. A. et al. Absorção, translocação e metabolismo do glyphosate por plantas tolerantes e suscetíveis a este herbicida. **Planta Daninha**, v. 22, n. 3, p. 445-451, 2004.

PROCÓPIO, S. O. et al. Influência da aplicação de glyphosate na queda de frutos e de folhas de coqueiros. **Planta Daninha**, v. 27, n. 2, p. 337-344, 2009.

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.

RODRIGUES, G. J. et al. Eficiência de uma barra de pulverização para a aplicação de herbicidas em lavouras de café em formação. **Planta Daninha**, v. 21, n. 3, p. 459-465, 2003.

RONCHI, C. P. et al. **Manejo de plantas daninhas em lavouras de café**. Viçosa, MG: Suprema Gráfica e Editora, 2001. 94 p.

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, B. M. et al. Effects of sublethal glyphosate rates on fresh market tomato. **Crop Prot.**, v. 26, n. 2, p. 89–91, 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.

TAN, S. et al. Herbicidal inhibitors of amino acid biosynthesis and herbicide-tolerant crops. **Amino Acids**, v. 30, p. 195– 204, 2006.

TUFFI SANTOS, L. D. et al. Crescimento e morfoanatomia foliar de eucalipto sob efeito de deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 133-142. 2005.

TUFFI SANTOS, L. D. et al. Deriva de herbicidas e efeito de fungicida x herbicida em plantas jovens de pessegueiro. **Planta Daninha**, v. 24, n. 3, p. 505-512, 2006.

- TUFFI SANTOS, L. D. et al. Morphological responses of different eucalypt clones submitted to glyphosate drift. **Environ. Exp. Bot.**, v. 59, p. 11-20, 2007.
- 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.
- VELINI, E. D. et al. Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. **Pest. Manag. Sci.**, v. 64, n. 4, p. 489-496, 2008.
- 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.
- YAMASHITA, O. M. et al. Resposta de varjão (*Parkia multijuga*) a subdoses de glyphosate. **Planta Daninha**, v. 24, n. 3, p. 527-531, 2006.
- YAMASHITA, O. M.; GUIMARÃES, S. C. Deriva simulada de glyphosate em algodoeiro: efeito de dose, cultivar e estágio de desenvolvimento. **Planta Daninha**, v. 24, n. 4, p. 821-826, 2006.
- ZAIDI, A. et al. Effect of herbicides on growth, nodulation and nitrogen content of greengram. **Agron. Sustain. Dev.**, v. 25, p. 497-504, 2005.

## 4. TEORES DE NUTRIENTES EM CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA SUBMETIDAS A DOSES DE GLYPHOSATE

### 4.1. RESUMO

Avaliaram-se, nesse trabalho, os efeitos do glyphosate sobre os teores foliares de nutrientes em três cultivares de café (*Coffea arabica* L.). Utilizou-se do 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<sup>-1</sup>). Aos 45 e 120 DAA coletaram-se folhas (terceiro par) de ramos plagiotrópicos, contidos na parte mediana das plantas. Os sintomas de intoxicação providos pelo glyphosate foram caracterizados por clorose e estreitamento do limbo foliar para as 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, de plantas de café tratadas com glyphosate, independentemente da cultivar utilizada. A 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 tratadas com glyphosate.

**Palavras-chave:** Herbicida, *Coffea arabica*, nutrição, EPSPs, deriva.

## NUTRIENT CONTENT IN ARABICA COFFEE CULTIVARS SUBJECTED TO GLYPHOSATE DOSES

### 4.2. ABSTRACT

It were evaluated in this study the effects of glyphosate on the foliar levels of nutrients in three coffee cultivars (*Coffea arabica* L.). It was used a factorial (3 x 5) 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<sup>-1</sup>). At 45 and 120 DAA leaves (third pair) from plagiotropic branches were collected, in the medium part of the plants. Glyphosate intoxication symptoms were characterized by chlorosis and leaf narrowing of 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, of coffee plants treated with

glyphosate, regardless of the cultivar used. The cultivar Topázio showed the greater reductions in levels of foliar Fe and Mn, at 45 DAA and P and Fe, at 120 DAA, when treated with glyphosate.

**Keywords:** Herbicide, *Coffea arabica*, nutrition, EPSPs, drift.

### 4.3. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de café, produzindo aproximadamente 46 milhões de sacas, na safra de 2007/2008, e, com cerca de dois milhões de hectares de área cultivada (CONAB, 2009). Esta produção concentra-se sob 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 torno de 17,38 sacas ha<sup>-1</sup> (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, essas, têm efeito adverso na produção e no crescimento do cafeeiro. Isso ocorre através da competição pelos recursos disponíveis, ou seja, água, nutrientes e luz, além de interferirem em práticas culturais, como fertilizações, 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 com as 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-se da capina manual na linha de plantio para o controle das plantas daninhas (Ronchi & Silva, 2003; 2004).

Afim 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, tais como fenilalanina, tirosina e triptofano. Esses são indispensáveis na síntese de proteínas e divisão celular e que, 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. Esta intoxicação é caracterizada por alterações morfológicas e sintomas semelhantes aos de distúrbios nutricionais, tais 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 promoveram aumentos da produtividade de culturas atingidas pela deriva do glyphosate (Hansen et al., 2004; Ozturk et al., 2008).

Não existem 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  $\text{Fe}^{59}$ ,  $\text{Zn}^{65}$  e  $\text{Mn}^{54}$  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); contribuiu no 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  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{Zn}^{2+}$  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.

#### 4.4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação sendo avaliadas três cultivares de café (*Coffea arabica* L.) 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 de bases a 60% e superfosfato simples (90 g/vaso) como fonte de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (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/vaso) e uréia (2 g/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<sup>-1</sup> de glyphosate, respectivamente correspondentes a 0,0; 4,0; 8,0; 16,0 e 32,0% da dose de 1.440 g ha<sup>-1</sup> da formulação sal de isopropilamina. A parcela experimental foi constituída de um vaso, contendo uma planta.

**Tabela 1** – Características físicas e químicas do Latossolo Vermelho-Amarelo utilizado no experimento<sup>1</sup>. Viçosa-MG, 2009.

Análise granulométrica (dag kg <sup>-1</sup> )												
Areia	Silte			Argila			Classe textural					
46	5			49			Argilo-Arenosa					
Análise química												
pH	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	SB	t	T	m	V	
H <sub>2</sub> O	mg dm <sup>-3</sup>		.....cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....									.....%.....
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 <sup>-1</sup>	.....cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....					dag/kg						
24,3	2,6	91,3	14,3	1,1	0,7	2,4						

<sup>1/</sup> Análises realizadas no Laboratório de Análises Físicas e Químicas de Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

Aos 120 dias após o plantio, 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 a não atingir o terço superior das plantas de café, utilizando-se pulverizador costal, pressurizado a CO<sub>2</sub>, na pressão de 250 kPa, munido com uma barra com duas pontas de pulverização tipo leque (TT 11002), espaçadas a 50 cm entre si, o que proporcionou aplicação de 200 L ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>).

Aos 45 e 120 DAA coletaram-se duas folhas completamente desenvolvida (terceiro par a partir do ápice) de cada planta, sendo as mesmas, 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 Willey, equipado com peneira fina (40 mesh), visando homogeneização do material. Amostras desse material vegetal moído foram submetidas à digestão nitro-perclórica. Em seguida, foram determinadas as concentrações de P, pelo método da vitamina C modificado (Braga e 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 F ( $p \leq 0,05$ ). Efetuou-se o desdobramento da interação significativa, empregando-se o teste 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 ( $R^2 = S.Q. \text{ Reg.}/S.Q. \text{ Trat.}$ ).

#### 4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aos oito dias após a aplicação (DAA) observou-se clorose das folhas dos ápices das plantas como sintoma de intoxicação providos da aplicação do glyphosate nas doses acima de 230,4 g ha<sup>-1</sup>. Aos 15 DAA surgiram-se folhas com limbo foliar reduzido, caracterizando como sintoma de intoxicação do glyphosate em plantas de café (Figura 1). Há relatos na literatura de outros sintomas de intoxicação promovidos pelo

glyphosate, tais como: necrose e enrolamento das folhas em plantas de eucalipto (Santos et al., 2007), arroxamento de folhas em plantas de maracujá-amarelo (Wagner Jr. et al., 2008), superbrotção 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).



