

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E
MUCURI - UFVJM

LÍLIAN ALVES CARVALHO REIS

**INFLUÊNCIA DO GLYPHOSATE NA ANATOMIA E FISIOLOGIA DE
CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA**

DIAMANTINA - MG
2013

LÍLIAN ALVES CARVALHO REIS

**INFLUÊNCIA DO GLYPHOSATE NA ANATOMIA E FISIOLOGIA DE
CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Produção Vegetal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, área de concentração Produção Vegetal, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador
Profº. Dr. André Cabral França

DIAMANTINA - MG
2013

Ficha Catalográfica
Preparada pelo Serviço de Biblioteca/UFVJM
Bibliotecária: Jullyele Hubner Costa CRB-6^a nº 2972

R375i
2013 Reis, Lílian Alves Carvalho
 Influência do glyphosate na anatomia e fisiologia de cultivares
 de café arábica. / Lílian Alves Carvalho Reis. – Diamantina:
 UFVJM,2013.
 61 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. André Cabral França

Dissertação (mestrado) –Universidade Federal dos Vales do
Jequitinhonha e Mucuri. Faculdade de Ciências Agrárias. Programa
de Pós-Graduação em Produção Vegetal, 2013.

1. Glyphosate. 2. Café. 3. Fisiologia. 4. Anatomia. 5. Deriva.
I. França, André Cabral. II. Título.

CDD: 633.73

**INFLUÊNCIA DO GLYPHOSATE NA ANATOMIA E FISIOLOGIA DE
CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA**

LÍLIAN ALVES CARVALHO REIS

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Produção Vegetal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, área de concentração Produção Vegetal, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA EM 15 DE JULHO de 2013

Leonardo David Tuffi Santos - UFMG

Dayana Maria Teodoro Francino - UFVJM

Prof. Dr. André Cabral França– UFVJM
Presidente

DIAMANTINA - MG
2013

*Aos meus pais, Angelina e Darwin (in memoriam), a
minha irmã Letícia, e a minha madrinha Clotilde.*

Ofereço e dedico.

"A felicidade está nas coisas simples da vida."

(Autor desconhecido)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, saúde e proteção, e permissão dessa vitória sem o qual nada seria.

A 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 minha família em especial, ao meu pai que nunca me deixou desistir e acreditou em mim, quando eu mesma não acreditava. A minha mãe, pelo apoio, cuidado de sempre e carinho. A minha irmã, por dividir todos os momentos, tanto os felizes como os difíceis. E a minha Dinha, pelo exemplo de dignidade e carinho.

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pela oportunidade de realização do curso.

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

Ao Prof. André Cabral França, pela confiança, compreensão em muitos momentos, dedicação, força, orientação e apoio. E também por me mostrar sempre as características a serem trabalhadas. Muito obrigada!

Ao Prof. José Barbosa dos Santos, pelo carinho, atenção e exemplo em minha graduação e mestrado.

Às Professoras, Dayane dos Santos e Ivanir pela amizade, atenção e disponibilidade de tempo. Pelas sugestões e pelas críticas que muito contribuíram para a qualidade final desse trabalho.

Aos amigos Evander Alves, Michelle Cabral, Thiago J. Guedes e Fabiano R. Costa, Sara Michelle Cruz, Sandra e Ana Dupin pelas sugestões, apoio e pelas críticas.

Às amigas e aos amigos, Ana Flavia de Freitas, Kamila de Freitas, Kelen Elidiane de Oliveira, Helise Mendes, Taciane Trolesi Goulart, Érica Barreto, Flávio, Juçara, Ademilson, Mariana, Carlos Alves, Edimilson, Samuel, Cristiano, Carlos Suzart e Marco Túlio pela amizade inestimável e pelo imprescindível auxílio na execução desse trabalho.

Aos amigos Valadão e Felipe que antes mesmo do mestrado me ajudaram muito e foram exemplos. Aos amigos Adna, Flavio, Branquinha, Mariana lá de casa e Mariana Pires, Aloma, Aridne, Débora, Sara, Liliane, Sandrinha, Roberto, Alessandra, Alcinei, Carlos (indião), Russo, Ana Flavia, André e Barbosa que estiveram comigo no momento mais difícil da minha vida quando perdi meu pai e me apoiaram. **MUITO OBRIGADA!**

Ao Teodoro e Geovane, pela amizade, companheirismo e sempre disponibilidade na coleta de solos.

Aos amigos do NECAF e MASPD pela amizade, companheirismo e ajuda, direta ou indireta, na realização desse trabalho.

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

As “zamigas” que com maior carinho me ajudaram na finalização desse trabalho e sempre cuidaram da minha irmã por mim.

A Tekila minha linda cachorrinha, pelo carinho e companhia em todas as madrugadas de estudo e nos experimentos do campus JK.

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

RESUMO GERAL

REIS, Lílian Alves Carvalho, **Influência do glyphosate na anatomia e fisiologia de cultivares de café**. 2013. 75p. (Dissertação - Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2013.

O manejo das plantas daninhas possui grande importância para a manutenção dos níveis produtivos da cultura do café. O herbicida mais utilizado mundialmente na cultura do café é o glyphosate, por possuir alta eficiência e ser mais barato. Ele atua inibindo a enzima 5-enolpiruvilshiquimato, responsável pela produção de três aminoácidos tirosina, fenilalanina, tryptofano. Influenciando assim a produção de metabolitos secundários, inclusive os relacionados a formação das estruturas anatômicas, metabolitos de defesa e fotossíntese. Objetivou-se no presente trabalho avaliar os efeitos da deriva simulada de glyphosate sobre a anatomia e fisiologia de cultivares de café arábica. Para isso, fez-se três avaliações diferenciadas visando avaliar modificações primeiramente morfoanatômicas, depois concentrações de fenóis totais, flavonóides, cafeína e por último, florescência, concentrações de clorofilas e quantificações de estômatos. O experimento foi instalado em esquema fatorial (3 x 5), com três cultivares de café MGS Travessia, Oeiras MG 6851 e Catuaí IAC 144, e cinco doses de glyphosate (0,0; 57,6; 115,2; 230,4 e 460,8 g ha⁻¹), em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. Trinta dias após a aplicação, foram coletadas doze folhas recém-expandidas do último ramo plagiotrópico do cafeeiro, quatro folhas para as análises anatômicas, quatro para as análises de concentrações de fenóis, flavonoides, cafeína e as quatro últimas para a quantificação estomática. Nas análises morfoanatômicas observou-se os seguintes resultados: ocorreram sintomas de intoxicação como estreitamento foliar e clorose nas folhas mais jovens das plantas. Com o aumento da dose de glyphosate, a cultivar Catuaí sofreu redução na espessura foliar total, enquanto, que para as demais ocorreu incremento nesta característica. Para as variáveis epiderme adaxial, epiderme abaxial e parênquima lacunoso, ocorreu decréscimo de espessura, contudo ocorreu aumento da espessura do parênquima lacunoso com aumento das doses de glyphosate. Pode-se concluir que as três cultivares quando submetidas à deriva de glyphosate sofrem modificações morfoanatômicas. Com a redução do parênquima paliçádico ocorre redução da taxa fotossintética e consequente redução do crescimento e produção do café. Para as análises de concentrações de fenóis, flavonóides e cafeína, observou-se os seguintes resultados: com aumento das doses de glyphosate houve aumento na concentração de fenóis totais foliares até a dose de 115,2 g ha⁻¹ de glyphosate, para as três cultivares, acima dessa dose as concentrações de fenóis foram

reduzidas. No entanto, com aumento das doses de glyphosate a concentração de flavonóides diminuiu até a dose de $115,2 \text{ g ha}^{-1}$ de glyphosate, para as cultivares Travessia e Oeiras, acima dessa dose a concentração de flavonóides para essas duas cultivares aumentaram. Ocorreu aumento da concentração de flavonóides para a cultivar Catuaí quando aplicado a dose de $115,2 \text{ g ha}^{-1}$ de glyphosate, para doses mais altas ocorreu diminuição da concentração de flavonóides totais. Com aumento das doses de glyphosate, as concentrações de cafeína apresentaram comportamento similar entre as cultivares Oeiras e Catuaí, ocorrendo diminuição da concentração de cafeína até a dose de $115,2 \text{ g ha}^{-1}$ de glyphosate e aumento a concentração de cafeína para doses superiores. Observou-se que houve aumento na concentração de cafeína para cultivar Travessia a partir de $115,2 \text{ g ha}^{-1}$ de glyphosate. De acordo com o teste histoquímico todas as três cultivares estudadas apresentaram maiores concentração de fenóis no parênquima paliádico após a aplicação da deriva de glyphosate. Conclui-se que, quando submetidas a subdoses de glyphosate, as cultivares analisadas apresentaram modificações bioquímicas para as concentrações de fenóis totais, flavonóides totais e cafeína. Com baixas doses $57,6$ e $115,2 \text{ g ha}^{-1}$ de glyphosate, ocorreu aumento da concentração de fenóis totais aumentando assim a capacidade de defesa das cultivares, entretanto com o aumento das doses de glyphosate ocorreu redução da concentração de fenóis totais. A produção de flavonóides e cafeína possuem efeitos variados para as doses de glyphosate podendo aumentar e diminuir a concentração de forma independente, pois os metabolitos são supridos por outras rotas. Nas análises fisiológicas, observou-se os seguintes resultados: os valores da variável fluorescência máxima (F_m) decresceram de acordo com o aumento das doses de glyphosate, a cultivar Travessia apresentou maior decréscimo que as demais cultivares. Para eficiência fotoquímica máxima (F_v/F_m) ocorreu com o aumento do estresse de acordo com o aumento das doses aplicadas do glyphosate. As concentrações de clorofila *a*, *b* e total sofreram decréscimo de acordo com o aumento das doses aplicadas de glyphosate. Para as variáveis, índice estomático e densidade estomática ocorreram um decréscimo de valores de acordo com o aumento da dose aplicada de glyphosate. A cultivar Travessia apresentou maior queda de valor para o índice estomático e densidade estomática. Conclui-se que as subdoses de glyphosate provocaram danos na fotossíntese de forma direta, pois, ocorreu diminuição das concentrações das clorofilas e da intensidade da fluorescência máxima, promovendo, assim, maior estresse nas cultivares de café. A diminuição do número de estômatos é mais uma das prováveis explicações para a influência na fotossíntese promovida pelo glyphosate.

Palavras-Chave: glyphosate, *Coffea arabica*, anatomia, fisiologia, deriva.

ABSTRACT

REIS, Lílian Alves Carvalho, **Glyphosate influence on anatomy and physiology of coffee cultivars**. 2013. 74p. (Dissertation – Master course in Produção Vegetal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2013.

Weed management is greatly important to keep levels of coffee production. Glyphosate is the most used herbicide in the world for being of high efficiency and cheaper. Its action is on the enzyme 5-enolpyruvylshikimate that is responsible for producing tyrosin, phenylalanine and tryptophan. It inhibits their production, consequently influencing the production of secondary metabolites, mainly the ones related to anatomical structures, metabolites of defense and photosynthesis. This study was carried out in order to evaluate effects of drift simulation of glyphosate on anatomy and physiology of Arabica coffee cultivars. There were three different stages of evaluations: first morphoanatomical modifications, then concentrations of total phenol, flavonoids and caffeine, and finally fluorescence, chlorophyll concentrations and stomata quantification. The experiment was arranged in a factorial scheme (3 x 5), with three coffee cultivars (MGS Travessia, Oeiras MG 6851 and Catuaí IAC 144), at five glyphosate rates (0.0; 57.6; 115.2; 230.4 and 460.8 g ha⁻¹), in a randomized block design, with four replicates. Thirty days after application, twelve recently expanded leaves from the last plagiotropic branches were collected: four for anatomical analysis, four for analysis of concentrations of total phenol, flavonoids and caffeine and four to quantify stomata. Morphoanatomical analysis showed intoxication symptoms such as foliar narrowing and chlorosis on the younger leaves were observed. Increasing glyphosate rate, the cultivar Catuaí reduced its total foliar thickness, while to the others it was increased. Adaxial and abaxial epiderms and spongy parenchyma had their thickness decreased, however spongy parenchyma increased at higher rates of glyphosate. It could be concluded that the three cultivars under glyphosate drift shows morphoanatomical modifications. When palisade parenchyma is reduced, consequently photosynthetic rate, growth and coffee production reduce. Analyzing concentrations of total phenol, flavonoids and caffeine, it was observed that phenol concentration increased when glyphosate rates were increased up to 115.2 g ha⁻¹ in all three cultivars, showing reduction at higher rates. For Travessia and Oeiras cultivars, the flavonoid concentration decreased at higher glyphosate rates, starting its increase at rates higher than 115.2 g ha⁻¹. For Catuaí, flavonoid concentration increased at 115.2 g ha⁻¹ being reduced with higher rates. Regarding caffeine concentration, it was similar to Oeiras and Catuaí. This concentration decreased at 115.2 g ha⁻¹ and got higher at superior rates. The cultivar

Travessia showed higher caffeine concentration at rates higher than 115.2 g ha⁻¹. According to the histochemical tests, all the three cultivars present higher phenol concentration on paladise parenchyma after application of glyphosate drift. It can be conclude that, when submitted to subrates of glyphosate, cultivars shows biochemical modifications to all concentrations evaluated. At 57.6 and 115.2 g ha⁻¹ total phenol increased providing a better capacity of defense to cultivars, however, when increasing these rates, total phenol concentration decreased. Flavonoids and caffeine production have varied effects on glyphosate rates. They can increase or decrease independently because metabolites are fulfilled by other ways. Through physiological analysis, it could be observed that values of maximum fluorescence decreased with higher glyphosate rates, and Travessia cultivar presented highest decrease. Chlorophyll concentrations *a*, *b* and total decreased according to rates increase, being harder to chlorophyll *a*. Values of stomatal index and stomatal density decreased when increasing glyphosate rate, being harder to cultivar Travessia. It can be concluded that subrates of glyphosate cause damage on photosynthesis because of the reduction on chlorophyll concentration and fluorescence intensity. Reduction of stomata number is also one of the features that can explain the influence promoted by glyphosate on photosynthesis.

Key words: glyphosate, *Coffea arabica*, anatomy, physiology, drift.

LISTA DE TABELAS

ARTIGO CIENTÍFICO I		Pág.
Tabela 1	Características físicas e químicas do Latossolo Vermelho distrófico utilizado no experimento ^{1/}	14
ARTIGO CIENTÍFICO II		Pág.
Tabela 1	Características físicas e químicas do Latossolo Vermelho distrófico utilizado no experimento ^{1/}	33
ARTIGO CIENTÍFICO III		Pág.
Tabela 1	Características físicas e químicas do Latossolo Vermelho distrófico utilizado no experimento ^{1/}	46

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO CIENTÍFICO I.		Pág.
Figura 1	Sintomas de intoxicação de plantas de café submetidas a deriva simulada de glyphosate, aos 30 dias após a aplicação.....	20
Figura 2	Espessura foliar de cultivares de café arábica submetidas a deriva simulada de glyphosate, aos 30 dias após a aplicação. 1: Espessura total. 2: espessura da epiderme abaxial. 3: Espessura da epiderme adaxial. 4: Espessura do parênquima paliçádico. 5: Espessura do parênquima lacunoso.....	21
Figura 3	Espessura foliar de cultivares de café arábica, submetidas a cinco doses de glyphosate (0,0; 57,6; 115,2; 230,4; 460,8 g ha ⁻¹), aos 30 dias após a aplicação.....	22
ARTIGO CIENTÍFICO II.		Pág.
Figura 1	Concentração de fenóis totais em folhas de três cultivares de café submetidas a diferentes doses de glyphosate aplicado em deriva simulada.....	34
Figura 2	Concentração de flavonóides totais em folhas de três cultivares de café submetidas a diferentes doses de glyphosate aplicado em deriva simulada.....	35
Figura 3	Concentração de cafeína total em folhas de três cultivares de café submetidas a diferentes doses de glyphosate aplicado em deriva simulada.....	36
Figura 4	Teste histoquímico para fenóis em corte transversal de folha da cultivar Catuai submetidas a cinco doses de glyphosate: A (0,0 g ha ⁻¹), B (57,6 g ha ⁻¹), C (115,2 g ha ⁻¹), D (230,4 g ha ⁻¹) e E (460,8 g ha ⁻¹). Abreviaturas: Pp: Parênquima paliçádico, Pl: Parênquima lacunoso.....	37
ARTIGO CIENTÍFICO III.		Pág.
Figura 1	Fluorescência inicial de plantas café submetidas a diferentes doses de glyphosate em deriva simulada.....	47
Figura 2	Fluorescência máxima de plantas café submetidas a diferentes doses de glyphosate em deriva simulada.....	48

Figura 3	Eficiência fotoquímica máxima de cultivares de café submetidas a diferentes doses de glyphosate em deriva simulada.....	50
Figura 4	Clorofila <i>a</i> , <i>b</i> e total de plantas café submetidas a diferentes doses de glyphosate em deriva simulada.....	52
Figura 5	Número de estômatos de plantas café submetidas a diferentes doses de glyphosate em deriva simulada.....	53
Figura 6	Número de células epidérmicas de plantas de café submetidas a diferentes doses de glyphosate em deriva simulada.....	54
Figura 7	Índice estomático de plantas café submetidas a diferentes doses de glyphosate em deriva simulada.....	55
Figura 8	Densidade estomática de plantas café submetidas a diferentes doses de glyphosate em deriva simulada.....	56

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	i
ABSTRACT	iii
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	v
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	2
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	6
ARTIGO CIENTÍFICO I	10
MODIFICAÇÕES MORFOANATOMICAS FOLIARES DE CULTIVARES DE CAFÉ SUBMETIDAS À DERIVA SIMULADA DE GLYPHOSATE	10
1.RESUMO	11
2.ABSTRACT	12
3.INTRODUÇÃO.....	13
4.MATERIAL E MÉTODOS.....	14
5.RESULTADO	15
6.DISSCUSSÃO.....	17
7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
ARTIGO CIENTIFICO II	26
AVALIAÇÕES BIOQUÍMICAS EM FOLHAS DE CULTIVARES DE CAFÉ SUBMETIDAS A DERIVA SIMULADA DE GLYPHOSATE	26
1.RESUMO	27
2.ABSTRACT	28
3.INTRODUÇÃO.....	30
4.MATERIAL E MÉTODOS.....	31
5.RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
6.REFERÊNCIAS BILIOGRÁFICAS.....	37
ARTIGO CIENTIFICO III.....	41
CARACRISTICAS FISIOLÓGICAS DE CULTIVARES DE CAFÉ SUBMETIDAS A DERIVA SIMULADA DE GLYPHOSATE	41
1.RESUMO	42
2.ABSTRACT	43
3.INTRODUÇÃO.....	44
4.MATERIAL E MÉTODOS.....	45
5.RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
CONCLUSÃO GERAL	61

1. INTRODUÇÃO GERAL

O cafeeiro é uma planta perene de clima tropical, pertencente à família das *Rubiaceas* e ao gênero *Coffea* que reúne diversas espécies. As principais espécies desse gênero que possuem destaque comercial, são as seguintes, *C. arabica* L. (café arábica) e *C. canephora* Pierre (café robusta) (Davis et al., 2006), juntas constituem respectivamente, 70% e 30% da produção mundial de café (USDA, safra 2011/12).

O café arábica representa 79,4% da produção total brasileira, com uma produção no ano de 2011/12 de 55,9 milhões de sacas, representando mais de 40% da produção mundial de café (USDA, 2012). A produção mineira na safra 2011/12 foi de 26,94 milhões de sacas (CONAB, 2012). As produtividades médias nacionais e mineiras foram na safra de 2011/12 de 24,18 e 26,20 sacas/ ha, respectivamente, essas se encontram baixas quando comparadas com a capacidade produtiva das cultivares que chegam a 55 sacas/ ha (Severino et al., 2002; CONAB, 2012).

Alguns desafios encontrados pelos produtores promovem diminuição da produtividade, como: bienalidade de produção, descapitalização, deficiências nutricionais, patógenos, pragas e plantas daninhas, efeitos climáticos, variação nos preços internacionais, lavouras antigas e depauperadas e outros. Contudo, para a produção do café em índices adequados não devemos deixar de nos preocuparmos com o controle de plantas daninhas (Caixeta et al., 2008). Diversos autores relatam variações expressivas e com níveis preocupantes de redução na produção de 24 a 65%, dentre eles, Merino et al., (1996); Moraima et al., (2000) e Eshetu, (2001); Blanco et al., (1982), observaram reduções na produção do café de 55,9% a 77,2%.

A relação de competição entre cultivares e plantas daninhas é negativa do ponto de vista produtivo. A cultura sofre competição principalmente por luz, água e nutrientes. De acordo com estudos na fase inicial de crescimento do cafeeiro, este possui menor capacidade competitiva contra as plantas daninhas (Toledo et al., 1996; Vidal, 1997; Ronchi et al., 2003), promovendo influência negativa sobre o crescimento, nutrição, fisiologia e produção do cafeeiro (França et al., 2010; Fialho et al., 2011; Carvalho et al., 2013). A capacidade de absorção de alguns nutrientes minerais (N, P e K), em algumas espécies de plantas daninhas é cerca de 4 a 5 vezes maior que a capacidade do café (Ronchi et al., 2003).

Para alterar a relação de competição entre cultivares e plantas daninhas tornando-a nula ou positiva para a cultivar, deve-se efetuar o manejo das plantas daninhas (Silva & Ronchi, 2004). Vários métodos são usados para o manejo de plantas daninhas na cultura do café, como o preventivo, cultural, mecânico, físico e biológico. As raízes do cafeeiro são responsáveis por

maior parte da absorção de nutrientes e estão situadas abaixo da saia do cafeeiro na parte superior do solo, local de maior interferência das plantas daninhas (Gallo et al., 1958; Mattiello et al., 2008).

Dentre os métodos de controle disponíveis, a capina manual é uma possibilidade, porém, além de possuir baixo rendimento, corre-se o risco de lesionar as raízes dos cafeeiros (Toledo et al., 1996; Alcântara et al., 2000). Para diminuir os efeitos deletérios da capina manual utiliza-se o controle químico. Entretanto, existem apenas dois herbicidas registrados e seletivos à cafeicultura (fluazifop-p-butil e clethodim), diante dessa dificuldade os produtores utilizam herbicidas não seletivos, como o glyphosate aplicado com o jato dirigido (Silva et al., 2008).

O glyphosate (N-(fosfonometil)glicina) é um herbicida sistêmico aplicado em pós-emergência das plantas daninhas, com alta eficiência no controle das mesmas. Seu ingrediente ativo é o N-(phosphonomethyl) glycina. Indicado para controle de monocotiledôneas e dicotiledôneas. Quando em contato com o solo, tende a ser adsorvido e inativado, sendo pouco provável a contaminação de águas subterrâneas, além disso é decomposto por microrganismos *Agrobacterium radiobacter* ou da *Enterobacter aeroneges* (enzima C-P liase) (Santos et al., 2004).

Após o contato inicial das gotas contendo glyphosate com as folhas, ocorre rápida penetração do herbicida, onde o mesmo atravessa a cutícula conjuntamente à água de hidratação da folha, seguida de absorção simplástica lenta (Zablotowicz & Reddy, 2007). Numerosos fatores, incluindo a espécie, a idade, as condições ambientais, as concentrações do glyphosate e os surfactantes podem alterar a absorção e translocação do herbicida nas plantas. 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).

A aplicação dirigida do glyphosate é a indicada na cultura do café, porém, mesmo tomando todos os cuidados indicados no momento da aplicação pode ocorrer deriva (Tuffi Santos et al., 2005). A deriva consiste no contato de partículas de herbicidas com a cultura não-alvo na forma de gotas ou vapor, ela pode ser provocada pela não utilização de barreiras físicas e ou mal uso de tecnologias de aplicação como bico adequado, vento na velocidade correta, tamanho de gota e pressão adequada e altura da barra correta (Costa et al., 2007).

A deriva ocorre em menor ou maior grau, de acordo com o cuidado tomado no momento da aplicação, observa-se na literatura, caso de intoxicação por glyphosate no café (França et al., 2010a, 2010b; Carvalho et al., 2013) e em várias outras culturas como: pêssego (Tuffi Santos et al., 2006), algodão (Yamashita & Guimaraes, 2006), varjão (*Parkia multijuga*) (Yamashita et al., 2006), tomate (Figueiredo et al., 2007), soja (Santos et al., 2007; Correia et al., 2007), beterraba (Rigoli et al., 2007), cenoura (Rigoli et al., 2007), maracujá amarelo (Wagner Junior, 2008), eucalipto (Tuffi Santos et al., 2005; 2006; 2008; Pereira et al., 2010; Machado et al., 2010), Tifton 85 (*Cynodon spp.*) (Santos et al., 2008), coqueiro (Procópio et al., 2009), pinhão manso (Costa et al., 2009), pupunha (Ibrahin et al., 2010) e milho (Gomes et al., 2011).

Após a deriva do glyphosate, alguns efeitos negativos são facilmente observados, pois sintomas de intoxicação, como clorose nas folhas recém-expandidas, acompanhado de deficiência nutricional aparecem rapidamente (França et al., 2010a), com posterior surgimento de folhas afiladas, ou seja, com estreitamento do limbo foliar. Além de sintomas mais severos de intoxicação, como necrose após clorose foliar, murcha foliar, superbrotamento por morte de meristemas apicais e morte das plantas, como relatados em trabalhos com eucalipto, pêssego e varjão (*Parkia multijuga*), submetidos à deriva de glyphosate (Tuffi Santos et al., 2006; 2009; Yamashita et al., 2006).

Outros efeitos negativos da deriva de glyphosate é a alteração na produção dos compostos fenólicos promovida pela deriva do glyphosate para culturas não-alvo, que provocam oscilações na produção de hormônios e de metabólitos secundários, influenciando os mecanismos de defesa da planta e provocando modificações anatômicas (Davis & Hahlbrock, 1987). O glyphosate atua inibindo a enzima 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs) responsável pela transformação do chiquimato em corismato, ocorrendo acúmulo de chiquimato no cloroplasto, alterando a produção dos aminoácidos aromáticos como a fenilalanina, tirosina e o tryptofano (Kruzi et al., 2000). Esses três aminoácidos são precursores da maioria dos compostos aromáticos nas plantas denominados metabólitos secundários (Trezzi et al., 2001). Entre os metabólitos secundários alguns compostos aromáticos importantes como vitaminas (K e E), hormônios (auxina e etileno), alcaloides, antocianinas, flavonoides, cafeína e lignina podem apresentar variações na concentração devido à ação do glyphosate.

A defesa da planta está relacionada à adequada nutrição que permita respostas físicas e químicas de proteção ou resposta à ação de patógenos e pragas (Yamada, 1995), sendo que França et al., (2010b) observaram variação na nutrição de cafeeiro promovida por aplicação

de subdoses de glyphosate. Os mecanismos estruturais ligados à anatomia dos vegetais mais importantes pré-formados são: cutícula, tricomas, estômatos, vasos condutores, camada de sílica. Pós-formados são diferenciados em barreiras celulares e histológicas. Sendo as barreiras celulares: reorganização do citoplasma, halo, papila e lignina. As barreiras histológicas: camada de cortiça, camada de abscisão, tilose, deposição de gel e cristais de hesperidinas (Stangarlin et al., 2011).

Existem várias rotas metabólicas envolvidas na resistência a doenças de plantas, a maioria é produzida pela rota dos compostos secundários das plantas, alguns conhecidos como fitoantecipinas e outros conhecidos apenas como fitoalexinas (Mazaro et al., 2008). As fitoantecipinas são substâncias que são pré-formadas ao contato do patógeno com a planta, sendo elas substâncias envolvidas no processo de resistência das plantas aos patógenos. Essas substâncias se encontram em concentrações altas nas plantas saudáveis e podem ser convertidas em substância tóxicas aos patógenos em caso de infecção. Dentre as substâncias encontradas nesse grupo existem fenóis, alcalóides, lactonas, terpenóides, proteínas e peptídeos (Taiz & Zeiger, 2004).

A principal causa de morte das plantas submetidas a doses indicadas para o controle das plantas daninhas pela aplicação do glyphosate é a redução da taxa metabólica da planta pela interrupção da rota do chiquimato (Veline et al., 2009). Porém, plantas expostas a deriva podem apresentar variações da taxa fotossintética que não levariam a morte das mesmas, mas acredita-se que possa influenciar o crescimento e produção (Barela e Christoffoleti, 2006; França et al., 2010a; França et al., 2010b). Os fatores que influenciam direta ou indiretamente a fotossíntese são vários, dentre eles os principais são: déficit hídrico, estresse térmico, concentração interna e externa de gases, composição e intensidade da luz (Concenço et al., 2008). Assim, como o número de estômatos, concentração de clorofila, capacidade quântica e fluorescência também podem alterar a fotossíntese ou demonstrar variações na mesma (Kitchen et al., (1981); Pereira-Netto et al., (2002) e Meschede et al., (2011).