**Figura 1** – Sintomas de intoxicação de glyphosate em plantas de café, aos 15 DAA. Viçosa-MG, 2009.

Quando se analisou os teores foliares de N, P, K, Ca, Cu e Zn aos 45 DAA, e os teores de N, K, Mn e Zn aos 120 DAA, observou-se que independentemente da 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 da 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, no entanto, nessa data, os teores foliares de Ca foram acrescidos (Tabela 2). As plantas de café acumularam 1,04 e 16,90 g kg<sup>-1</sup> de matéria seca de P e K, respectivamente, quando tratadas na dose de 460,8 g ha<sup>-1</sup>, representando percentuais de redução de 19,38% e 18,46%, quando comparados as 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 g ha<sup>-1</sup>), verificou-se 16,58 g kg<sup>-1</sup> e 10,05 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Ao se comparar a testemunha, houve redução percentual de 35,51% (26,10 g kg<sup>-1</sup>) e 35,19% (15,66 mg kg<sup>-1</sup>), para N e Zn, respectivamente. Eker et al. (2006), relataram que aplicações de glyphosate na dose de

86,4 g ha<sup>-1</sup> em plantas de girassol, reduziu a absorção e translocação de Zn<sup>65</sup>, 12 horas após a aplicação. Os sintomas visuais de deficiência de Zn, tais 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 g ha<sup>-1</sup>. 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; Abouzienna 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 g ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> 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 g ha<sup>-1</sup> (Santos et al., 2007). Souza et al. (1999), relataram que o glyphosate exerce efeitos na produção de exsudados 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 aumento da dose de glyphosate (Tabela 2). Os teores foliares de N e K foram de 19,57 e 17,43 g kg<sup>-1</sup> na matéria seca, respectivamente, na dose de 460,8 g ha<sup>-1</sup>, o que proporcionou redução de 4,75% e 7,41% quando comparados com teores desses elementos nas plantas testemunha. Do mesmo modo, ocorreu redução nos teores de Zn e Mn nas plantas de café com 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 a 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 as adubações de cobertura e a alta disponibilidade de nutrientes no substrato. Todos os teores médios de macro e micronutrientes observadas nas folhas aos 120 DAA encontraram-se dentro dos limites da faixa adequada, exceto Ca e Mg, com teores médios inferiores aos listados.

Analisando-se o teor foliar de Fe, observou-se redução com aumento da dose de glyphosate, para todas as cultivares. Houve redução de  $0,4265 \text{ mg kg}^{-1}$  no teor de Fe na matéria seca das folhas para cada grama de glyphosate aplicado na cultivar Catucaí. O teor foliar de Fe foi reduzido seguindo tendência exponencial para a cultivar Oeiras, com aumento das doses do herbicida, todavia, a redução seguiu uma tendência quadrática com aumento da dose do glyphosate quando aplicado na cultivar Topázio, aos 45 DAA (Figura 2). O teor foliar de Fe diferiu-se entre as cultivares a partir da dose de  $115,2 \text{ g ha}^{-1}$ , onde nessa dose os maiores teores de Fe foram encontrados na Catucaí, diferenciando-se das demais. Diferentemente, na dose de  $460,8 \text{ g ha}^{-1}$ , a cultivar Oeiras apresentou os maiores teores foliares de Fe, diferenciando-se da 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  $172 \text{ g ha}^{-1}$  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 a mesma essencial na redução do  $\text{Fe}^{3+}$  a  $\text{Fe}^{2+}$  (Marchner, 1995). Após aplicação de glyphosate ( $86,4 \text{ g ha}^{-1}$ ) 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 protoclorofilida (Taiz & Zieger, 2004). Todavia, Santos et al. (2007) relataram que plantas de eucalipto submetidas a doses de  $345,6$  e  $691,2 \text{ g ha}^{-1}$  de glyphosate apresentaram teores mais elevados de Fe, quando comparados com as plantas que não receberam aplicações de glyphosate.

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

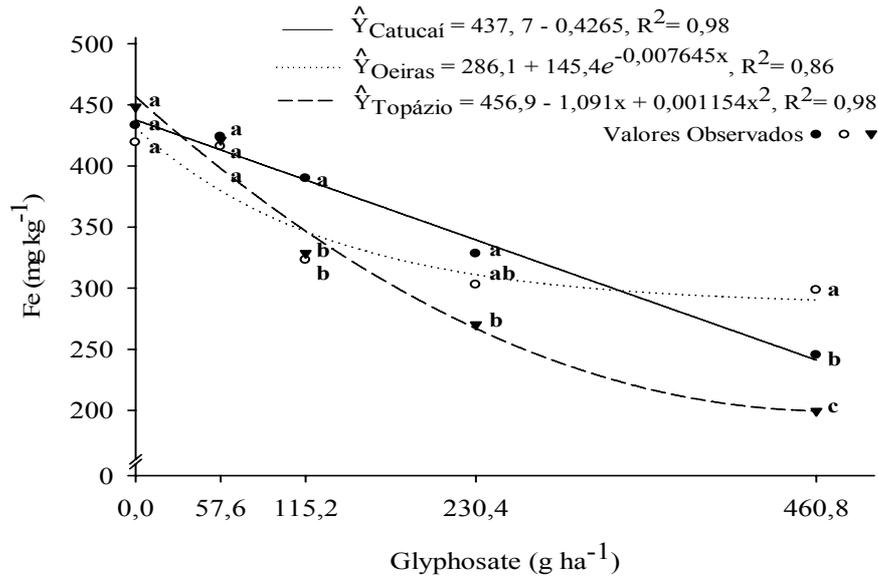
\* representa significância pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 3** – Faixas críticas de nutrientes nos tecidos foliares de plantas de café em pós-plantio<sup>1/</sup>.

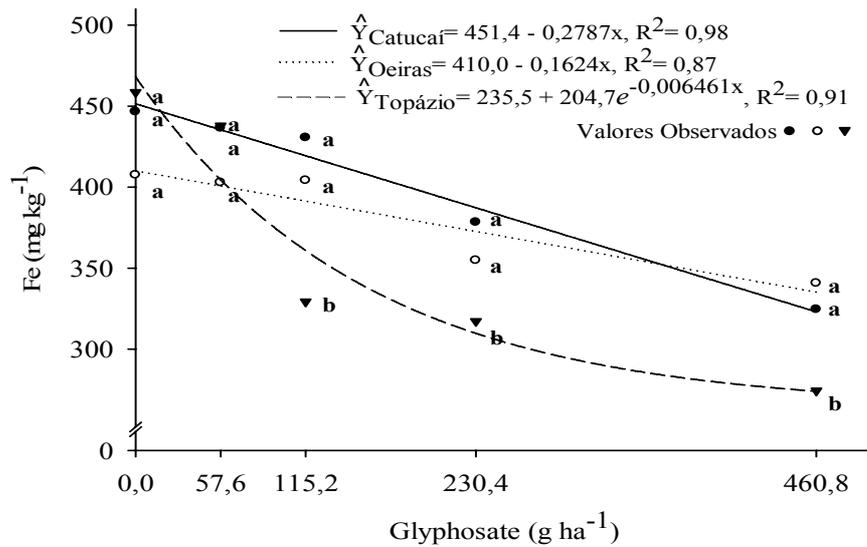
Macronutrientes	---g kg <sup>-1</sup> ---	Micronutrientes	---mg kg <sup>-1</sup> ---
<b>N</b>	19,24 – 23,16	<b>Cu</b>	12,40 – 18,54
<b>P</b>	1,14 – 1,21	<b>Fe</b>	424,89 – 457,31
<b>K</b>	17,39 – 19,02	<b>Mn</b>	127,17 – 178,67
<b>Ca</b>	12,70 – 14,11	<b>Zn</b>	11,51 – 11,92
<b>Mg</b>	8,26 – 8,97		
<b>S</b>	1,49 – 1,77		

<sup>1/</sup> Fonte: Clemente, (2005) e Clemente et al., (2008).

Os teores foliares de Fe foram reduzidos com aumento da dose de glyphosate, diferentemente para as três cultivares, aos 120 DAA (Figura 3). Houve redução linear no teor foliar de Fe nas cultivares Catucaí e Oeiras, quando submetidas ao tratamento com doses de glyphosate. Observou-se maior redução na cultivar Catucaí, onde para cada grama do herbicida aplicado reduz-se 0,2787 mg kg<sup>-1</sup> no teor de Fe na matéria seca das folhas, enquanto que reduz-se 0,1624 mg kg<sup>-1</sup> no teor de Fe na cultivar Oeiras. Todavia, a cultivar Topázio diferenciou-se das demais quanto ao teor foliar de Fe quando as plantas foram tratadas com doses superiores a 115,2 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate.



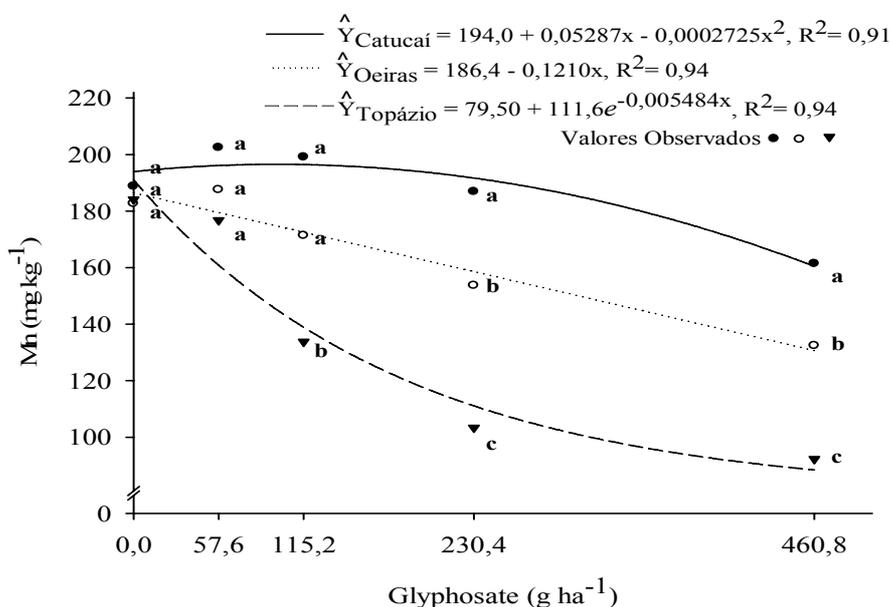
**Figura 2** – Teor de ferro em folhas de plantas de cultivares de café submetidas a diferentes doses de glyphosate, 45 dias após a aplicação. Viçosa-MG, 2009.



**Figura 3** – 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.

Com aumento das doses do herbicida houve redução quadrática nos teores foliares de Mn para a cultivar Catucaí, atingindo o teor máximo de Mn na dose de 97 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate com posterior redução no teor de Mn foliar (Figura 4). Todavia, houve relação direta entre o aumento da dose de glyphosate e redução no teor foliar de Mn para a cultivar Oeiras, com redução de 0,1210 mg kg<sup>-1</sup> de matéria seca para cada grama aplicada do herbicida. Observou-se que a cultivar Topázio diferenciou-se das

demais cultivares com os menores acúmulos de Mn, quando suas plantas foram tratadas nas doses de 115,2; 230,4 e 460,8 g ha<sup>-1</sup> 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; Römheld e 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<sup>-1</sup>, aplicadas também em girassol, Neumann et al. (2006) encontraram 90% de redução nos teores foliares de Mn quando comparadas ao tratamento sem aplicação do herbicida. Desse modo fica evidente que o glyphosate prejudica a absorção de Mn pelas plantas.

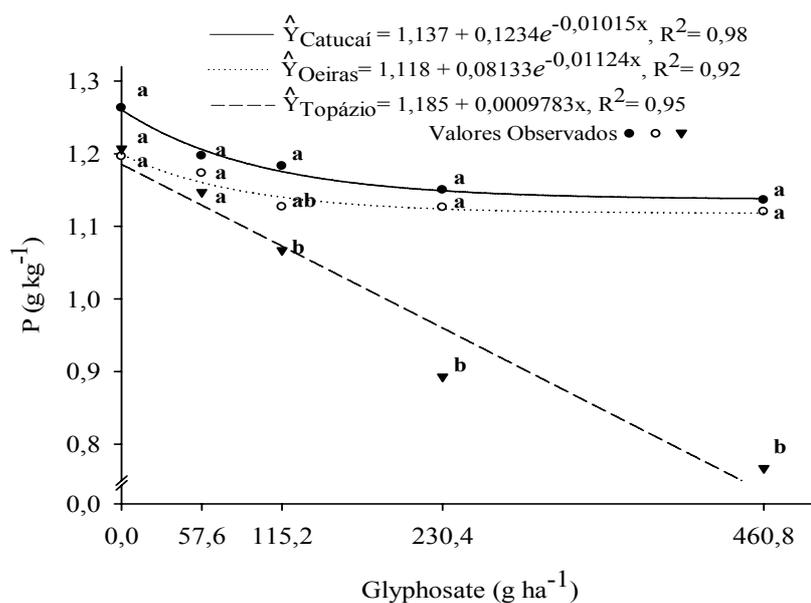


**Figura 4** – Teor de manganês em folhas de plantas de cultivares de café submetidas a diferentes doses de glyphosate, 45 dias após a aplicação. Viçosa-MG, 2009.

Observou-se que as 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, a cultivar Topázio apresentou comportamento linear quanto ao teor desse nutriente nas plantas tratadas com o herbicida (Figura 5). Houve redução de 0,0009783 g kg<sup>-1</sup> de P na matéria seca foliar na cultivar Topázio, para cada grama de glyphosate aplicado. O teor de P nas folhas da cultivar Topázio apresentou-se menor quando comparados às demais cultivares, nas doses de 230,4 e 460,8 g ha<sup>-1</sup> 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 observou 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 as cultivares existe maior ou menor eficiência na absorção, na translocação ou na utilização de nutrientes pela planta (Augusto et al., 2007). Mudanças de café Catucaí Amarelo (2 SL) apresentaram maiores taxas de absorção de N, P, K e Ca do que mudas de cafés 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, verificou-se menores teores na cultivar Oeiras, corroborando com os dados apresentados na figura 5. Nessa figura é observado menor teor foliar de P na cultivar Oeiras, nas plantas testemunha, mesmo sem diferenciar-se estatisticamente das demais cultivares. Do mesmo modo, a cultivar de café Catucaí Amarelo (2 SL) apresentou maior eficiência de absorção para Mn, Cu e Zn, do que as cultivares Oeiras (MG-6851) e Topázio (MG-1190) (Ferreira, 2008).



**Figura 5** – 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.

Concluiu-se neste trabalho 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, de plantas de café tratadas com glyphosate, independentemente da cultivar utilizada. Houve incremento no teor foliar de Ca, aos 45 DAA, com aumento das doses

de glyphosate. A 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 tratadas com glyphosate.

#### 4.6. 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. **Cienc. e agropec.**, v. 31, n. 4, p. 973-981, 2007.

BELLALLOUI, N. et al. Simulated glyphosate drift influences nitrate assimilation and nitrogen fixation in non glyphosate-resistant soybean. **J. Agr. 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. **Revista Ceres**, v. 21, n. 113, p. 73-85, 1974.

CAIXETA, G. Z. T. et al. Gerenciamento como forma de garantir a competitividade da cafeicultura. **Informe 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 p. 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. 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 p. 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.

GUIMARÃES, 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, 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.** Ed. Agronômica Ceres, São Paulo, 2006, 638 p.

MARCHNER, H. **Mineral nutrition of hight plants.** 2. Ed. London, New York: Academic Press, 1995, 889 p.

NEUMANN, G. et al. Relevance of glyphosate transfer to non-target plants via the rhizosphere. **J. Plant Dis. 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. **Proc. XV Int. Plant Nutr. Colloquium.**, 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. **Revista 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 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 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**. INPI - International Plant Nutrition Institute, n. 119, p. 1-32, 2007.
- 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.

## 5. EFEITO DO GLYPHOSATE NO CRESCIMENTO DAS CULTIVARES ACAIÁ E CATUCAÍ

### 5.1. RESUMO

Avaliaram-se, neste trabalho, os efeitos do glyphosate sobre o crescimento de duas cultivares de café de crescimento distinto. Utilizou-se do esquema fatorial (2 x 5) em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições, sendo os tratamentos compostos por duas cultivares de café (*Coffea arabica* L.): Catucaí Amarelo (2 SL) com internódios curtos e Acaiá (IAC 474/19) com internódios longos e, cinco doses de glyphosate (0; 57,6; 115,2; 230,4 e 460,8 g ha<sup>-1</sup>). O herbicida foi aplicado quando as plantas de café apresentavam 44 e 52 cm de altura, referentes à Catucaí e Acaiá, respectivamente. No dia da aplicação do glyphosate e também aos 45 e 120 dias após o tratamento, avaliaram-se os incrementos na altura, na área foliar, no número de ramos plagiotrópicos e de folhas e no diâmetro do caule. Aos 10, 45 e 120 dias após a aplicação (DAA) do glyphosate, avaliou-se a percentagem de intoxicação das plantas. O acúmulo de matéria seca do caule, folhas e raízes foram avaliados aos 120 DAA. Os sintomas de intoxicação nas plantas de café causados pelo glyphosate foram caracterizados por clorose e estreitamento do limbo foliar nas duas cultivares estudadas. Todavia, sintomas mais severos foram verificados na cultivar Acaiá, a partir de 10 DAA, como necrose de folhas mais novas da parte mediana da planta. A cultivar Acaiá é menos tolerante ao glyphosate, quando comparada à Catucaí, pois, essa cultivar apresentou menor crescimento que Catucaí quando submetidas ao tratamento com o herbicida.