Diante da frequência e da importância do uso do glyphosate nas lavouras cafeeiras, tornam-se relevantes estudos para avaliar o impacto desse herbicida nas cultivares de café. Com o objetivo de avaliar os efeitos do glyphosate em algumas variáveis anatômicas, bioquímicas e fisiológicas de cultivares de café (*Coffea arabica* L.), realizou-se este trabalho.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCÂNTARA, E.N.; FERREIRA, M.M. . Efeito de diferentes métodos de controle de plantas daninhas sobre a produção de cafeeiros instalados em Latossolo Roxo Distrófico na cultura do cafeeiro (*Coffea arábica* L.). **Cienc. Agrotec.**, v.24, n.1, p. 54-61, 2000.
- BLANCO, H. G.; OLIVEIRA, D. A.; PUPO, E. I. H. Período de competição de uma comunidade natural de mato em uma cultura de café em formação. **Biológico**, v. 48, p. 9-20, 1982.
- BARELA, J. F.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Seletividade de herbicidas aplicados em pré-emergência da cultura da cana-de-açúcar (RB867515) tratada com nematicidas. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 371-378, 2006.
- 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, F. P.; FRANÇA, A. C.; LEMOS, V. T.; FERREIRA, E. A.; SANTOS, J. B. ; SILVA, A. A. Photosynthetic activity of coffee after application of glyphosate subdoses. **Acta Scientiarum**, v. 35, n. 1, p. 109-115, Jan.-Mar., 2013.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso 04 set. 2012.
- CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C. Seletividade de diferentes herbicidas à base de glyphosate a soja RR. **Planta Daninha**, v. 25, n. 2, p. 375-379, 2007.
- CONCENÇO, G. et al. Fotossíntese de biótipos de azevém sob condição de competição. **Planta Daninha**, 2007b.(No Prelo)[Links], 2008.
- 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.
- COSTA, N.V. et al. Efeito da deriva simulada de glyphosate no crescimento inicial de plantas de pinhão-manso. **Planta Daninha**, v.27, n.especial, p.1105-1110, 2009.
- DAVIS, K. R.; HAHLBROCK, K. Induction of defense responses in cultured parsley cells by plant cell wall fragments. **Plant Physiol. Biochem.**, n. 84, n. 4, p. 1286-90, 1987.
- DAVIS, A. P. et al. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). **Bot. J. Linn. Soc.**, v. 152, p. 465-512, 2006.
- ESHETU, T. Weed flora and weed control practices in coffee. In: COLLOQUE SCIENTIFIQUE INTERNATIONAL SUR LE CAFE, 19., 2001, Trieste, Italy. **Colloque...(?)** Paris: ASIC, 2001. p. 1-9.
- FIALHO, C.M.T.; FRANÇA, A. C.; TIRONI, S. P.; RONCHI, C. P.; SILVA, A. A. Interferência de Plantas Daninhas sobre o Crescimento Inicial de *Coffea arábica*. **Planta Daninha**, v. 29, n. 1, p. 137-147, 2011.

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.

FRANÇA, A. C. et al. Crescimento de cultivares de café arábica submetidos a doses do glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 28, n. 3, p. 599-607, 2010.

FRANÇA, A. C. et al. Teores de nutrientes em cultivares de café arábica submetidos à deriva de glyphosate. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 877-885, 2010b.

GALLO, J. R. et al. Absorção de nutrientes pelas ervas daninhas e sua competição com o cafeeiro. **B. Inst. Agron.**, n. 104, p. 1-13, 1958.

GOMES, G. L. G. C. **ALTERAÇÕES METABÓLICAS DE PLANTAS DE MILHO SUBMETIDAS À APLICAÇÃO DE GLYPHOSATE E FOSFITO**. 2011. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA.

IBRAHIN, F. N. et al. Interação glyphosate e fosfito-K no acúmulo de chiquimato em plantas de pupunha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., 2010, Ribeirão Preto. **Anais...** Jaboticabal: Funep, 2010a. p. 3007-3009.

KRUSE, N. D.; TREZZI, M. M.; VIDAL, R.A. Herbicidas inibidores da EPSPS: revisão de literatura. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.1, n.2, p.139-146, 2000.

KITCHEN, Lynn M.; WITT, William W.; RIECK, Charles E. Inhibition of chlorophyll accumulation by glyphosate. **Weed Science**, p. 513-516, 1981.

MACHADO, A. F. L. et al. Photosynthetic efficiency and water use in eucalyptus plants sprayed with glyphosate. **Planta Daninha**, v. 28, n. 2, p. 319-327, 2010.

MATTIELLO, E. M. et al. Produção de matéria seca, crescimento radicular e absorção de cálcio, fósforo e alumínio por *coffea canephora* e *coffea arabica* sob influência da atividade do alumínio em solução **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p.425-434, 2008.

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

MAZARO, Sergio Miguel et al. Comportamento pós-colheita de frutos de morangueiro após a aplicação pré-colheita de quitosana e acibenzolar-S-metil. **Revista brasileira de fruticultura**, v. 30, p. 185-190, 2008.

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.

MESCHEDE, D.K., VELINI, E.D., CARBONARI, C.A. ; SILVA, J.R.M. Alteração fisiológica da cana-de-açúcar pela aplicação de glyphosate e sulfometuron-methyl. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 29, n. 2, p. 413-419, 2011.

PEREIRA, M. R. R. **Potenciais hídricos no solo sobre a eficácia de herbicidas em plantas daninhas monocotiledôneas**. 2010. 175 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

PEREIRA-NETTO, A. B. Crescimento e desenvolvimento. In: WACHOWICZ, C. M.; CARVALHO, R. I. N. (Eds.). **Fisiologia vegetal** - produção e pós-colheita. Curitiba: Champagnat, 2002. p. 17-42.

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.

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.

RONCHI, C.P.; SILVA, A.A. Tolerância de Muda de Café a Herbicidas Aplicados em Pós-Emergência. **Planta daninha**, vol.21, n.3, 2003.

SANTOS, J.B. et al. Efeitos de diferentes formulações comerciais de glyphosate sobre estirpes de *Bradyrhizobium*. **Planta Daninha**, v. 22, n. 2, 2004.

SANTOS, J.B. et al. Avaliação de formulações de glyphosate sobre soja roundup ready **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 25, n. 1, p. 165-171, 2007.

SEVERINO, L. S; SAKIYAMA, N. S; PEREIRA, A. A; MIRANDA, G. V; ZAMBOLIM, L; BARROS, U. V. Associações da produtividade com outras características agrônômicas de café (*Coffea arabica* L. “catimor”). **Acta Scientiarum**, v.24, n 5, p. 1467-1471, 2002.

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.

SILVA, A. A.; RONCHI, C. P. Manejo e controle de plantas daninhas em café. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. (Orgs.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva/Vinho, 2004. p. 337-396.

STANGARLIN, J. R. et al. The plant defense against pathogens. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 10, n. 1, p. 18-46, 2011.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. 2004. **Fisiologia Vegetal**. 3ª ed. Porto Alegre, Artmed Editora, 2004. 719 p.

TOLEDO, S. V.; MORAES, M. V.; BARROS, I. Efeito da frequência de capinas na produção do cafeeiro. **Bragantia**, v. 55, n. 2, p. 317-324, 1996.

TREZZI, M. M.; KRUIZE, N. D.; VIDAL, R. A. Inibidores de EPSPS. In: VIDAL, R.A.; MEROTTO JR., A.. **Herbicidologia**, 2001. p. 37-45.

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. 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. **Brazilian Journal of Biology**, v. 69, n. 1, p. 129-136, 2009.

USDA. DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DOS ESTADOS UNIDOS. National Nutrient Database for Standard Reference, release 25 – food group 1 2012. Disponível em: <http://www.ars.usda.gov>.

VELINI, E. D., MESCHEDE, D. K.; CARBONARI, C. A.; TRINDADE, M. L. B. **Glyphosate**. 1. ed. Botucatu: Fepaf, 2009. p. 496.

VIDAL, R.A. Herbicidas: **mecanismos de ação e resistência de plantas**. Porto Alegre: R.A Vidal, 1997. 165p.

WAGNER JÚNIOR, A. et al. Deriva simulada de formulações comerciais de glyphosate sobre maracujazeiro amarelo. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 26, n. 3, p. 677-683, 2008.

WANAMARTA, G. D.; PENNER, D. Foliar absorption of herbicides. **Weed Sci.**, v. 4, p. 215-231, 1989.

YAMADA, Takao; MUKAI, Takashi. Superbright green InGaN single-quantum-well-structure light-emitting diodes. **Jpn. J. Appl. Phys.**, v. 34, n. 10B Pt 2, 1995.

YAMASHITA, O. M.; GUIMARÃES, S. C. Resposta de cultivares de algodoeiro a subdoses de glyphosate. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 627-633, 2005.

YAMASHITA, O. M., VIEIRA, R.G. , SANTI, A. , RONDON NETO, R.M. e ALBERGUINI, S.E.6. Resposta de varjão (*Parkia multijuga*) a subdoses de glyphosate. **Planta Daninha**, v. 24, n. 3, p. 527-531, 2006.

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.

ARTIGO CIENTÍFICO I

**MODIFICAÇÕES MORFOANATOMICAS FOLIARES DE CULTIVARES DE CAFÉ
SUBMETIDAS À DERIVA SIMULADA DE GLYPHOSATE**

*LEAF MORPHOANATOMY VARIATION IN COFFEE CULTIVARS UNDER DRIFT
SIMULATION OF GLYPHOSATE.*

1. RESUMO

O glyphosate é o herbicida mais utilizado no manejo de plantas daninhas na cultura do café. Ele atua inibindo a produção de três aminoácidos tirosina, fenilalanina, tryptofano, influenciando assim a produção de metabolitos secundários, inclusive os relacionados a formação das estruturas anatômicas. Objetivou-se no presente trabalho avaliar os efeitos da deriva simulada de glyphosate sobre a morfoanatomia foliar de cultivares de café arábica. O experimento foi instalado em esquema fatorial (3 x 5), com três cultivares de café MGS Travessia, Oeiras MG 6851 e Catuaí IAC 144, e cinco doses de glyphosate (0,0; 57,6; 115,2; 230,4 e 460,8 g ha⁻¹), em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. Trinta dias após a aplicação, foram coletadas quatro folhas recém-expandidas do último ramo plagiotrópico do cafeeiro. As folhas foram fixadas em FAA50, armazenadas em etanol 70%, incluídas em historesina *Leica*®, sendo posteriormente efetuados os cortes transversais. Os caracteres anatômicos analisados foram: espessura total da lâmina foliar (µm), espessura da epiderme adaxial (µm), epiderme abaxial (µm) e parênquima paliçádico e lacunoso (µm). Observou-se sintomas de intoxicação como estreitamento foliar e clorose nas folhas mais jovens das plantas. Com o aumento da dose de glyphosate, a cultivar Catuaí sofreu redução na espessura foliar total, enquanto, que para as demais ocorreu incremento nesta característica. Para as variáveis epiderme adaxial, epiderme abaxial e parênquima lacunoso ocorreram decréscimo em suas espessura, contudo ocorreu aumento da espessura do parênquima lacunoso com aumento das doses de glyphosate. Conclui-se que, quando submetidas a subdoses de glyphosate, as cultivares de café analisadas apresentaram modificações foliares morfoanatômicas. Com a redução do parênquima paliçádico ocorre redução da taxa fotossintética e conseqüente redução do crescimento e produção do café. Com o aumento da espessura do parênquima lacunoso o café fica mais susceptível ao ataque de pragas e patógenos.

Palavras-Chave: glyphosate, *Coffea arabica*, anatomia, deriva.

2. ABSTRACT

It's known that glyphosate is the herbicide most used for weed management on coffee crops. Its action inhibits the production of the aminoacids tyrosine, phenylalanine and tryptophan, influencing the production of secondary metabolites, mainly the ones related to anatomical structures of formation. This study aimed to evaluate effects of drift simulation of glyphosate on leaf morphoanatomy on Arabica coffee cultivars. The experiment was arranged in a factorial scheme (3 x 5), with three coffee cultivars (MGS Travessia, Oeiras MG 6851 and Catuaí IAC 144), at five glyphosate rates (0.0; 57.6; 115.2; 230.4 and 460.8 g ha⁻¹), in a randomized block design, with four replicates. Thirty days after application, four recently expanded leaves from the last plagiotropic branches were collected. They were fixed in FAA50, stored in 70% ethanol, included in *Leica*® historesin, then were submitted to a cross-sectional cutting. Functional features evaluated were: total thickness of blade leaf (µm), adaxial epiderm tickness (µm), abaxial epiderm (µm) and palisade and spongy parenchymas (µm). Intoxication symptoms such as foliar narrowing and chlorosis on the younger leaves were observed. Increasing glyphosate rate, the cultivar Catuaí reduced its total foliar tickness, while to the others it was increased. Adaxial and abaxial epiderms and spongy parenchyma had their thickness decreased, however spongy parenchyma increased at higher rates of glyphosate. It can be concluded that the three cultivars under glyphosate drift shows morphoanatomical modifications. When palisade parenchyma is reduced, consequently photosynthetic rate, growth and coffee production reduced. If spongy parenchyma thickness increases, coffee becomes susceptible to pest and pathogens attack.

Key words: glyphosate, *Coffea arabica*, anatomy, drift.

3. INTRODUÇÃO

O plantio de café no Brasil é culturalmente importante desde os primórdios do período colonial. No período atual, o café se tornou ainda mais importante, dado que o Brasil é o maior produtor mundial de café responsável por 40,72% de toda a produção (Conab, 2012). Apesar da grande expressão que a cultura cafeeira possui ainda não é tão eficiente como poderia ser, devido a entraves como a competição com as plantas daninhas que possui grande influência na produção e na qualidade do café (Silva et al., 2009).

A competição entre as plantas daninhas e o café podem gerar prejuízos de até 77,2% na produção (Blanco et al., 1982), mas a fase inicial de crescimento do café, a cultura possui ainda menor capacidade competitiva contra as plantas daninhas (Ronchi et al., 2003). A muda promove pequena cobertura do solo, deixando assim que ocorra incidência luminosa suficiente para germinação, crescimento e produção das plantas daninhas (Silva et al., 2008), gerando influência negativa sobre o crescimento e nutrição do cafeeiro nas fases iniciais de crescimento (Fialho et al., 2012).

Para impedir os efeitos negativos das plantas daninhas sobre o cafeeiro é necessário efetuar o controle das mesmas. Existem apenas dois herbicidas (fluazifop-p-butil e clethodim) que podem ser aplicados em pós-emergência das plantas daninhas em área total, por apresentarem seletividade para o café, (Rodrigues & Almeida, 2005). Fato que torna o controle químico com herbicidas seletivo mais difícil para essa cultura. No entanto, os dessecantes como o glyphosate possuem alta eficiência quando aplicados de forma dirigida e ainda diminuem os custos do controle, por isso são largamente utilizados.