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

### EFFECT OF GLYPHOSATE ON THE GROWTH OF ACAIÁ AND CATUCAÍ COFFEE CULTIVARS

#### 5.2. ABSTRACT

It were evaluated in this study the effects of glyphosate on the growth of two cultivars with different growing patterns. It was used a factorial (2 x 5) in a randomized

block design with four replications, with treatments consisting of two coffee varieties (*Coffea arabica* L.): Catucaí Amarelo (2 SL), with short internodes, and Acaiá (IAC 474/19) with long internodes, and five glyphosate doses (0, 57.6, 115.2, 230.4 and 460.8 g ha<sup>-1</sup>). The herbicide was applied when the coffee plants had 44 and 52 cm in height, regarding Catucaí and Acaiá respectively. On the glyphosate application day and also at 45 and 120 days after treatment, the increments in leaf area, number of plagiotropic branches and leaves and stem diameter were evaluated. At 10, 45 and 120 days after glyphosate application (DAA), it was evaluated the of plant intoxication percentage. Dry matter accumulation of stems, leaves and roots was evaluated at 120 DAA. The intoxication symptoms in coffee plants caused by glyphosate were characterized by chlorosis and leaf narrowing of the two cultivars studied. However, more severe symptoms were observed in the Acaiá cultivar, from 10 DAA, such as necrosis of younger leaves of the medium part of the plant. The Acaiá cultivar is less tolerant to glyphosate when compared to Catucaí, because this cultivar showed a lower growth than Catucaí when subjected to treatment with the herbicide.

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

### 5.3. INTRODUÇÃO

O café é uma das mais importantes *commodities* internacionais da agricultura gerando cerca de US\$ 90 bilhões a cada ano e envolvendo cerca de 500 milhões de pessoas no manejo, do cultivo ao produto final de consumo (Antunes et al., 2008). A produção brasileira na safra de 2007/2008 foi de 46 milhões de sacas de café, representando, em média, 41% da produção mundial. Entre os estados produtores de café, principalmente de *Coffea arabica*, Minas Gerais se destaca como o maior produtor, com produção em torno de 18 milhões de sacas, que corresponde aproximadamente a 66 % da produção nacional (CONAB, 2009).

No entanto, apesar da grande produção nacional, o parque cafeeiro brasileiro apresenta baixa produtividade, com média nacional de 17,38 sacas ha<sup>-1</sup>, registrados para a safra 2007/2008 (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). Dentre os principais problemas encontrados pelos cafeicultores destaca-se o manejo das plantas daninhas (Silva et al.,

2008). Essas plantas têm efeito adverso no crescimento e na produção do cafeeiro através da competição pelos recursos disponíveis, ou seja, água, nutrientes e luz (Ronchi et al., 2003; Silva et al., 2006).

O primeiro ano após o plantio das mudas no campo é caracterizado como a fase mais crítica de controle das plantas daninhas na cultura (Silva et al., 2008). As plantas de café, ainda jovens, deixam grande área de solo livre para a penetração de luz favorecendo, desta forma, a infestação e o crescimento das espécies infestantes. Além disso, cafeeiros jovens apresentam um crescimento mais lento, quando comparados ao das plantas daninhas, favorecendo a competição. Nesse sentido, e, em função do reduzido número de herbicidas registrados e que apresentam seletividade à cultura, o controle de plantas daninhas na cultura do café torna-se um processo oneroso (Ronchi & Silva, 2003; 2004).

Muitos cafeicultores utilizam herbicidas não-seletivos como o glyphosate, empregados em aplicações dirigidas. Para a eficiência da aplicação desse herbicida, há a necessidade de se utilizar de equipamentos e técnicas apropriadas que evitem o contato das gotas aspergidas com as plantas de café. Utilizam-se, para esse fim, barreiras físicas, pontas com indução de ar, adição de óleo vegetal a calda de pulverização, além de cuidados com a pressão de trabalho, altura da barra, velocidade de operação e do vento (Rodrigues et al., 2003; Costa et al., 2007; Ferreira et al., 2007). Contudo, apesar de todos os cuidados com a tecnologia de aplicação são constatados casos de intoxicação de plantas de café devido à dispersão das gotas pelo vento das plantas alvo, as plantas daninhas, em sentido as plantas não-alvo, intoxicando-as, denominado deriva (Ronchi & Silva, 2004; Costa et al., 2007).

Wolf et al. (1992) demonstraram que o movimento de herbicidas da plantas alvo para as plantas não-alvo durante uma aplicação pode variar de 1 a 10% do equivalente aplicado. Em virtude da intoxicação das plantas promovida pela deriva de produtos não seletivos, diversos métodos são utilizados para estudar os efeitos da deriva no crescimento, produção e sobre características específicas, tais como, anatomia e morfologia foliar. Estes estudos são baseados nos efeitos da “deriva simulada”, onde, normalmente usa-se subdoses de uma dosagem recomendada para o controle de plantas daninhas na cultura, definindo-se os tratamentos a serem empregados. Lesões nas folhas, crescimento das plantas retardado e redução da produtividade podem ser usados para qualificar e quantificar a influência das substâncias tóxicas sobre as culturas (Sant’Anna-Santos et al., 2006; Tuffi Santos et al., 2007; 2009).

Diversos estudos têm evidenciado a deriva de glyphosate em: eucalipto (Tuffi Santos et al., 2005; 2007; 2009), soja (Ellis & Griffin, 2002), milho (Magalhães et al., 2001), arroz irrigado (Ferreira et al., 2006), varjão (*Parkia multijuga*) (Yamashita et al., 2006), citros (Gravena et al., 2009), tomate (Figueredo et al., 2007; Santos et al., 2007), pêssego (Tuffi Santos et al., 2006a), maracujá-amarelo (Wagner Jr. et al., 2008) e beterraba (Rigoli et al., 2008). Contudo, há carência de pesquisas que elucidam os efeitos da deriva do glyphosate sobre o crescimento de cultivares de café. Alguns cafeicultores relatam de forma empírica que cultivares de porte alto são mais sensíveis a efeitos provocados por substâncias tóxicas, como fitotoxicidade de fungicidas, inseticidas e herbicidas e por condições climáticas adversas, como geadas e ventos fortes.

Com o objetivo de se avaliar os efeitos da deriva de glyphosate sobre o crescimento de duas cultivares de cafeeiro de crescimento distinto realizou-se este trabalho.

#### **5.4. MATERIAL E MÉTODOS**

Foram utilizadas duas cultivares de café (*Coffea arabica* L.): Acaiá (IAC 474/19), com internódios longos, e Catucaí Amarelo (2 SL), com internódios curtos. As mudas foram produzidas por semeadura direta em sacolas de polietileno. No estágio de cinco pares de folhas completamente expandidas, as mudas foram transplantadas para vasos com capacidade de 15 L de substrato composto por solo peneirado e esterco de curral curtido (3:1). Para fornecimento de  $P_2O_5$ , utilizou-se superfosfato simples (150 g/vaso), além de calcário dolomítico a fim de elevar a saturação de bases a 60%, de acordo com Guimarães et al. (1999). Os resultados das análises física e química do solo utilizado encontram-se na tabela 1. Aos vasos adicionou-se cloreto de potássio (51,72 g/vaso) e uréia (11,36 g/vaso), parcelados aos 30 e 60 dias após o transplante (Guimarães et al., 1999).

O experimento foi instalado em esquema fatorial (2 x 5), com duas cultivares de café e cinco doses de glyphosate, no delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. As doses testadas foram: 0,0; 57,6; 115,2; 230,4 e 460,8 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate, respectivamente correspondentes a 0,0; 4,0; 8,0; 16,0 e 32,0% da dose comercialmente recomendada para o controle de plantas daninhas na cultura do café (1.440 g ha<sup>-1</sup>). A parcela experimental foi constituída de um vaso, contendo uma planta.

**Tabela 1** – Características físicas e químicas do Latossolo Vermelho-Amarelo utilizado no experimento<sup>1</sup>. Viçosa-MG, 2009.

Análise granulométrica (dag kg <sup>-1</sup> )												
Areia	Silte			Argila			Classe textural					
46	5			49			Argilo-Arenosa					
Análise química												
pH	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	SB	t	T	m	V	
H <sub>2</sub> O	mg dm <sup>-3</sup>		.....cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....									.....%.....
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 <sup>-1</sup>	..... cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....					dag/kg						
24,3	2,6	91,3	14,3	1,1	0,7	2,4						

<sup>1/</sup> Análises realizadas no Laboratório de Análises Físicas e Químicas de Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

Aos 120 dias após o plantio, quando as plantas apresentavam altura média de 44 e 52 cm, para Catucaí e Acaiaí, respectivamente, realizou-se a pulverização de modo a não atingir o terço superior das plantas. Foi utilizado um pulverizador costal, pressurizado a CO<sub>2</sub>, calibrado na pressão constante de 250 kPa, munido com barra com duas pontas de pulverização tipo leque (TT 11002), espaçadas a 50 cm entre si, o que proporcionou aplicação de 200 L ha<sup>-1</sup> de calda. No reservatório de água, adicionou-se um corante hidrossolúvel vermelho na calda de pulverização, na concentração de 5 mL L<sup>-1</sup>. Em seguida, distribuiu-se etiquetas de papel cartão (2,5 x 7,5 cm), fixando-as em todas as folhas completamente desenvolvidas de quatro plantas das duas cultivares trabalhadas, destinadas especificamente para esse teste. A aplicação foi realizada passando-se a barra de pulverização rente ao topo das plantas. Após aplicação, as etiquetas foram imediatamente digitalizadas por câmera digital com resolução de 6.0 Mpixels, para posterior análise no programa computacional Image Tool<sup>®</sup> 3.0 (Viana et al., 2007). Determinaram-se a densidade de gotas (gotas cm<sup>-2</sup>) e a percentagem de cobertura, de quatro etiquetas posicionadas nos pontos cardeais da planta. Cada planta foi dividida em quatro seções, ou seja, região apical, mediana superior, mediana inferior e basal.

No dia seguinte ao teste preliminar, aplicou-se o herbicida sobre as plantas de café, com pulverizador na mesma calibração, aferindo-se a temperatura (25,3°C ± 1), a umidade relativa (80% ± 3) e a velocidade do vento (2 km h<sup>-1</sup>). As plantas permaneceram fora da casa de vegetação por 24 horas, após a aplicação do glyphosate protegidas do contato das folhas com a água de irrigação ou da chuva, visando evitar a lavagem do produto.

Para as avaliações determinaram-se a altura (cm), área foliar (cm<sup>2</sup>), de acordo com método não destrutivo proposto por Antunes et al. (2008), diâmetro do caule (cm) e número de folhas e de ramos plagiotrópicos. As avaliações foram realizadas no dia da aplicação (0 DAA), a fim, de identificar o crescimento acumulado após aplicação dos tratamentos nas avaliações posteriores (45 e 120 DAA). Avaliou-se a percentagem de intoxicação das plantas de café pelo glyphosate em relação a testemunha aos 10, 45 e 120 dias após a aplicação (DAA), empregando-se a escala de 0 a 100%, em que, 0 corresponde a ausência de sintomas visíveis e 100% à morte das plantas (Frans, 1972). Aos 120 DAA, as plantas foram seccionadas rente ao solo, sendo separadas em folhas, caule e raízes, colocadas em estufa de circulação forçada de ar (65°C ± 2), até atingir massa constante, para determinação da matéria seca.

Para as variáveis altura, área foliar, diâmetro do caule, número de folhas e ramos plagiotrópicos, matéria seca do caule, raízes e folhas atribuíram-se valor 100% para as plantas testemunha das duas cultivares, ou seja, plantas que não receberam tratamento com glyphosate. A partir desse valor referencial foram calculadas, para as demais doses de glyphosate, percentagens superiores ou inferiores a 100% (valor referência), referente ao crescimento compreendido entre 45 e 120 dias após a aplicação do herbicida. Este procedimento foi realizado, pois são cultivares de crescimento distintos, sendo Acaiá de porte alto, com internódios longos e bom vigor vegetativo; e Catucaí, de porte baixo, com internódios curtos e bom vigor vegetativo (Botelho et al., 2008).

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

## 5.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observaram-se interações significativas entre os fatores testados (cultivares x doses), com exceção do diâmetro do caule, número de folhas e ramos plagiotrópicos, que independentemente da cultivar, não foram afetados pelo herbicida.

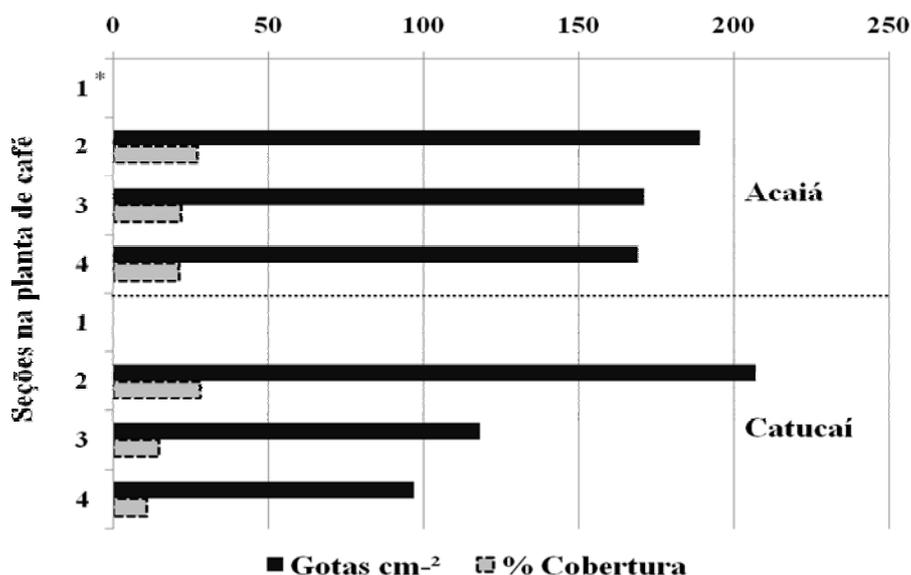
Houve variação na densidade de gotas (gotas cm<sup>-2</sup>) e na percentagem de cobertura entre as cultivares de café (Figura 1). A melhor distribuição das gotas ao

longo das plantas ocorreu na cultivar Acaiá. Nessa cultivar a densidade de gotas e a porcentagem de cobertura para as seções das plantas compreendidas pelos números 2 (mediana superior), 3 (mediana inferior) e 4 (basal) foram de 189, 171 e 169 gotas  $\text{cm}^{-2}$  e, 27,09%, 22,04% e 21,16% respectivamente. A cultivar Catucaí apresentou, nas mesmas seções, 207, 118 e 97 gotas  $\text{cm}^{-2}$  e, 28,19%, 14,65% e 10,65%, respectivamente. A melhor distribuição das gotas ao longo das seções das plantas, verificado na cultivar Acaiá, deve-se, possivelmente, ao maior comprimento dos internódios. Devido à maior distância entre as folhas o contato das gotas aspergidas com as etiquetas de papel fixadas foi facilitado. De modo inverso, na cultivar Catucaí, houve grande deposição de gotas nas folhas contidas na seção mediana superior (2), em comparação as folhas das outras partes da planta. Isso pode ter ocorrido devido à pequena distância entre as folhas, ficando-as sobrepostas e diminuindo a superfície de contato com as gotas aspergidas. Além do mais, a área foliar média, quantificada no dia da aplicação do herbicida foi de 1.009,4 e 1.017,61  $\text{cm}^2$ , para Acaiá e Catucaí, respectivamente, não havendo diferença significativa.

A tolerância diferencial de plantas ao glyphosate pode ser devida a diferenças na interceptação, absorção e translocação até o sítio de ação com a inibição da enzima-alvo, a 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs), além da dose do produto. Isso promove uma maior tolerância nas espécies que possuem mecanismos que dificultem o contato e absorção das gotas pelas folhas, como tricomas, estruturas anatômicas das superfícies foliares (camada espessa de cera e densidade estomática) e sobreposição de folhas (Monqueiro et al., 2004; Reddy et al., 2008; Carvalho et al., 2009). Tuffi Santos et al. (2006b) observaram que a espécie *Eucalyptus resinifera* foi mais tolerante ao glyphosate que *E. grandis*, *E. pellita*, *E. urophylla* e *E. saligna*. A espécie *E. resinifera* apresentou a menor densidade de células epidérmicas. Essas células são regiões mais propensas à penetração do glyphosate e sua densidade proporcionou correlação positiva e significativa com a porcentagem de intoxicação pelo herbicida. Trabalhando com 2,4-D em simulação de deriva, Ronchi et al. (2005) observaram relação direta entre as injúrias nas plantas de café e o aumento das doses aplicadas, quando da aplicação do herbicida na porção inferior das plantas (“saia-do-cafeeiro”).

As plantas tratadas com glyphosate, independentemente da cultivar, apresentaram sintomas de clorose e estreitamento do limbo foliar, principalmente, nas folhas mais novas, a partir do sétimo dia após a aplicação (DAA), sendo esses sintomas

mais pronunciados nas doses superiores a 230,4 g ha<sup>-1</sup>. A clorose foliar pode ser creditada a menor síntese de clorofila, pois, o glyphosate impede de modo indireto sua formação (Zaidi et al., 2005; Tan et al., 2006). A cultivar Acaia apresentou sintomas mais severos de intoxicação como necrose após clorose foliar, a partir de 10 DAA, nas folhas mais novas da parte mediana da planta. Estes sintomas também foram encontrados em outros trabalhos com pêssigo, eucalipto e varjão (*Parkia multijuga*) submetidos à deriva de glyphosate (Tuffi Santos et al., 2006a; 2009; Yamashita et al., 2006). Contudo, Gravena et al. (2009) não observaram efeitos visuais de intoxicação em *Citrus limonia* com doses de até 720 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate. Carvalho et al. (2009) relataram que alguns herbicidas podem não causar sintomas visíveis de intoxicação, mas, podem comprometer o crescimento e o desenvolvimento das plantas pelo resto do ciclo da cultura.