O glyphosate atua inibindo a enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs) responsável pela transformação do chiquimato em corismato e impede a produção dos aminoácidos aromáticos como a fenilalanina, tirosina e o tryptofano (Kruze et al., 2000). Esses três aminoácidos são precursores da maioria dos compostos aromáticos nas plantas denominados metabólitos secundários (Trezzi et al., 2001). O glyphosate é principalmente absorvido pelas folhas passando pela cutícula, move-se via simplasto no interior da folha, chegando as zonas de dreno de fotoassimilados por meio da corrente transpiratória, onde atua promovendo modificações bioquímicas e anatômicas (Veline et al., 2009; Tuffi Santos et al., 2005).

A sintomatologia e caracterização microscópica tem sido usada para efetuar-se avaliações anatômicas do efeito da deriva de glyphosate (Tuffi Santos et al., 2005) e de vários poluentes como flúor (Silva., et al 2000; Chaves et al., 2002; Sant.Anna-Santos., et al 2007),

petróleo (Maranho., et al 2006) , ozônio (Pedroso & Alves, 2008), fluoreto (Pita-Barbosa et al., 2009) e metais pesado (Pires., et al 2012).

Por tanto, objetivou-se no presente trabalho avaliar os efeitos da deriva simulada de glyphosate sobre a morfoanatomia foliar de cultivares de café arábica.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), no setor de Cafeicultura, pertencente ao Departamento de Agronomia. Utilizaram-se de três cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.), sendo MGS Travessia, Oeiras MG 6851 e Catuaí IAC 144. As mudas foram produzidas de forma direta em sacos de polietileno e transplantadas quando apresentaram em média seis pares de folhas e dois ramos plagiotrópicos para vasos de 10 L preenchidos por solo peneirado e esterco de curral curtido (3:1). No momento do plantio das mudas aos vasos forneceu-se superfosfato simples, como fonte de P para as plantas (400g/vaso), de acordo com a análise de solo (Tabela 1). Para suplementação de K e N efetuou-se 3 aplicações de cloreto de potássio (10 g/vaso) e sulfato de amônio (2,5 g/vaso), respectivamente a cada 15 dias com início das aplicações 30 dias após o plantio (Guimarães et al., 1999). As plantas de café permaneceram em casa de vegetação recebendo irrigações diárias.

Aos 120 dias após o plantio das mudas nos vasos, quando as plantas apresentavam cerca de 21 pares de folhas desenvolvidas e 6 ramos plagiotrópicos, realizou-se uma aplicação do glyphosate de forma a não atingir o terço superior das plantas de café, utilizando-se pulverizador costal pressurizado, calibrado na pressão de 300 Kpa, munido com uma barra e duas pontas de pulverização tipo leque (TT 11002), espaçadas a 1 metro entre si, proporcionando aplicação de 200L ha⁻¹ de calda. No momento da aplicação aferiu-se a temperatura 26,4⁰C (±1), a umidade relativa do ar a 78% (±3) e velocidade do vento de 1,8 km h⁻¹.

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

Análise granulométrica (dag kg ⁻¹)												
Areia	Silte		Argila	Classe textura				Matéria Orgânica				
38	6		56	Argilosa				1,0				
Análise química (cmol _c /dm ³)												
pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	m	V	
H ₂ O	...(mg/dm ³)...	(cmol _c /dm ³).....								%.....
6,1	0,7	25	1,7	0,5	0,0	3,7	2,3	2,3	6,0	2	38	

Análises efetuadas no laboratório de fertilidade do solo da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM).

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⁻¹ de glyphosate (sal de isopropilamina), correspondentes a 0,0; 4,0; 8,0; 16,0; e 32,0% da dose comercial recomendada para o controle de plantas daninhas em cafeeiro (1.440g ha⁻¹). A parcela experimental constituía-se de um vaso contendo uma planta.

Após 30 dias da aplicação do glyphosate (30 DAA) retirou-se quatro folhas recém-expandidas do último ramo plagiotrópico do cafeeiro. Estas foram etiquetadas e levadas imediatamente ao Laboratório de Propagação de Plantas, da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM).

Para confecção do laminário, foram retiradas quatro amostras de cada folha com aproximadamente 100 mm² da região mediana do limbo foliar sendo fixadas em FAA₅₀ (Johansen, 1940) e estocadas em etanol 70%. Realizou-se a desidratação do material em série etílica, seguida pela inclusão em metacrilato (Historesina, *Leica*®, Heidelberg, Alemanha).

Com auxílio de um micrótomato de mesa rotativo de avanço automático (RM 2155 – *Leica*® Microsystems Inc., Deerfield, USA) foram obtidas secções transversais de 5 µm de espessura corados com azul de toluidina a pH 4 (O' Brien & McCully, 1981) e, posteriormente, dispostos em lâminas.

Para a mensuração da morfoanatomia foliar das folhas de plantas de café tratadas com glyphosate confeccionou-se três lâminas contendo quinze cortes cada, a partir de cada lâmina foram obtidas três imagens digitais com câmera acoplada a microscópio óptico. Realizaram-se três medições para cada caractere funcional, sendo: espessura total da lâmina foliar (µm), espessura da epiderme adaxial (µm), espessura da epiderme abaxial (µm) e espessura do parênquima paliçádico e lacunoso (µm). Para as medições dos caracteres funcionais utilizou-se o programa de análise de imagens Image-Pro Plus versão 4.1 para Windows® (Media Cybernetics, Silver Spring, MD, USA).

Os dados foram submetidos a análise de variância utilizando-se do teste F ($p \leq 0,05$) 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.

5. RESULTADO

As plantas tratadas com glyphosate apresentaram, como sintomas de intoxicação, clorose nas folhas recém-expandidas a partir do 7º dia após a aplicação (DAA), sendo mais pronunciado às plantas que foram tratadas com doses superiores a 230,4 g ha⁻¹ independente da cultivar avaliada (Figura 1).

Ao se analisar a espessura foliar total das folhas, esta mensurada da cutícula foliar adaxial até a cutícula foliar abaxial, submetidas à dose 460,8 g ha⁻¹ de glyphosate e a testemunha para as cultivares Travessia e Oeiras observou-se um acréscimo de 5,34% e 9,73%, respectivamente, todavia para a cultivar Catuaí, ocorreu decréscimo da espessura foliar total de 8% (Figura 2.1).

As cultivares de café apresentaram diferenças quando não submetidas ao tratamento de glyphosate para, a espessura foliar total. A cultivar Catuaí obteve valor inicial maior que as cultivares Travessia e Oeiras, com diferença entre elas de 8,11% e 11,92 %, respectivamente. No entanto, com o aumento das doses do glyphosate a cultivar Catuaí apresentou diminuição exponencial da espessura foliar de 6,97% em comparação com a testemunha, até a dosagem de 57,6 g ha⁻¹ de glyphosate ocorrendo estabilização linear da espessura foliar após o aumento das doses aplicadas. Contudo, para as cultivares Oeiras e Travessia com o aumento das doses de glyphosate ocorreu incremento exponencial da espessura foliar total de 8,70% e 3,15% em comparação com a testemunha, até a dosagem de 57,6 g ha⁻¹ de glyphosate respectivamente, passando a possuir tendência à estabilização na espessura de acordo com o aumento da dose de glyphosate (Figura 2.1).

Observou-se que as cultivares Travessia e Oeiras possuem menores espessuras foliares totais quando comparada a cultivar Catuaí, para dose zero de glyphosate. Todavia quando submetidas as menores doses de glyphosate 57,6 g ha⁻¹ e 115,2 g ha⁻¹, houve aumento e, posteriormente estabilização da espessura foliar total para a cultivar Catuaí (Figura 2.1). A variação na espessura foliar total também pode ser observada visualmente através da análise da (Figura 3), onde pode-se observar variação da espessura de acordo com o aumento da concentração de glyphosate aplicada para as três cultivares.

Analisando-se a espessura da epiderme adaxial (Ed), verificou-se que todas as cultivares testadas apresentaram redução desta variável com o aumento da dose aplicada do herbicida (Figura 2.2). Observou-se uma redução de 15,42%, 4,22% e 4,18% para Travessia, Catuaí e Oeiras, respectivamente quando receberam dose de 460,8 g ha⁻¹ de glyphosate em relação a testemunha.

O aumento da dose de glyphosate influenciou a espessura da epiderme abaxial (Eb) para as três cultivares de café (Figura 2.3). As cultivares Travessia e Oeiras obtiveram

decréscimo linear na espessura da epiderme abaxial (Eb) com o aumento das doses de glyphosate. A cultivar Catuaí seguiu tendência quadrática de redução na espessura da Eb com aumento das doses de glyphosate.

As doses de glyphosate influenciaram de forma semelhante as três cultivares de café, com relação à espessura do parênquima paliçádico (PP), ocorrendo redução com relação à testemunha para a dose de 460,8 g ha⁻¹ de glyphosate de 7,73%, 11,43% e 10,621% (Figura 2.4), respectivamente.

Com o aumento das doses do glyphosate as cultivares Travessia e Catuaí demonstraram aumento exponencial da espessura do parênquima lacunoso (PI). No entanto, observou-se para o cultivar Oeiras, o acréscimo linear na espessura do PI de acordo com as doses de glyphosate aplicadas (Figura 2.5).

6. DISCUSSÃO

A absorção do glyphosate é lenta e ocorre via simplasto no sentido dos fotoassimilados, por esse motivo os primeiros sintomas como clorose, estreitamento foliar e necrose, são percebidos nas zonas de crescimento da planta (Veline et al., 2009).

No presente trabalho, o estreitamento foliar e clorose, também observados por França et al., (2010) ocorreu a partir do sétimo dia após a aplicação do glyphosate. A clorose pode ser explicada por efeitos deletérios, provocados pelo glyphosate, sobre a síntese de ácido aminolevulínico (ALA), um precursor na biossíntese de clorofila, podendo assim, diminuir a concentração da mesma (Nilsson, 1985) e pela degradação da clorofila promovida pelo glyphosate (Meschede et al., 2007b).

Aos 30 dias após a aplicação (DAA), observou-se o surgimento de folhas afiladas, ou seja, com estreitamento do limbo foliar. Não foram evidenciados nas plantas de café sintomas mais severos de intoxicação, como necrose após clorose foliar, murcha foliar, superbrotamento por morte de meristemas apicais e morte das plantas, contudo tais sintomas foram relatados em trabalhos com eucalipto (Tuffi Santos et al., 2006), pêsego (Tuffi Santos et al., 2009) e varjão (*Parkia multijuga*) (Yamashita et al., 2006) submetidos à deriva de glyphosate.

Plantas expostas a maior incidência solar tende a possuir folhas mais estreitas e mais espessas (Paulilo et al., 2001), exatamente como ocorreu com as cultivares Travessia e Oeiras quando submetidas as subdoses de glyphosate.

As plantas quando expostas a baixas doses de glyphosate demonstraram, que houve uma tentativa de reação ao estresse promovido pelo herbicida. Esta reação pode ser evidenciada pelo aumento da espessura foliar total das cultivares Travessia e Oeiras. O afrouxamento celular pode ser associado ao aumento da espessura foliar, também observado por Tuffi Santos et al., (2008) em eucalipto. O afrouxamento celular pode ser provido pela diminuição da concentração do etileno provocada pela interrupção da rota do chiquimato (Cole, 1983), pois, o mesmo é inibidor de divisão celular e da expansão celular (Campos et al., 2009). A diminuição da espessura total, observada na cultivar Catuaí, pode ser associada ao decréscimo da concentração do ácido indol acético (AIA) responsável por alongamento celular, também promovida pela ação do glyphosate (Baur, 1979), como as avaliações foram efetuadas em folhas novas, recém-expandidas, sobre o efeito do glyphosate, as modificações são aparentes.

A compactação das células parenquimáticas e menores espaços intercelulares conferem resistência à planta contra fitopatógenos, devido à maior dificuldade de colonização (Jerba, 2005; Silva et al., 2005; Smith et al., 2006).

Tuffi Santos et al., (2008), não observaram variação na espessura epidérmica e doses de glyphosate em clones de eucalipto. No entanto, foi observado diferença na espessura da epiderme abaxial e adaxial no presente trabalho.

Diferentemente das observadas no presente trabalho variações não significativas foram observadas ao comparar clones de eucalipto submetidos a subdoses de glyphosate com relação a espessura da epiderme (Tuffi Santos et al., 2008).

Tuffi Santos et al., (2009) observaram em três clones diferentes de eucalipto que houve aumento da espessura do parênquima paliçádico, aos 7 dias após a aplicação, quando aplicado a partir da dose de 345,6 g ha⁻¹ de glyphosate. A tolerância das plantas pode ser diferenciada, segundo Dors et al.,(2010) por variação na capacidade de absorção do glyphosate, estado fenológico e devido a diferenças na interceptação e absorção do produto, na sensibilidade da enzima alvo (local de ação) e na capacidade da espécie em se desintoxicar (Reddy et al., 2008; Carvalho et al., 2009). A espessura do parênquima paliçádico (PP) é uma importante característica ligada a proteção contra alta intensidade luminosa, diante da diminuição da espessura pode ocorrer estresse fotossintético, ocasionado por estresse luminoso (Taiz & Zeiger, 2004, Mantuano et al., 2006, Terashima et al., 2006).

No presente trabalho, observou-se que ocorreu com o aumento das doses de glyphosate, diminuição da espessura foliar total para a cultivar Catuaí e aumento para as cultivares Oeiras e Travessia. A diminuição da espessura foliar total pode ser explicada para a

cultivar Catuaí pela diminuição do parênquima paliçádico. No entanto, como as outras duas cultivares obtiveram aumento da espessura total e diminuição para o parênquima paliçádico de acordo com o aumento das doses de glyphosate, o aumento da espessura total das cultivares Oeiras e Travessia pode ser explicado pelo aumento apresentado na espessura do parênquima lacunoso.

Comportamentos diferentes entre as cultivares, como o ocorrido com relação ao parênquima paliçádico é esperado, pois mesmo sendo próximas geneticamente, as três cultivares possuem em sua constituição a presença do cruzamento com a cultivar Caturra, possuem características diferentes como coloração foliar, resistência a doença, largura das folhas e cor do fruto que tornam possíveis a intitulação como cultivares diferentes entre si, sendo os cruzamentos os seguintes: *Catuaí* = Mundo Novo X Caturra; *Travessia* = Catuaí (Mundo Novo X Caturra) X Mundo Novo; *Oeiras* = Caturra X Híbrido do Timor, (Reis et al., 2010).