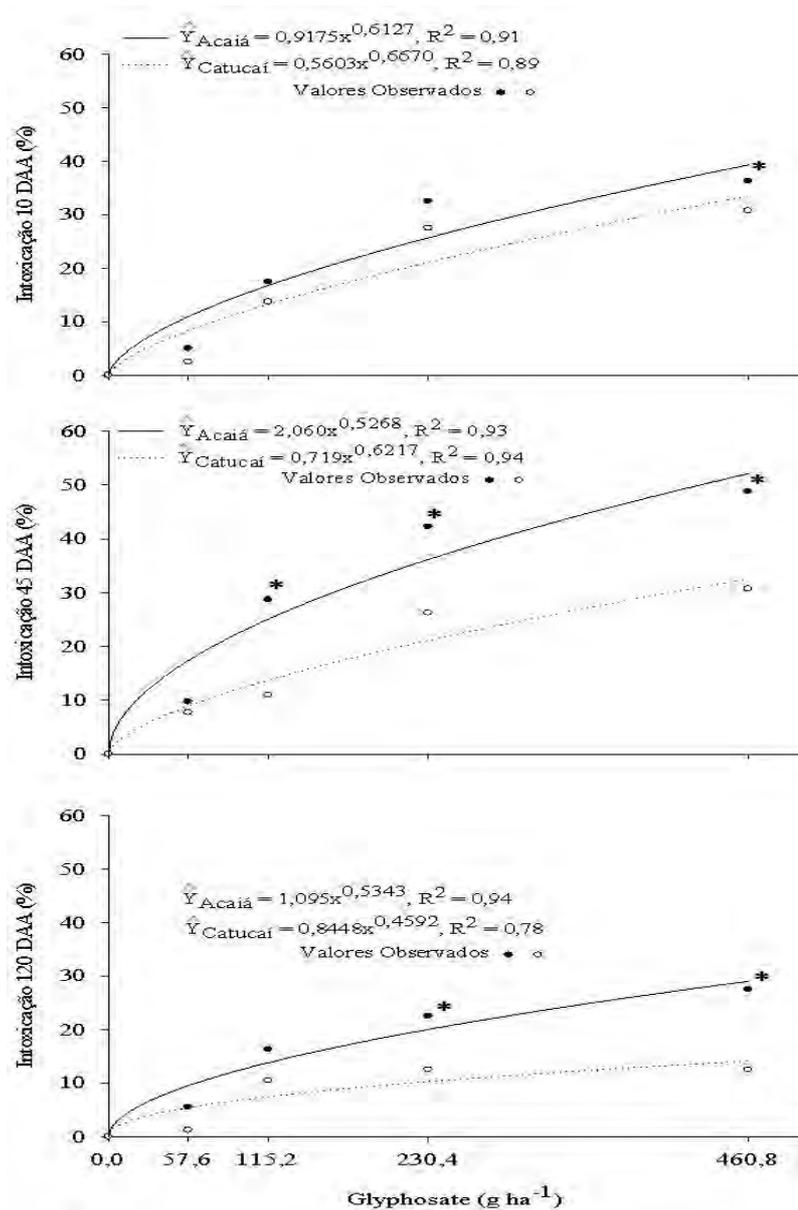


**Figura 1** – Médias da densidade de gotas (gotas cm<sup>-2</sup>) e percentagem de cobertura de pontas jato plano (TT 11002), aplicadas em etiquetas de papel cartão fixadas nas folhas em quatro seções nas plantas das cultivares Acaia e Catucaí. (\*1 – apical, 2 – mediana superior, 3 – mediana inferior, 4- basal). Viçosa-MG, 2009.

O aumento da dose de glyphosate promoveu maior intoxicação das plantas de café, aos 10, 45 e 120 DAA seguindo tendência potencial de aumento ( $Y = ax^b$ ) (Figura 2). De modo geral, aos 120 DAA, houve redução da intoxicação promovida pelo herbicida sobre as plantas de café, para as duas cultivares, quando comparadas com as avaliações realizadas aos 10 e 45 DAA. Doses menores que 115,2 g ha<sup>-1</sup> proporcionaram injúrias quase imperceptíveis nas plantas, principalmente para Catucaí, aos 120 DAA. Corroborando estes valores, Tuffi Santos et al. (2007) observaram

recuperação de plantas de eucalipto tratadas com doses menores que 172,8 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate, aos 45 DAA. Henry et al. (2007) observaram recuperação do crescimento de plantas de girassol e trigo, quando submetidas a doses inferiores a 210 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate aos 50 DAA. A recuperação de plantas tratadas com glyphosate, principalmente em menores doses, deve-se possivelmente, à metabolização do herbicida através de enzimas, como a glutamina-s-transferase. Essa enzima é capaz de conjugar a molécula do glyphosate com glutamina diminuindo o poder de toxidez nas plantas, conforme relatado por Cataneo et al. (2003) em plantas de milho. Essas plantas foram tratadas com doses menores que 70 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate, promovendo inicialmente injúrias nas folhas, mas retornando posteriormente ao crescimento normal da espécie.

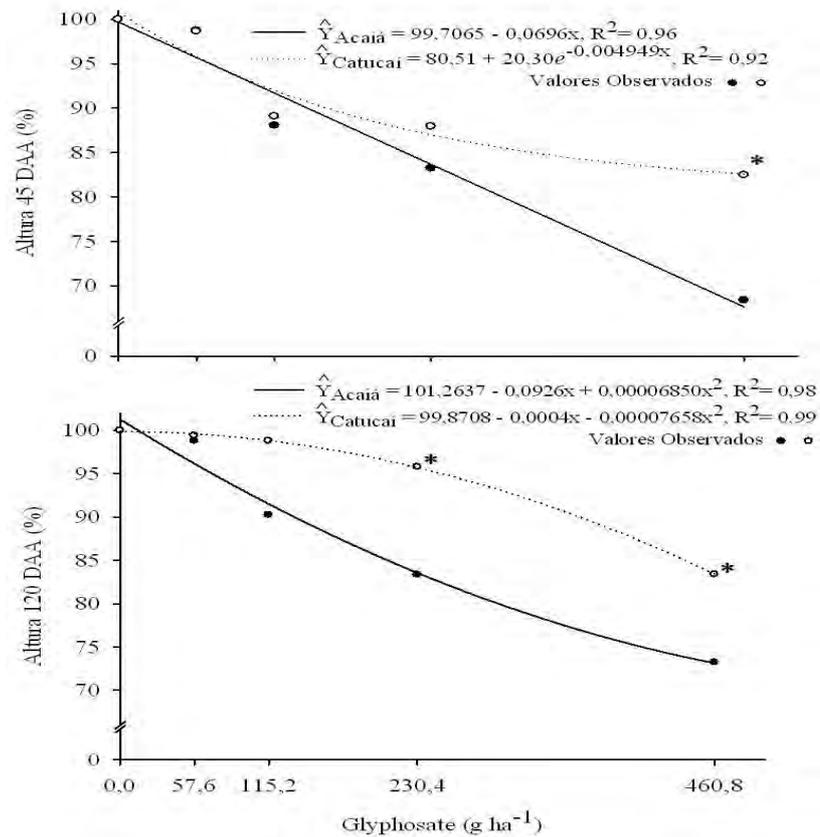
O aumento das doses de glyphosate promoveu redução no incremento da altura das plantas para Acaiá e Catucaí (Figura 3), observando-se diferenças entre as cultivares quando submetidas à dose de 460,8 g ha<sup>-1</sup> aos 45 DAA, e, 230,4 e 460,8 g ha<sup>-1</sup> aos 120 DAA. Houve redução no incremento em altura para as cultivares Acaiá e Catucaí de 32,37% e 17,38% na dose de 460,8 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate aos 45 DAA, e, de 16,57% e 4,29% na dose de 230,4 g ha<sup>-1</sup>, e, 26,86% e 16,47% na dose de 460,8 g ha<sup>-1</sup> aos 120 DAA, respectivamente, quando comparados com plantas que não receberam o tratamento com glyphosate (100%). Do mesmo modo, Tuffi Santos et al. (2007) relataram que houve menor crescimento de clones de eucalipto a partir da dose de 172,8 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate, havendo diferenças entre os clones. Doses superiores a 360 g ha<sup>-1</sup> retardaram o crescimento das plantas de varjão (*Parkia multijuga*) (Yamashita et al., 2006). O mecanismo de ação do glyphosate baseia-se na interrupção da rota do ácido chiquímico, responsável pela produção dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano. Esses aminoácidos são essenciais na síntese protéica e divisão celular das regiões meristemáticas das plantas. O glyphosate se caracteriza por ser um produto que diminui acentuadamente o crescimento das plantas, quando aplicados em doses subletais (Yamada & Castro, 2007). O incremento na altura das plantas da cultivar Acaiá foi reduzido de forma direta com aumento das doses de glyphosate, sendo que, para cada grama do herbicida aplicado promoveu redução de 0,0696%, aos 45 DAA. Todavia, para a cultivar Catucaí houve tendência quadrática de redução no incremento em altura, aos 120 DAA, atingindo altura máxima na dose de 2,61 g ha<sup>-1</sup>, com posterior redução dessa variável com aumento da dose do herbicida (Figura 3).



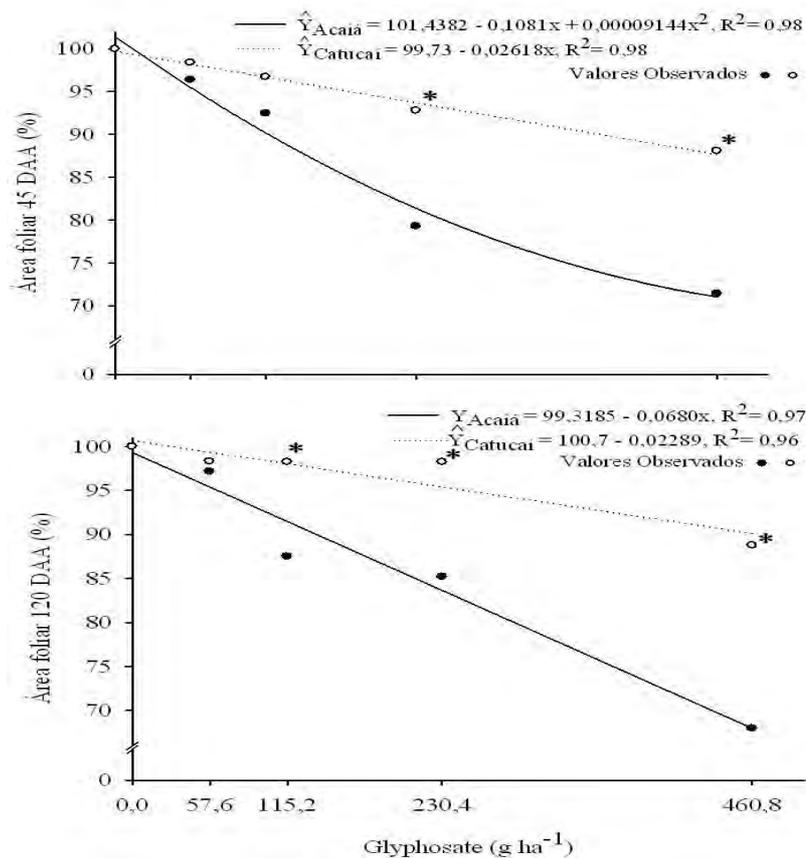
**Figura 2** – Percentagem de intoxicação de cultivares de café submetidas a doses de glyphosate, aos 10, 45 e 120 dias após a aplicação (DAA). Viçosa-MG, 2009. \*diferenças entre as cultivares testadas, pelo teste de F ( $p \leq 0,05$ ).

O incremento na área foliar das plantas foi comprometido com aumento das doses de glyphosate aos 45 e 120 DAA (Figura 4). Aos 45 DAA houve redução no incremento dessa variável diretamente proporcional ao aumento da dose de glyphosate para a cultivar Catucaí, e, de forma quadrática para Acaiá. Além disso, aos 120 DAA o aumento das doses de glyphosate reduziu o incremento na área foliar das espécies de café de modo direto, onde houve 2,97 vezes maior diminuição para a cultivar Acaiá, quando comparada a Catucaí para cada grama de glyphosate aplicado. Essa menor tolerância das plantas da cultivar Acaiá ao glyphosate, em comparação as plantas de

Catucaí, possivelmente é devido, a maior interceptação do herbicida pela cultivar de porte alto. Plantas de Acaiá apresentam internódios mais longos favorecendo a penetração do glyphosate por entre suas folhas. Diferenças quanto a tolerância de plantas da mesma espécie foram relatados por Tuffi Santos et al. (2008), onde o clone UFV 06 foi o mais sensível à ação do glyphosate quando comparados a outros clones da espécie *Eucalyptus grandis*.



**Figura 3** – Percentagem de altura acumulada de cultivares de café submetidas a doses de glyphosate em deriva simulada, aos 45 e 120 dias após a aplicação (DAA). Viçosa-MG, 2009. \*diferenças entre as cultivares testadas, pelo teste de F ( $p \leq 0,05$ ).



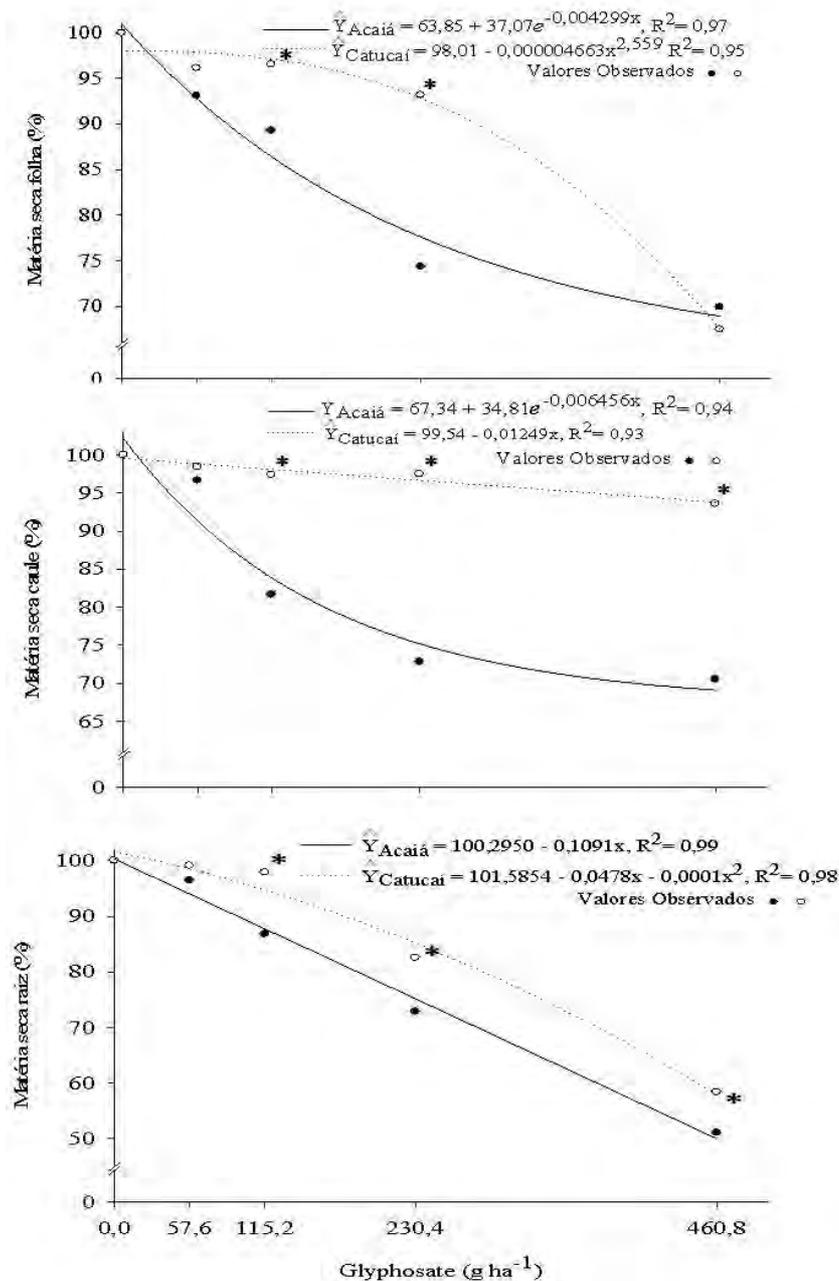
**Figura 4** – Percentagem de área foliar acumulada de cultivares de café submetidas a doses de glyphosate em deriva simulada, aos 45 e 120 dias após a aplicação (DAA). Viçosa-MG, 2009. \*diferenças entre as cultivares testadas, pelo teste de F ( $p \leq 0,05$ ).

O aumento das doses de glyphosate promoveu redução no acúmulo de matéria seca das folhas, caule e raízes de plantas das cultivares Acaiá e Catucaí, aos 120 DAA (Figura 5). A matéria seca das folhas de Acaiá foi significativamente menor quando comparadas à Catucaí, nas doses de 115,2 e 230,4 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate. No entanto, na dose de 460,8 g ha<sup>-1</sup> as cultivares apresentaram similaridade quanto ao acúmulo de matéria seca pelas folhas, indicando possivelmente, alta intoxicação das plantas, independente da cultivar. A matéria seca do caule das plantas de Catucaí foi pouco afetada pelo aumento das doses de glyphosate, com percentual de redução de 0,01249% para cada grama aplicada do herbicida. Contudo, as cultivares diferenciaram entre si quanto à matéria seca do caule nas doses 115,2; 230,4 e 460,8 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate.

A tolerância diferencial de plantas ao glyphosate possivelmente se deve a diferenças na capacidade da espécie em desintoxicar-se, metabolizando ou degradando o produto em compostos menos tóxicos ou não-tóxicos (Reddy et al., 2008; Carvalho et

al., 2009). Além do que, essa metabolização é dependente da espécie e da cultivar utilizada (Yuan et al., 2007). A leguminosa *Cassia occidentalis* mostrou-se mais tolerante ao glyphosate, quando comparada à outra leguminosa, *Sesbania herbacea*. Isso se deve a *C. occidentalis* promover maior degradação da molécula do glyphosate para metabólitos menos tóxicos, como o ácido aminometilfosfônico (AMPA) (Reddy et al., 2008).