Existem vários mecanismos de defesa em comum a todas as cultivares de café, que atuam conferindo resistência ao hospedeiro à infecção por patógenos é o estrutural, este podem ser dividido em pré-formado ou constitutivo, ou pós-formado, o qual se origina após o contato patógeno hospedeiro (Pascholati & Leite, 1995; Agrios, 2005). Maior proporção de parênquima paliçádico e menor de parênquima lacunoso é considerada um mecanismo pré-formado, pois aumenta a resistência da planta ao ataque e ao desenvolvimento inicial do patógeno (Smith et al., 2006). No presente trabalho observou-se que a relação se tornou desfavorável à resistência das plantas, pois quanto maior a dose do glyphosate, menor foi a proporção do parênquima paliçádico e maior do parênquima lacunoso. Pedroso & Alves (2008), constataram que plantas sensíveis a ozônio apresentam maior espessura dos tecidos parenquimáticos. O aumento da espessura do parênquima lacunoso é comumente visto em plantas expostas a poluentes aéreos (Sanz et al., 2002b). Estudos para maior elucidação quanto à variação promovida na resistência a patógenos devem ainda ser efetuados com inoculação de agentes patogênicos.

Conclui-se que, quando submetidas a subdoses de glyphosate, as cultivares de café analisadas apresentaram modificações foliares morfoanatômicas. Com o aumento da espessura do parênquima o café fica mais susceptível ao ataque de pragas e patógenos. A redução do parênquima paliçádico proporciona redução da taxa fotossintética e consequente redução do crescimento e produção do café.



Figura 1 – Sintomas de intoxicação de plantas de café submetidas a deriva simulada de glyphosate, aos 30 dias após a aplicação.

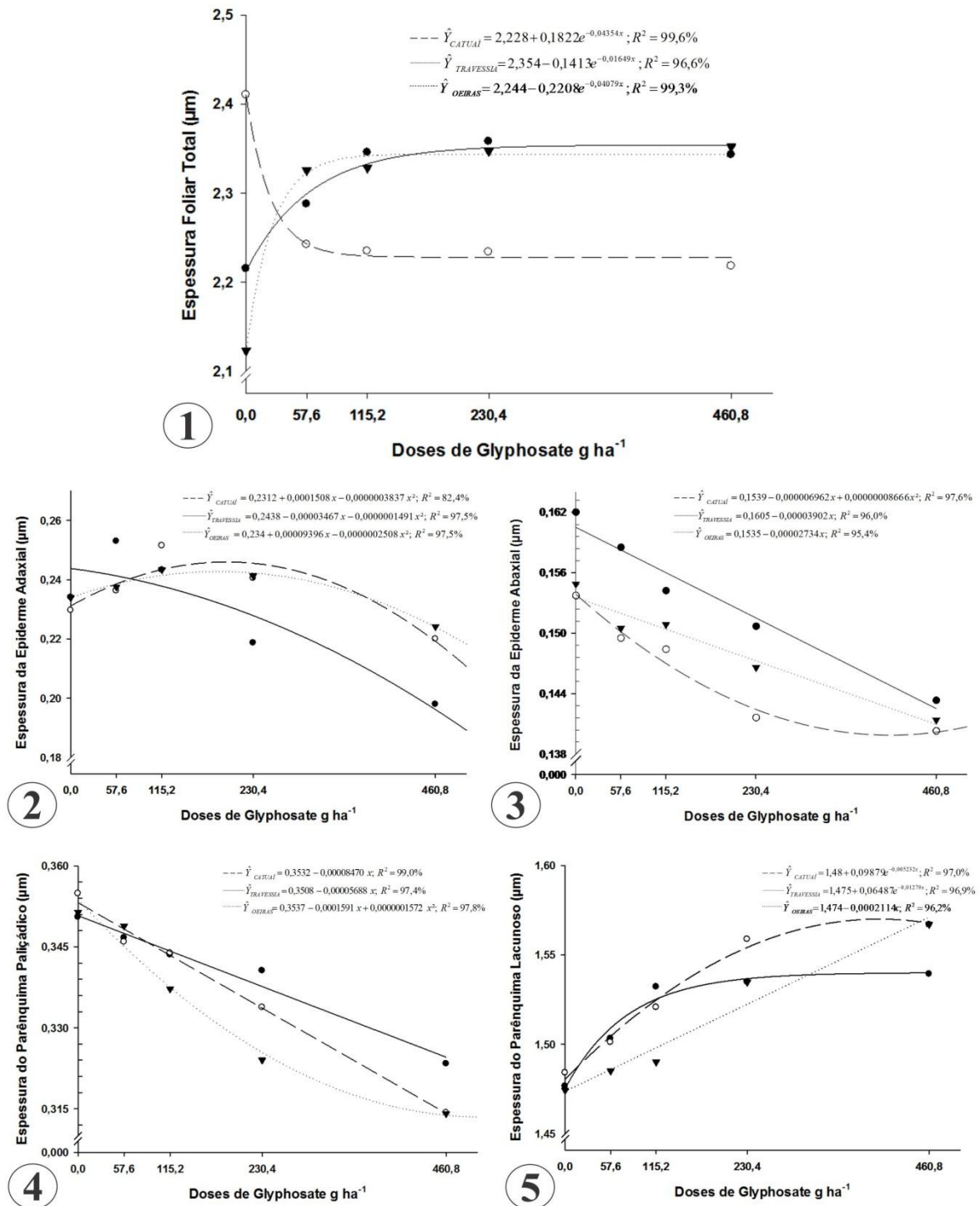


Figura 2 – Espessura foliar de cultivares de café arábica submetidas a deriva simulada de glyphosate, aos 30 dias após a aplicação. 1: Espessura total. 2: espessura da epiderme abaxial. 3: Espessura da epiderme adaxial. 4: Espessura do parênquima paliádico. 5: Espessura do parênquima lacunoso.

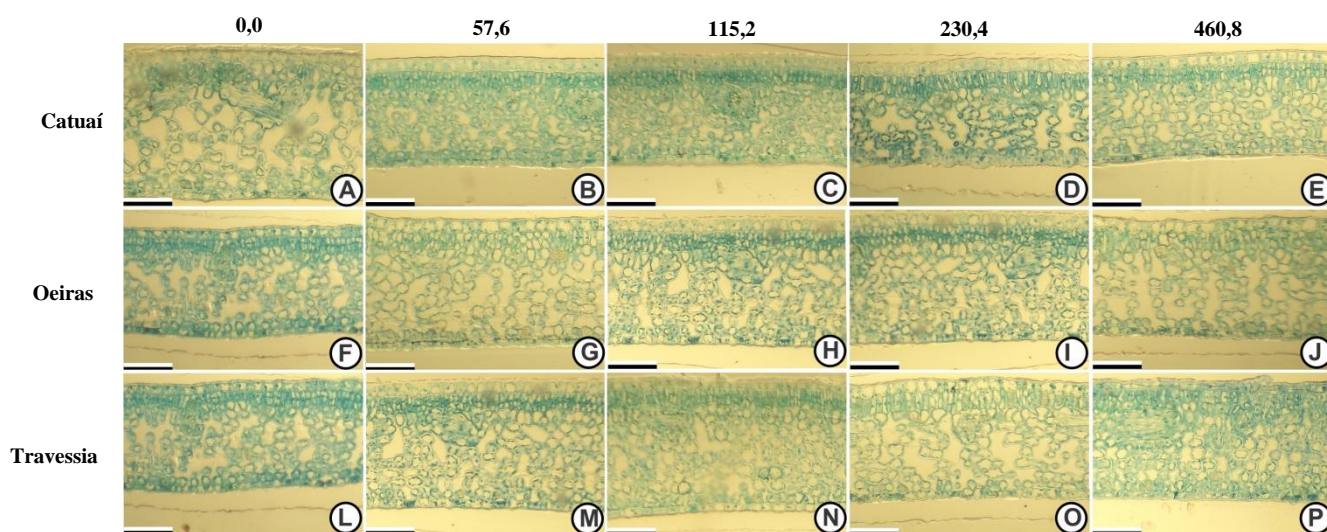


Figura 3 – Espessura foliar de cultivares de café arábica, submetidas a cinco doses de glyphosate (0,0; 57,6; 115,2; 230,4; 460,8 g ha⁻¹), aos 30 dias após a aplicação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIOS, G.N. 2005. *Plant Pathology*. 5 ed. Elsevier academic press, New York, 922p.
- BAUR, J. R. Effect of glyphosate on auxin transport in corn and cotton tissues. **Plant physiology**, v. 63, n. 5, p. 882, 1979.
- BLANCO, H. G.; OLIVEIRA, D. A.; PUPO, E. I. H. Período de competição de uma comunidade natural de mato em uma cultura de café em formação. **Biológico**, v. 48, p. 9-20, 1982.
- CAMPOS, M. F.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Desenvolvimento da parte aérea de plantas de soja em função de reguladores vegetais. **Revista Ceres**, v. 56, n. 01, p. 74-79, 2009.
- 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.
- CHAVES, A. L. F. et al. Ação do flúor dissolvido em chuva simulada sobre a estrutura foliar de *Panicum maximum* Jacq.(colonião) e *Chloris gayana* Kunth.(capim-rhodes)–Poaceae. **Acta Botanica Brasilica**, v. 16, p. 395-406, 2002.
- COLE, D. J. et al. Influence of glyphosate on selected plant process. **Weed Res.**, v. 23, n. 3, p. 173-183, 1983.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso 04 set. 2012.
- DORS, C. A. et al. Susceptibility of *Lolium multiflorum* genotypes to glyphosate. **Planta Daninha**, v. 28, n. 2, p. 401-410, 2010.

FERREIRA, E.A. et al. Potencial competitivo de biótipos de azevém (*Lolium multiflorum*). **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 261-269, 2008.

FIALHO, C.M.T.; SILVA, A.A.; FARIA, A.T.; TORRES, L.G.; ROCHA, P.R.R.; SANTOS, J.B Teor foliar de nutrientes em plantas daninhas e de café cultivadas em competição. **Planta daninha**, v.30, n.1,p. . 2012

FRANÇA, A. C. et al. Crescimento de cultivares de café arábica submetidos a doses do glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 28, n. 3, p. 599-607, 2010a.

FRANÇA, A. C. et al. Teores de nutrientes em cultivares de café arábica submetidos à deriva de glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, V. 28, n. 4, p. 877-885, 2010b.

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.

JERBA, V. F. et al. Relação entre a estrutura foliar de feijoeiro e a pré-infecção por *Glomerella cingulata f.sp. phaseoli* **Pesq. agropec. bras.**, v.40, n.3, p.217-223, mar. 2005.

KRUSE, N. D. et al. Herbicidas inibidores da EPSPS: revisão de literatura. **Revista Brasileira de Herbicidas**. v.1, n.2, p.139–146, 2000.

MANTUANO, Dulce Gilson; BARROS, Cláudia Franca; SCARANO, Fábio Rubio. Leaf anatomy variation within and between three "restinga" populations of *Erythroxylum ovalifolium* Peyr.(Erythroxylaceae) in Southeast Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 29, n. 2, p. 209-215, 2006.

MESCHEDE, D.K. et al. Determinação do teor de lignina e celulose em amostras de *Brachiaria decumbens* submetidas á subdose de glyphosate. In: Simpósio internacional sobre glyphosate, 2007, Botucatu,SP. **Anais...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, 2007b. v.1, p.82-84.

MARANHO, Leila Teresinha et al. Efeitos da poluição por petróleo na estrutura da folha de *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl., Podocarpaceae. **Acta bot. bras**, v. 20, n. 3, p. 615-624, 2006.

NILSSON, G. Interactions between glyphosate and metals essential for plant growth. In: GROSSBARD, E.: ATKISON, D. **The herbicide glyphosate**. London: Butterworths,. v. 4, p.35-47, 1985.

O'BRIEN, T. P. AND M. E. MCCULLY. 1981. The Study of Plant Structure. Principles and Selected Methods. Melbourne, Australia: Termarcarphi. Pp. 6. 14-6 . 18.

PAULILO, MARIA TEREZINHA SILVEIRA. Crescimento inicial de *Euterpe edulis* Mart. em diferentes regimes de luz. **Revta brasil. Bot**, v. 24, n. 2, p. 173-179, 2001.

PASCHOLATI, S. F. et al. Hospedeiro: mecanismos de resistência. **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**, v. 3, p. 417-453, 1995.

PEDROSO, Andrea Nunes Vaz; ALVES, Edenise Segala. Anatomia foliar comparativa das cultivares de *Nicotiana tabacum* L.(Solanaceae) sensível e tolerante ao ozônio. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, p. 21-28, 2008.

PITA-BARBOSA, Alice et al. Efeitos fitotóxicos do fluoreto na morfoanatomia foliar de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf e *Brachiaria decumbens* Stapf (Poaceae). **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, p. 1027-1033, 2009.

PIRES, Marinês Ferreira. Comportamento fisiológico, anatômico e citométrico de *Panicum aquaticum* Poir. expostos a diferentes metais pesados. 2013.

REDDY, K. N. et al. Aminomethylphosphonic acid accumulation in plant species treated with glyphosate. **J. Agric. Food Chem.**, v. 56, p. 2125-2130, 2008.

RODRIGUES, B.N. ; ALMEIDA, F.S. Inter-relações entre a anatomia vegetal e a produção vegetal Guia de Herbicidas. **Acta bot. bras.**, v.19, p.183-194, 2005

RONCHI, C.P.; SILVA. A.A. Tolerância de Muda de Café a Herbicidas Aplicados em Pós-Emergência. **Planta daninha**, vol.21, n.3, 2003.

SANT'ANNA-SANTOS, Bruno Francisco et al. Utilização de parâmetros morfoanatômicos na análise da fitotoxidez do flúor em folhas de *Magnolia ovata* (A. St.-Hil.) Spreng.(Magnoliaceae). **Revista Árvore**, v. 31, p. 761-771, 2007.

SILVA, LC da et al. Flúor em chuva simulada: sintomatologia e efeitos sobre a estrutura foliar e o crescimento de plantas arbóreas. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 23, n. 4, p. 385-393, 2000.

SILVA, Lenir Maristela; ALQUINI, Yedo; CAVALLET, Valdo José. Inter-relações entre a anatomia vegetal ea produção vegetal. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 1, p. 183-194, 2005.

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.

SILVA, M.A.; ARAGÃO, N. C.; BARBOSA, M. A.; JERONIMO, E. M.; CARLIN, S. D. Efeito hormótico de glyphosate no desenvolvimento inicial de cana-de-açúcar *Bragantia*, **Campinas**, v.68, n.4, p.973-978, 2009.