As cultivares avaliadas diferenciaram entre si quanto ao acúmulo de matéria seca nas raízes nas doses de 115,2; 230,4 e 460,8 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate (Figura 5). Seguindo a mesma tendência das outras variáveis analisadas, a cultivar Acaiá mostrou-se menos tolerante a intoxicação acidental por glyphosate, quando comparada à Catucaí. Do mesmo modo, Velini et al. (2008) observaram menor acúmulo de matéria seca nas raízes de plantas de pinus e eucalipto tratadas com glyphosate. Além disso, os efeitos são mais lentos quando comparados aos verificados na parte aérea, principalmente em menores doses. Todavia, Tuffi Santos et al. (2006a) não observaram diferenças significativas no acúmulo de matéria seca do sistema radicular, aos 45 DAA, de plantas de pêsego, após tratamento com o glyphosate.



**Figura 5** – Percentagem de matéria seca acumulada nas folhas, caule e raízes de cultivares de café submetidas a doses de glyphosate em deriva simulada, aos 120 dias após a aplicação. Viçosa-MG, 2009. \*diferenças entre as cultivares testadas, pelo teste de F ( $p \leq 0,05$ ).

Conclui-se que os sintomas de intoxicação nas plantas de café das cultivares Acaiá e Catucaí causados pelo glyphosate foram clorose e estreitamento do limbo foliar e, necrose nas folhas de Acaiá. A cultivar Acaiá é menos tolerante ao glyphosate, quando comparada à Catucaí, isto é, plantas dessa cultivar apresentam menor crescimento quando são submetidas ao tratamento com o glyphosate.

## 5.6. LITERATURA CITADA

- ANTUNES, W. C. et al. Allometric models for non-destructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*). **Ann. Appl. Biol.**, v. 153, n. 1, p. 33-40, 2008.
- BOTELHO, C. E. et al. Cultivares de café e suas principais características agrônômicas e tecnológicas. **Informe Agropec.**, v. 29, n. 247, p. 31-41, 2008.
- CAIXETA, G. Z. T. et al. Gerenciamento como forma de garantir a competitividade da cafeicultura. **Informe Agropec.**, v. 29, n. 247, p. 14-23, 2008.
- CARVALHO, S. J. P. et al. Herbicide selectivity by differential metabolism: considerations for reducing crop damages. **Sci. Agrícola**, v.66, n.1, p.136-142, 2009.
- CATANEO, A.C., et al. Atividade de glutiona-s-transferase na degradação do herbicida glyphosate em plantas de milho (*Zea mays*). **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 307-312, 2003.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira**. [11/07/2009]. (<http://www.conab.gov.br>).
- COSTA, A. G. F. et al. Efeito da intensidade do vento, da pressão e de pontas de pulverização na deriva de aplicações de herbicidas em pré-emergência. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 203-210, 2007.
- ELLIS, J. M.; GRIFFIN, J. L. Soybean (*Glycine max*) and cotton (*Gossypium hirsutum*) response to simulated drift of glyphosate and glufosinate. **Weed Technol.**, v. 16, n. 3, p. 580–586, 2002.
- FERREIRA, F. B. et al. Consequências da deriva simulada do herbicida glyphosate sobre a cultura do arroz irrigado (*Oryza sativa* L.). **R. Bras. de Agrociência**, v. 12, n. 3, p. 309-312, 2006.
- FERREIRA, L. R. et al. Tecnologia de aplicação de herbicidas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa:UFV, 2007. p. 326-367.
- FIGUEREDO, S. S. et al. Influência de doses reduzidas do glyphosate no tomateiro (*Lycopersicon esculentum*). **Planta Daninha**, v. 25, n. 3, p. 849-857, 2007.
- FRANS, R. E. Measuring plant response. In: WILKINSON, R. E. (Ed.) **Research methods in weed science** [S.l.]: Southern Weed Science Society, 1972. p. 28-41.
- 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.
- GUIMARÃES, 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, 1999. p. 289-302.

- HENRY, W. B. et al. Shikimate accumulation in sunflower, wheat, and proso millet after glyphosate application. **Weed Sci.**, v. 55, n. 1, p. 1-5, 2007.
- MAGALHÃES, P. C. et al. Efeito de doses reduzidas de glyphosate e paraquat simulando deriva na cultura do milho. **Planta Daninha**, v. 19, n. 2, p. 247-253, 2001.
- 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.
- RIGOLI, R. P. et al. Resposta de plantas de beterraba (*Beta vulgaris*) e de cenoura (*Daucus carota*) à deriva simulada de glyphosate e clomazone. **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 451-456, 2008.
- RODRIGUES, G. J. et al. Eficiência de uma barra de pulverização para a aplicação de herbicidas em lavouras de café em formação. **Planta Daninha**, v. 21, n. 3, p. 459-465, 2003.
- 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. et al. Effect of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid applied as a herbicide on fruit shedding and coffee yield. **Weed Res.**, v. 45, n. 1, p. 41-47, 2005.
- 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.
- SANT'ANNA-SANTOS, B. F. et al. Effects of simulated acid rain on the foliar micromorphology and anatomy of tree tropical species. **Environ. Exp. Bot.**, v. 58, n. 1-3, p. 168-158, 2006.
- SANTOS, B. M. et al. Effects of sublethal glyphosate rates on fresh market tomato. **Crop Prot.**, v. 26, n. 2, p. 89-91, 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.
- TAN, S. et al. Herbicidal inhibitors of amino acid biosynthesis and herbicide-tolerant crops. **Amino Acids**, v. 30, p. 195-204, 2006.
- TUFFI SANTOS, L. D. et al. Crescimento e morfoanatomia foliar de eucalipto sob efeito de deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 133-142. 2005.
- TUFFI SANTOS, L. D. et al. Deriva de herbicidas e efeito de fungicida x herbicida em plantas jovens de pessegueiro. **Planta Daninha**, v. 24, n. 3, p. 505-512, 2006a.

- 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, 2006b.
- TUFFI SANTOS, L. D. et al. Morphological responses of different eucalypt clones submitted to glyphosate drift. **Environ. Exp. Bot.**, v. 59, p. 11-20, 2007.
- TUFFI SANTOS, L. D. et al. Danos visuais e anatômicos causados pelo glyphosate em folhas de *Eucalyptus grandis*. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, p. 9-16, 2008.
- 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.
- VELINI, E. D. et al. Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. **Pest. Manag. Sci.**, v. 64, n. 4, p. 489-496, 2008.
- VIANA, R. G. et al. Características técnicas de pontas de pulverização LA-1JC e SR-1. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 211-218, 2007.
- 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.
- WOLF, T. M., et al. Effect of protective shields on drift and deposition characteristics of Field sprayers. **The role of application factors in the effectiveness and drift of herbicides**. Regina, SK, Canada: Agriculture Canada Research Station, 1992. p. 29-52.
- YAMADA, T.; CASTRO, P. R. C. **Efeitos do glifosato nas plantas: implicações fisiológicas e agronômicas**. INPI - International Plant Nutrition Institute, n.119, p. 1-32, 2007.
- YAMASHITA, O. M. et al. Resposta de varjão (*Parkia multijuga*) a subdoses de glyphosate. **Planta Daninha**, v. 24, n. 3, p. 527-531, 2006.
- YUAN, J. S. et al. Non-target-site herbicide resistance: a family business. **Trends in Plant Sci.**, v. 12, n. 1, p. 6-13, 2007.
- ZAIDI, A. et al. Effect of herbicides on growth, nodulation and nitrogen content of greengram. **Agron. Sustain. Dev.**, v. 25, p. 497-504, 2005.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- De acordo com os resultados obtidos, os sintomas de intoxicação nas plantas de café causados pelo glyphosate foram semelhantes nas diferentes cultivares, sendo caracterizados por clorose e estreitamento do limbo foliar.
- A cultivar Topázio foi a mais sensível ao glyphosate, quanto ao acúmulo de área foliar, de matéria seca e densidade radicular, diferenciando-se das cultivares Catucaí e Oeiras.
- Houve redução nos teores foliares de N, P, K, Cu, e Zn aos 45 dias após a aplicação (DAA), e de N, K, Mn e Zn aos 120 DAA, de plantas de café tratadas com glyphosate, independentemente da cultivar utilizada.
- A cultivar Topázio apresentou os menores teores foliares de Fe e Mn aos 45 DAA e, de P e Fe aos 120 DAA, quando comparadas com Catucaí e Oeiras.
- A cultivar Acaiá mostrou-se menos tolerante ao glyphosate, quando comparada à Catucaí, apresentando menor crescimento quando tratadas com glyphosate.