SANZ, M.J., PEÑAS, G.S., CALATAYUD, V., GALLEGU, M.T. & CERVERÓ, J. 2002b. La contaminación atmosférica de los bosques: guía para la identificación de daños visibles causados por ozono. Ministerio Del medio Ambiente, Madrid.

SMITH, A.H.; PINKARD, E.A.; HUNTER, G.C.; WINGFIELD, M.J.; MOHAMMED, C.L. Anatomical variation and defence responses of juvenile *Eucalyptus nitens* leaves to *Mycosphaerella* leaf disease. **Australasian Plant Pathology**, v.35, p. 725-731, 2006.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. 2004. **Fisiologia Vegetal**. 3ª ed. Porto Alegre, Artmed Editora, 2004. 719 p.

TERASHIMA, I et al. Why are sun leaves thicker than shade leaves? Consideration based on analyses of CO₂ diffusion in the leaf. **Journal of Plant Research**, v.114, p. 93-105, 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. 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. 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.

TREZZI, M. M.; KRUIZE, N. D.; VIDAL, R. A. Inibidores de EPSPS. In: VIDAL, R.A.; MEROTTO JR., A.. **Herbicidologia**, 2001. p. 37-45.

VELINI, E. D., MESCHEDÉ, D. K.; CARBONARI, C. A.; TRINDADE, M. L. B. **Glyphosate**. 1. ed. Botucatu: Fepaf, 2009. p. 496.

YAMASHITA, O. M. et al. Resposta de varjão (*Parkia multijuga*) a subdoses de glyphosate. **Planta Daninha**, v. 24, n. 3, p. 527-531, 2006.

ARTIGO CIENTIFICO II

**AVALIAÇÕES BIOQUÍMICAS EM FOLHAS DE CULTIVARES DE CAFÉ
SÚBMETIDAS A DERIVA SIMULADA DE GLYPHOSATE**

***BIOCHEMICAL ASSESMENT IN COFFEE CULTIVARS LEAVES UNDER DRIFT
SIMULATION OF GLYPHOSATE***

1. RESUMO

Para a cultura do café existem apenas dois herbicidas seletivos, o que dificulta a controle das plantas daninhas. No entanto, com a aplicação de herbicidas dessecantes como a glyphosate, efetua-se o controle adequadamente. O glyphosate pode reduzir a formação de compostos responsáveis pela defesa da planta como fenóis, cafeína e flavonóides. Objetivou-se no presente trabalho avaliar os efeitos da deriva simulada de glyphosate sobre a concentração de fenóis totais, flavonóides totais, cafeínas e histolocalizar os fenóis em café arábica. O experimento foi instalado em esquema fatorial (3 x 5), com três cultivares de café MGS Travessia, Oeiras MG 6851 e Catuaí IAC 144, e cinco doses de glyphosate (0,0; 57,6; 115,2; 230,4 e 460,8 g ha⁻¹), em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. Trinta dias após a aplicação, foram coletadas quatro folhas novas que foram mantidas a 5°C até o momento das análises das concentrações de fenóis totais, flavonóides totais e cafeína. Com aumento das doses de glyphosate houve aumento na concentração de fenóis totais foliares até a dose de 115,2 g ha⁻¹ de glyphosate, para as três cultivares, onde acima dessa dose as concentrações de fenóis foram reduzidas. No entanto, com aumento das doses de glyphosate a concentração de flavonóides diminuiu até a dose de 115,2 g ha⁻¹ de glyphosate, para as cultivares Travessia e Oeiras, acima dessa dose a concentração de flavonóides para essas duas cultivares aumentaram. Ocorreu aumento da concentração de flavonóides para a cultivar Catuaí quando aplicado a dose de 115,2 g ha⁻¹ de glyphosate, para doses mais altas ocorreu diminuição da concentração de flavonóides totais. Com aumento das doses de glyphosate, as concentrações de cafeína apresentaram comportamento similar entre as cultivares Oeiras e Catuaí, ocorrendo diminuição da concentração de cafeína até a dose de 115,2 g ha⁻¹ de glyphosate e aumento a concentração de cafeína para doses superiores. Observou-se que houve aumento na concentração de cafeína para cultivar Travessia a partir de 115,2 g ha⁻¹ de glyphosate. De acordo com o teste histoquímico todas as três cultivares estudadas apresentaram maior concentração de fenóis no parênquima paliçádico após a aplicação da deriva de glyphosate. Conclui-se que, quando submetidas a subdoses de glyphosate, as cultivares analisadas apresentaram modificações bioquímicas para as concentrações de fenóis totais, flavonóides totais e cafeína. Com baixas doses 57,6 e 115,2 g/ ha⁻¹ de glyphosate ocorreu aumento da concentração de fenóis totais aumentando assim a capacidade de defesa das cultivares, entretanto com o aumento das doses de glyphosate ocorreu redução da concentração de fenóis totais. A produção de flavonóides e cafeína possuem efeitos variados

para as doses de glyphosate podendo aumentar e diminuir a concentração de forma independente, pois os metabolitos são supridos por outras rotas.

Palavras-Chave: glyphosate, *Coffea arabica*, cafeína, flavonóide, fenóis.

2. ABSTRACT

Controlling weed on coffee crops is difficult because there are only two selective herbicides. However, the application of the desiccant herbicide glyphosate would provide an adequate control considering that it can reduce the formation of defensive compounds such as phenol, caffeine and flavonoids. The present study aimed to evaluate effects of drift simulation of glyphosate on phenolic total concentration, total flavonoids and caffeine in arabica coffee as well as phenol histolocalization. The experiment was arranged in a factorial scheme (3 x 5), with three coffee cultivars (MGS Travessia, Oeiras MG 6851 and Catuaí IAC 144), at five glyphosate rates (0.0; 57.6; 115.2; 230.4 and 460.8 g ha⁻¹), in a randomized block design, with four replicates. Thirty days after application, four new leaves were collected and kept at 5°C until the time to evaluate total phenol concentration, total flavonoids and caffeine. Phenol concentration increased when glyphosate rates were increased up to 115.2 g ha⁻¹ in all three cultivars, showing reduction at higher rates. For Travessia and Oeiras cultivars, the flavonoid concentration decreased at higher glyphosate rates, starting its increase at rates higher than 115.2 g ha⁻¹. For Catuaí, flavonoid concentration increased at 115.2 g ha⁻¹ being reduced with higher rates. Regarding caffeine concentration, it was similar to Oeiras and Catuaí. This concentration decreased at 115.2 g ha⁻¹ and got higher at superior rates. The cultivar Travessia showed higher caffeine concentration at rates higher than 115.2 g ha⁻¹. According to the histochemical tests, all the three cultivars present higher phenol concentration on paladise parenchyma after application of glyphosate drift. It can be conclude that, when submitted to substrates of glyphosate, cultivars shows biochemical modifications to all concentrations evaluated. At 57.6 and 115.2 g ha⁻¹ total phenol increased providing a better capacity of defense to cultivars, however, when increasing these rates, total phenol concentration decreased. Flavonoids and caffeine production have varied effects on glyphosate rates. They can increase or decrease independently because metabolites are fulfilled by other ways.

Key words: glyphosate, *Coffea arabica*, caffeine, flavonoid, phenol.

3. INTRODUÇÃO

A cafeicultura brasileira é historicamente vinculada ao processo de desenvolvimento econômico, social e tecnológico do país. A produção mundial de café na safra de 2011/12 foi de 133,8 milhões de sacas (USDA, safra 2011/12), enquanto que a produção brasileira na mesma safra foi 55,9 milhões de sacas (USDA, safra 2011/12) representando 41,77% da produção mundial, sendo o Brasil o maior produtor e exportador mundial de café. Bliska et al., (2009) mostram que, em longo prazo há tendência de crescimento de produção e produtividade do café no país. Para enfrentar esta conjuntura de forma profissional, competitiva e de fato aumentar a produtividade é de fundamental importância o controle das variáveis que possam diminuir a quantidade e qualidade produtiva dos cafeeiros.

Um dos grandes problemas relacionados com a cafeicultura são as plantas daninhas. No período de implantação da cultura, as inter-relações entre as plantas daninhas e as plantas cultivadas são intensas e negativas para a cultura, destacando-se àquelas relacionadas com a competição por luz, água e nutrientes (Dias et al., 2004). A competição pode afetar as plantas de café alterando a sua altura, o diâmetro do tronco, o número de folhas, e a absorção de nutrientes (Oliveira et al., 2009). A competição com plantas daninhas é um fator extremamente preocupante, pois chega a diminuir a produção em até 65% (Eshetu, 2001), sendo necessário o controle da competição exercida pela planta daninha para diminuir os efeitos negativos sobre a produção.

São vários os métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro, como o controle preventivo, cultural, mecânico, físico, biológico e químico. Entre os métodos de controle, o químico se destaca, pois esse é mais eficiente e mais barato. Atualmente, o glyphosate é um dos herbicidas mais utilizados na agricultura, graças ao controle eficaz que exerce sobre as plantas daninhas, indicado para controle de monocotiledôneas e dicotiledôneas em várias culturas inclusive para o café (Mesquita et al., 2012.). No entanto, existem vários casos de intoxicação ocasionados pela deriva do glyphosate, coqueiro (Procópio et al., 2009), pinhão manso (Costa et al., 2009), pupunha (Ibrahin et al., 2010) e milho (Gomes et al., 2011).

A deriva ocorre por algumas variações ambientais, climáticas ou falhas no uso adequado das tecnologias de aplicação (Costa et al., 2007). O efeito da deriva na cultura está ligado à rota de ação e concentração do herbicida que entra em contato com a planta, no caso do glyphosate ocorre variação na rota do chiquimato. Promovendo variações na concentração dos

metabólitos secundários derivados do chiquimato, ou produção dos mesmos por rotas alternativas como a rota da FAL (fenilalanina amonioliase) (Silva et al., 2009).

As substâncias sintetizadas pelo metabolismo secundário das plantas constituem uma ampla classe de produtos secundários e entre eles podemos citar a cafeína, fenóis e flavonóides (Pascholati e Leite, 1995; Simões e Spitzer, 2004; Agrios, 2005). Esses são responsáveis pela resistência bioquímica a doenças (Taiz & Zeiger, 2004).

Objetivou-se com esse trabalho avaliar os efeitos do glyphosate sobre a produção compostos fenólico totais, flavonoides e cafeína em folhas de café arábica.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), no setor de Cafeicultura, pertencente ao Departamento de Agronomia. Utilizaram-se de três cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.), sendo MGS Travessia, Oeiras MG 6851 e Catuaí IAC 144. As mudas foram produzidas de forma direta em sacos de polietileno e transplantadas quando apresentaram em média seis pares de folhas e dois ramos plagiotrópicos para vasos de 10 L preenchidos por solo peneirado e esterco de curral curtido (3:1). No momento do plantio das mudas aos vasos forneceu-se superfosfato simples, como fonte de P para as plantas (400g/vaso), de acordo com a análise de solo (Tabela 1). Para suplementação de K e N efetuou-se 3 aplicações de cloreto de potássio (10 g/vaso) e sulfato de amônio (2,5 g/vaso), respectivamente a cada 15 dias com início das aplicações 30 dias após o plantio (Guimarães et al., 1999). As plantas de café permaneceram em casa de vegetação recebendo irrigações diárias.

Aos 120 dias após o plantio das mudas nos vasos, quando as plantas apresentavam cerca de 21 pares de folhas desenvolvidas e 6 ramos plagiotrópicos, realizou-se uma aplicação do glyphosate de forma a não atingir o terço superior das plantas de café, utilizando-se pulverizador costal pressurizado, calibrado na pressão de 300 Kpa, munido com uma barra e duas pontas de pulverização tipo leque (TT 11002), espaçadas a 1 metro entre si, proporcionando aplicação de 200L ha⁻¹ de calda. No momento da aplicação aferiu-se a temperatura 26,4⁰C (±1), a umidade relativa do ar a 78% (±3) e velocidade do vento de 1,8 km h⁻¹.

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

Análise granulométrica (dag kg ⁻¹)				
Areia	Silte	Argila	Classe textura	Matéria Orgânica
38	6	56	Argilosa	1,0

Análise química (cmol _c /dm ³)												
pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	m	V	
H ₂ O	...(mg/dm ³)...	(cmol _c /dm ³).....								%.....
6,1	0,7	25	1,7	0,5	0,0	3,7	2,3	2,3	6,0	2	38	

Análises efetuadas no laboratório de fertilidade do solo da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM).

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⁻¹ de glyphosate (sal de isopropilamina), correspondentes a 0,0; 4,0; 8,0; 16,0; e 32,0% da dose comercial recomendada para o controle de plantas daninhas em cafeeiro (1.440g ha⁻¹). A parcela experimental constituía-se de um vaso contendo uma planta.

Aos 30 (DAA) coletaram-se quatro folhas do primeiro nó do último ramo plagiotrópico do cafeeiro, folhas novas (FN), na parte superior da planta que foram mantidas a 5°C até o momento das análises de fenóis totais, flavonóides totais e cafeína. Para as análises histoquímicas de fenóis coletaram-se quatro folhas novas (FN). Quantificaram-se fenólicos totais pelo método de Folin-Ciocauteau, que é muito utilizado por vários autores pela sua simplicidade e rapidez, (Chuah et al., 2008; Lee et al., 1995; Prior et al., 2005; Racchi et al., 2002). Para a análise de flavonóides totais utilizou-se o estrato preparado para a quantificação de fenóis totais realizada em metanol 80% de acordo com (Zhishen et al., 1999), pirocatequina como padrão (mg/100g) e a quantificação foi efetuada por espectrofotometria. Determinou-se a concentração de cafeína de acordo com metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (1985), por espectrofotometria.

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. Efetuou-se análise de regressão para as doses de glyphosate, com escolha dos modelos baseada na sua significância, no fenômeno biológico e no coeficiente de determinação ($R^2 = S.Q. \text{ Reg.}/S.Q. \text{ Trat.}$).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Percebe-se que com o aumento da dose de glyphosate as concentrações de fenóis totais inicialmente aumentaram e depois diminuíram para as três cultivares de café possuindo comportamento sigmoide. Quando comparadas com as testemunhas, observou-se reduções de

22,54%, 21,96% e 12,5%, respectivamente para Travessia, Catuaí e Oeiras na dose de 460,8 g ha⁻¹ de glyphosate (Figura 1). O glyphosate inibe a EPSPs causando bloqueio da síntese de alguns aminoácidos aromáticos e dos fenóis derivados a partir desses. Alguns estudos indicam que o glyphosate pode aumentar a ação da fenilalanina amônia-liase (FAL) ao mesmo tempo em que impede a produção de compostos secundários, não permitindo assim que as concentrações de fenóis decresçam de forma expressiva ou aumente de forma expressiva após a aplicação de baixas doses de glyphosate (Silva et al., 2009). Assim, como variações expressivas nas concentrações de fenóis não foram encontradas no presente estudo, também não foram encontrados em outros (Eker et al., 2006; Moldes et al., 2008; Zobiolo et al., 2010a). A pequena taxa de crescimento nas concentrações de fenóis totais após aplicação das duas primeiras doses de glyphosate 57,6 e 115,2 g ha⁻¹, pode ser compreendida como reação ao estresse químico e à tentativa de aumento da proteção, associado a esse padrão também foram observados nesse trabalho variações anatômicas destinadas ao aumento da proteção da folha contra patógenos.

Observa-se na literatura quando submetida a variados tipos de estresse a planta produz maior contração de fenóis totais, assim como, ocorreu com: plantas de sorgo submetidas a estresse promovido por alumínio (Peixoto et al., 2007), plantas *Aspidosperma spruceanum* Müll. Arg. (Apocynaceae) em contato com galhas de Cecidomyiidae (Formiga et al., 2009), abacaxi por estresse salino (Da Silva et al., 2011) e estresse por radiação ultravioleta em eucalipto (Corniane et al., 2011) entre outros fatores que também promovem estresse e assim aumento da concentração de fenóis totais.

Os fenóis são substâncias que fazem parte do grande grupo que compõem os metabólitos secundários. Eles constituem um grupo muito heterogêneo quimicamente constituído por mais de 10.000 compostos com várias funções. Destacando-se, como principal função a defesa das plantas contra pragas, patógenos e estresse ambiental (Taiz & Zeiger, 2004).

De acordo com a observação do teste histoquímico para fenóis, foi observado maior concentração dos mesmos nos parênquimas paliçádicos em todas as doses (Figura 4). No entanto, para as doses de glyphosate de 57,6 e 115,2 g ha⁻¹, ocorreu aumento da concentração de fenóis no parênquima paliçádico, já para as doses superiores ocorreu redução da concentração de fenóis totais no parênquima paliçádico.

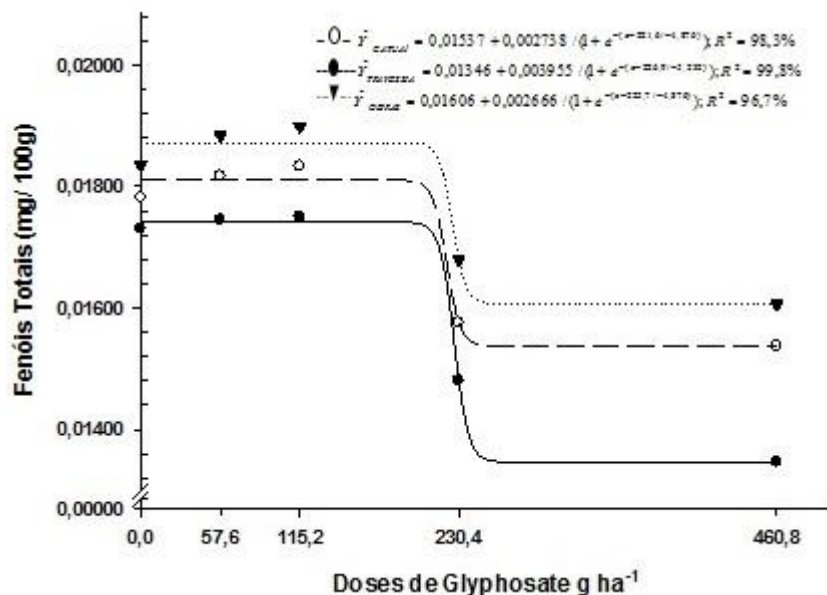


Figura 1 – Concentração de fenóis totais em folhas de três cultivares de café submetidas a diferentes doses de glyphosate aplicado em deriva simulada.

Foram observadas tendências quadráticas de diminuição das concentrações de flavonóides totais de acordo com o aumento das doses de glyphosate para as cultivares Travessia e Oeiras, com posterior aumento das mesmas, após as doses de 124,07 e 157,50 g ha⁻¹ de glyphosate, respectivamente (Figura 2). Já para a cultivar Catuaí, observou-se aumento das concentrações de flavonóides totais e posterior diminuição da mesma, a partir da dose de 252,91 g ha⁻¹ de glyphosate. Quando comparado às concentrações de flavonóides após a aplicação de 460,8 g ha⁻¹ de glyphosate com as testemunhas, foi observado acréscimo de 5,67%, 0,28% e 4,47%, respectivamente para as cultivares Travessia, Catuaí e Oeiras. O aumento da concentração de flavonóides para as doses iniciais de glyphosate da cultivar Catuaí, foi praticamente anulado pelo decréscimo posterior a aplicação de doses superiores de glyphosate.

Os flavonóides situados nas folhas, caules e flores, possuem função de proteção das células contra os raios UV-B (280-320 nm), que são intensamente absorvidos por eles, no entanto eles deixam passar a luz no comprimento fotossinteticamente ativo o comprimento visível (400-700 nm) (Taiz & Zeiger, 2004). Os flavonóides são compostos fenólicos produzidos a partir da fenilalanina um aminoácido produzido pela rota do chiquimato, exatamente a rota interrompida pela ação do glyphosate. A Siqueira et al., (1991), sugeriram que quando submetidas a doses de glyphosate ocorre maior produção de flavonoides, assim como ocorreu para duas cultivares do presente estudo a Travessia e Oeiras.

As variações no fluxo de gases pelos estômatos (U - mmol s^{-1}), a atividade fotossintética (A - $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a condutância estomática (G_s - $\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$), a transpiração (E - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e a eficiência do uso da água (QUE - $\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$) provocadas por doses baixas de glyphosate demonstraram possuir influência direta sobre a fotossíntese, comprovadas por Machado et al., (2010) em plantas de eucalipto. Cedergreen e Olesen (2010), observaram aumento da taxa fotossintética quando aplicado glyphosate em baixas doses. Estas variações fotossintéticas associadas ao aumento das concentrações de flavonóides observadas no presente estudo podem representar efeito hormese quanto à produção vegetal e defesa a raios UV-B, para as cultivares Travessia e Oeiras. Observou-se para a cultivar Catuaí, comportamento de acréscimo quadrático para as concentrações de flavonoides totais, de acordo com o aumento das doses de glyphosate e posterior tendência a estabilização da concentração da mesma. No entanto, um dos efeitos indiretos na fotossíntese provocados pela ação do glyphosate é a diminuição das concentrações de clorofila (Tan et al., 2006) efeito também observado no presente estudo (Artigo 3), e se associado a diminuição das concentrações de flavonóides, observadas no presente trabalho para as duas menores doses (57,6 e 115,2 g ha^{-1} de glyphosate) para as cultivares Oeiras e Travessia, pode resultar em aumento das chances de a plantas apresentar estresse luminoso.

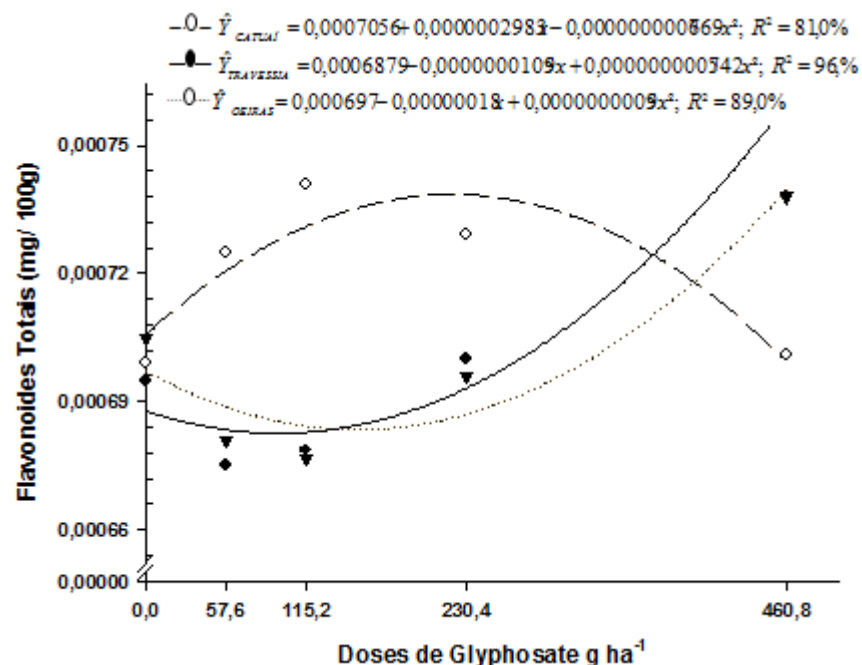


Figura 2 – Concentração de flavonóides totais em folhas de três cultivares de café submetidas a diferentes doses de glyphosate aplicado em deriva simulada.

Quando aplicadas doses mais altas de glyphosate ocorreu decréscimo das concentrações de cafeína nas folhas das cultivares Oeiras e Catuaí até as doses de 230,4 g ha⁻¹ de glyphosate, com posterior aumento das concentrações de cafeína para doses superiores de glyphosate. A cultivar Travessia demonstrou aumento da concentração de cafeína até a dose de 230,4 g ha⁻¹ de glyphosate, com posterior tendência de estabilidade das concentrações da mesma. Se comparada as concentrações de cafeína após a aplicação de 460,8 g ha⁻¹ de glyphosate com as testemunhas, foi observado acréscimo de 4,6% para a cultivar Travessia e decréscimo de 1,56% e 1,5% para as cultivares Catuaí e Oeiras.

A cafeína é um alcalóide do tipo purina, contem um anel heterocíclico, é constituinte do grande grupo de metabólitos secundários, produzido a partir de aminoácidos aromáticos e alifáticos, sendo os aminoácidos aromáticos formados através da rota do chiquimato (Taiz & Zeiger, 2004).

Conclui-se que, quando submetidas a subdoses de glyphosate, as cultivares analisadas apresentaram modificações bioquímicas para as concentrações de fenóis totais, flavonóides totais e cafeína. Com baixas doses 57,6 e 115,2 g/ ha⁻¹ de glyphosate ocorreu aumento da concentração de fenóis totais aumentando assim a capacidade de defesa das cultivares, entretanto com o aumento das doses de glyphosate ocorreu redução da concentração de fenóis totais. A produção de flavonóides e cafeína possuem efeitos variados para as doses de glyphosate podendo aumentar e diminuir a concentração de forma independente, pois os metabolitos podem ser supridos por outras rotas.

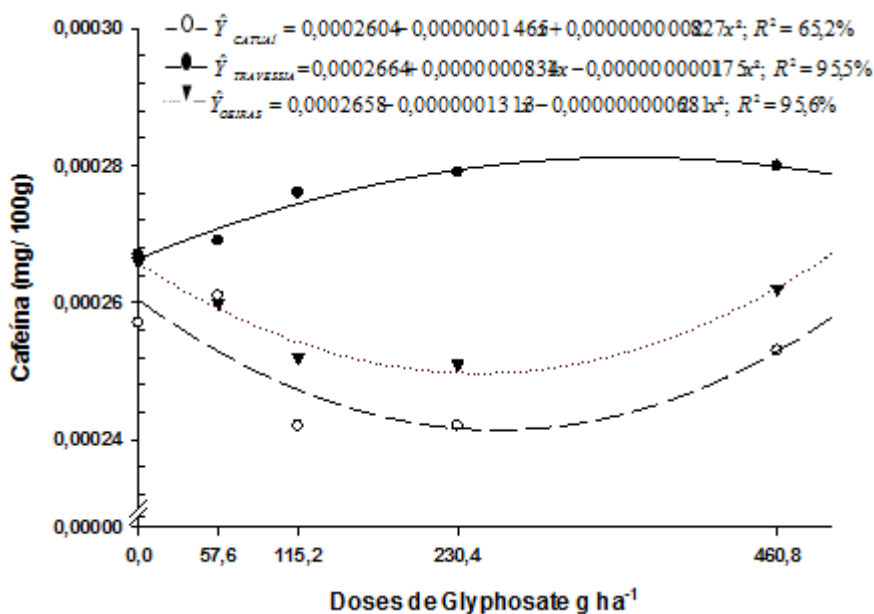


Figura 3 – Concentração de cafeína total em folhas de três cultivares de café submetidas a diferentes doses de glyphosate aplicado em deriva simulada.

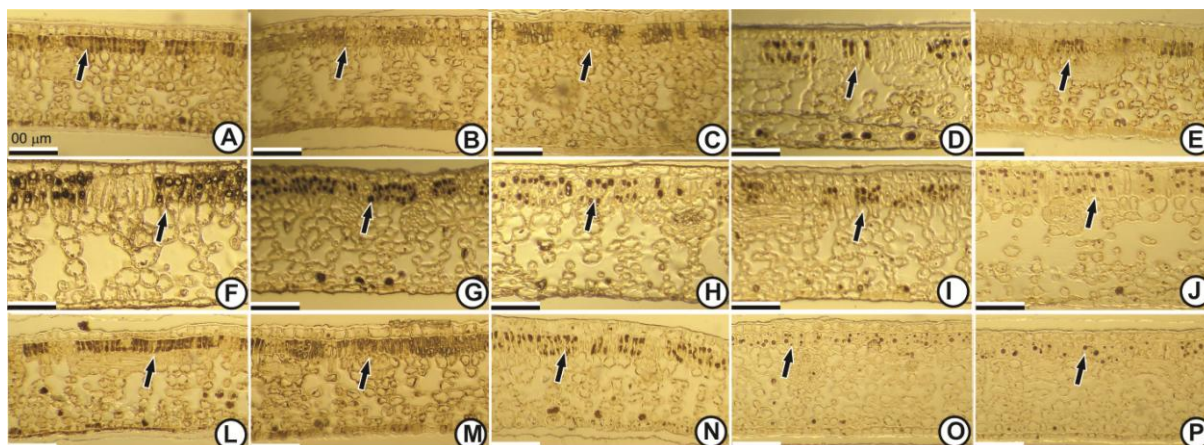


Figura 4 – Teste histoquímico para fenóis em corte transversal de folha da cultivar Catuai submetidas a cinco doses de glyphosate: A ($0,0 \text{ g ha}^{-1}$), B ($57,6 \text{ g ha}^{-1}$), C ($115,2 \text{ g ha}^{-1}$), D ($230,4 \text{ g ha}^{-1}$) e E ($460,8 \text{ g ha}^{-1}$). Abreviaturas: Pp: Parênquima paliçádico, Pl: Parênquima lacunoso.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIOS, G.N. 1988. **Plant Pathology**. San Diego, Academic Press.
- AGRIOS, G.N. 1997. **Plant Pathology**. 4 ed. USA, Academic Press.
- AMARANTE JR., O. P.; SANTOS, T. C. R.; BRITO, N. M.; RIBEIRO, M. L.; **GLIFOSATO: PROPRIEDADES, TOXICIDADE, USOS E LEGISLAÇÃO** *Quim.Nova* 2002, 25, 589.
- 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.
- BLISKA, F. M. M. et al. Dinâmica fitotécnica e socioeconômica da cafeicultura brasileira. **Informações Econômicas**, São Paulo: **Instituto de Economia Agrícola**, v.39, n.1, jan. 2009, p. 15-18.
- CEDERGREEN, N.; OLESEN, C.F. Can glyphosate stimulate photosynthesis? **Pest. Biochem. Physiol.**, v.96, n.3, p.140-148, 2010.
- 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.
- 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.
- CORNIANI, NATÁLIA. **Relação entre estresse de radiação ultravioleta-B e óxido nítrico em plantas de eucalipto**. 2009. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA.

DA SILVA MENDES, Bruna Santana et al. Mecanismo fisiológicos e bioquímicos do abacaxi ornamental sob estresse salino. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 71-77, 2011.

DIAS, T. C. S.; ALVES, P. L. C. A.; LEMES, L. N. Períodos de interferência de *Commelina benghalensis* na cultura do café recém-plantada. *Planta Daninha*, v. 23, n. 3, p. 398- 404, 2005.

DOS SANTOS MALTY, Juliano; SIQUEIRA, José Oswaldo; DE SOUZA MOREIRA, Fátima Maria. Efeitos do glifosato sobre microrganismos simbiotróficos de soja, em meio de cultura e casa de vegetação. **Pesq. agropec. bras., Brasília**, v. 41, n. 2, p. 285-291, 2006.

EKER, S.; OZTURK, L.; YAZICI, A.; ERENOGLU, B.; ROMHELD, V.; CAKMAK, I. *Foliar-applied glyphosate substantially reduced uptake and transport of iron and manganese in sunflower (Helianthus annuus L.) plants*. **J. Agric. Food Chem.**, v. 54, p.10019-10025, 2006.

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

FORMIGA, Anete Teixeira et al. Relações entre o teor de fenóis totais eo ciclo das galhas de Cecidomyiidae em *Aspidosperma spruceanum* Müll. Arg.(Apocynaceae). **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, n. 1, p. 93-99, 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.

HETHERINGTON, P. et al. The absorption, translocation and distribution of the herbicide glyphosate in maize expressing the CP-4 transgene. *J. Exp. Bot.*, v. 50, p. 1567-1576, 1998.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3.ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1985. v.1, p. 190-192.

KRAUS, J.P. & ARDUIN, M. 1997. Manual básico de métodos em morfologia vegetal. EDUR, São Paulo, Seropédica. 198p.

LEE SE, HWANG HJ, HA JS, JEONG HS, JEONG HK 2003. Screening medicinal plant extracts for antioxidant activity. **Life Sci** , 73: 167-179.

LEE, H.S.J.; LÜTTGE, U.; MEDINA, E.; SMITH, J.A.C.; CRAM, W.J.; DIAZ , M.; GRIFFITHS, H.; POPP, M.; SCHÄFER, C.; STIMMEL, K-H. & THONKE, B. 1989. Ecophysiology of xerophytic and halophytic vegetation of a coastal alluvial plain in northern Venezuela III – *Bromeliahumilis*Jacq.a terrestrial CAM bromeliad. **New Phytologist**, 111: 253- 271.

LUTZ, A.; **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, 1985; p 21.

MACHADO, A. F. L. et al. Photosynthetic efficiency and water use in eucalyptus plants sprayed with glyphosate. **Planta Daninha**, v. 28, n. 2, p. 319-327, 2010.

MACHADO, A.F.L.; FERREIRA, L.R.; SANTOS, L.D.T.; FERREIRA, F.A.; VIANA, R.G.; MACHADO, M.S.; FREITAS, F.C.L. Eficiência fotossintética e uso da água em plantas de eucalipto pulverizadas com glyphosate. **Planta Daninha**, v.28, n.2, p.319-327, 2010.

MENTZ LA, PETROVICK PR (Org.). **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 5.ed. Porto Alegre/ Florianópolis: Editora da UFRGS / Editora da UFSC, cap. 18, p. 475.

MESQUITA, HÉLIDA CAMPOS DE; RODRIGUES, ANA PAULA; MENDONÇA JÚNIOR, ANTONIO FRANCISCO DE. Riscos toxicológicos do herbicida glyphosate. **Agropecuária científica no semiárido**, v. 7, n. 2, p. 01-05, 2012.

MOLDES, C. A.; MEDICI, L. O.; ABRAHÃO, O. S.; TSAI, S. M.; AZEVEDO, R. A. *Biochemical responses of glyphosate resistant and susceptible soybean plants exposed to glyphosate*. **Acta Physiol Plant**. 30. 469-479. 2008.

OLIVEIRA, A.R.; FREITAS, S.P.; VIEIRA, H.D. Controle de *Commelina benghalensis*, *C. erecta* e *Tripogandra diuretica* na cultura do café. **Planta Daninha** vol.27, n.4, pp. 823-830, 2009.

PASCHOLATI, S.F. & LEITE, B. 1995. Hospedeiro: mecanismos de resistência. Pp. 417-453. In: A. Bergamini- ilho; H. Kimati & L. Amorim. **Manual de Fitopatologia**. v.I. Princípios e Conceitos, 3 ed. São Paulo, **Agronômica Ceres** Ltda.

PEIXOTO, Paulo Henrique Pereira; PIMENTA, Daniel Sales; CAMBRAIA, José. Alterações morfológicas e acúmulo de compostos fenólicos em plantas de sorgo sob estresse de alumínio. **Bragantia**, v. 66, n. 1, p. 6, 2007.

SANTOS, B. M. et al. Effects of sublethal glyphosate rates on fresh market tomato. **Crop Prot.**, v. 26, n. 2, p. 89–91, 2007.

SANTOS, L. D. T. et al. Crescimento e concentração de nutrientes na parte aérea de eucalipto sob efeito da deriva do glyphosate. **R. Cerne**, v. 13, n. 4, p. 347-352, 2007.

SILVA, M. A.; ARAGÃO, N. C.; BARBOSA, M. A.; JERONIMO, E. M.; CARLIN, S. D. Efeito hormótico de glyphosate no desenvolvimento inicial de cana-de-açúcar **Bragantia**, Campinas, v.68, n.4, p.973-978, 2009.

SILVA, M.A.; ARAGÃO, N. C.; BARBOSA, M. A.; JERONIMO, E. M.; CARLIN, S. D. Efeito hormótico de glyphosate no desenvolvimento inicial de cana-de-açúcar **Bragantia**, **Campinas**, v.68, n.4, p.973-978, 2009.

SIMÕES CMO, SPITZER V 2004. Óleos Voláteis. In: Simões CMO, Schenkel EP; Gosmann G, Mello JCP de.

TAN, S., EVANS, R., SINGH, B. *Herbicidal inhibitors of amino acid biosynthesis and herbicide-tolerant crops*. **Amino Acids**. 30. 195-204. 2006.

VELINI, E. D.; ALVES, E.; GODOY, M. C.; MESCHEDÉ, D.; SOUZA, R. T.; DUKE, S. O. *Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth*. **Pest Manag Sci**. 64. 489-496. 2008.

ZHISHEN, J.; MENGCHENG, T.; JLANMING, 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and the scavenging effects on superoxide radicals. **Food Chemistry** 64: 555-559.

ZOBIOLE, L. H. S.; OLIVEIRA JR, R. S.; HUBER, D. M.; CONSTANTIN, J.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA JR., A. *Glyphosate reduces shoot concentrations of mineral nutrients in glyphosate-resistant soybeans.* **Plant Soil.** 328. 57-69. 2010a.

ARTIGO CIENTIFICO III

CARACRISTICAS FISIOLÓGICAS DE CULTIVARES DE CAFÉ SUBMETIDAS A
DERIVA SIMULADA DE GLYPHOSATE

*PHYSIOLOGICAL EVALUATIONS ON COFFEE CULTIVARS LEAVES UNDER DRIFT
SIMULATION OF GLYPHOSATE*

1. RESUMO

O glyphosate é um herbicida eficiente que mata a planta lentamente por redução da taxa metabólica. Em casos de deriva de subdoses do glyphosate pode ocorrer modificações na fotossíntese, diminuindo assim o crescimento e produção da planta. Objetivou-se avaliar variações fisiológicas relacionadas à fluorescência, concentração de clorofila e estômatos de três cultivares de cafeeiro submetidas às subdoses de glyphosate. O experimento foi instalado em esquema fatorial (3 x 5), com três cultivares de café (*Coffea arabica* L.), sendo eles MGS Travessia, Oeiras MG 6851 e Catuaí IAC 144 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⁻¹ de glyphosate. Aos 30 dias após a aplicação do glyphosate (DAA), mensuraram-se com o uso do medidor eletrônico de teor de clorofila em quatro folhas novas (FN), as concentrações de clorofila *a*, *b* e total. Utilizando-se de um fluorômetro avaliou-se a fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m) e eficiência fotoquímica máxima (F_v/F_m) das plantas. No mesmo dia das avaliações fisiológicas coletou-se a impressão epidérmica de quatro FN, colando a parte adaxial da folha do cafeeiro em lâminas com cianoacrilato de etila, para avaliar-se em microscópio número de estômatos, número das demais células epidérmicas, índice estomático e densidade estomática. Os valores da variável (F_m) decresceram de acordo com o aumento das doses de glyphosate, a cultivar Travessia apresentou maior decréscimo que as demais cultivares. Para (F_v/F_m) ocorreu com o aumento do estresse de acordo com o aumento das doses aplicadas do glyphosate. As concentrações de clorofila *a*, *b* e total sofreram decréscimo de acordo com o aumento das doses aplicadas de glyphosate, para a clorofila *a* o decréscimo foi mais acentuado. Para as variáveis, índice estomático e densidade estomática, ocorreu um decréscimo de valores de acordo com o aumento da dose aplicada de glyphosate. A cultivar Travessia apresentou maior diminuição para o índice estomático e densidade estomática. Conclui-se que as subdoses de glyphosate provocaram danos na fotossíntese de forma direta, pois, ocorreu diminuição das concentrações das clorofilas e da intensidade da fluorescência máxima, promovendo, assim, maior estresse nas cultivares de café. A diminuição do número de estômatos é mais uma das prováveis explicações para a influência na fotossíntese promovida pelo glyphosate.

Palavras-Chave: glyphosate, *Coffea arabica*, fluorescência, estômatos, clorofila.

2. ABSTRACT

Glyphosate is an effective herbicide that dies out the plant by reducing its metabolic rate. In case of glyphosate drifts, modifications on photosynthesis may occur causing a reduction on growth and production of plants. This study aimed to evaluate physiological variation related to fluorescence, chlorophylls concentration and stomata of three coffee cultivars under substrates of glyphosate. The experiment was arranged in a factorial scheme (3 x 5), with three coffee cultivars (MGS Travessia, Oeiras MG 6851 and Catuaí IAC 144), at five glyphosate rates (0.0; 57.6; 115.2; 230.4 and 460.8 g ha⁻¹), in a randomized block design, with four replicates. At the thirtieth Day after application, an electronic tool was used to measure, in four leaves, *a*, *b* and total chlorophyll concentration. Initial fluorescence (F_0), maximum fluorescence (F_m) and maximum photochemical efficiency (F_v/F_m) were evaluated by using a fluorometer. At the same day, the epidermal impression was acquired in order to evaluate number of stomata, number of other epidermal cells, stomatal index and stomatal density. Values of maximum fluorescence decreased with higher glyphosate rates, and Travessia cultivar presented highest decrease. Chlorophyll concentrations *a*, *b* and total decreased according to rates increase, being harder to chlorophyll *a*. Values of stomatal index and stomatal density decreased when increasing glyphosate rate, being harder to cultivar Travessia. It can be concluded that substrates of glyphosate cause damage on photosynthesis because of the reduction on chlorophyll concentration and fluorescence intensity. Reduction of stomata number is also one of the features that can explain the influence promoted by glyphosate on photosynthesis.

Key words: glyphosate, *Coffea arabica*, fluorescence, stomata, chlorophyll.

3. INTRODUÇÃO

A cafeicultura no Brasil gerou um acréscimo econômico de notória relevância ao longo de sua história, possibilitando ao país, o destaque de maior produtor de café do mundo. A produção mundial na safra de 2011/12 foi 133,8 milhões de sacas (USDA, safra 2011/12) e a produção brasileira de café arábica 55,9 milhões de sacas, no entanto a produção brasileira poderia ser aumentada em mais de 55%, se o produtor conseguisse a máxima expressão produtiva das variedades (USDA, 2012). A produtividade brasileira atual de 24,18 sacas/ ha passaria para 55,00 sacas/ ha assim como a mineira passaria de 26,20 sacas/ ha para 55,00 sacas/ ha, para o produtor o aumento da lucratividade por área seria enorme, como também para o meio ambiente, pois, menos áreas seriam desmatadas para o aumento da produção.

Ainda existem vários entraves produtivos, diante da produtividade atual, pode-se perceber que apesar da evolução mundial da cafeicultura brasileira com destaque para a melhoria de qualidade e aumento da produção. A diminuição da produtividade inicia-se com a descapitalização dos cafeicultores, gestão deficiente das propriedades rurais, chegando a muitas falhas técnicas, como adubação incorreta, poda em momento errado ou tipo de poda errada, controle de pragas e doenças indevidas, com destaque para o controle de plantas daninhas ineficiente que pode levar a perda de até 65% da produção (Eshetu, 2001).

Na fase inicial de crescimento do cafeeiro a capacidade competitiva por nutrientes, luz e água comparada a das plantas daninhas é inferior (Toledo et al., 1996; Ronchi et al., 2003; Dias et al., 2004), para evitar o decréscimo no crescimento do café recomenda-se o controle das mesmas na linha de plantio (Ronchi e Silva, 2006; Silva e Ronchi, 2004). O uso de herbicidas tem aumentado a eficiência do controle das plantas daninhas, pois além de possuir baixo custo é menos dependente de mão de obra. No entanto, existem poucos produtos registrados para a cultura do cafeeiro, mas as facilidades do uso de produtos dessecantes têm aumentado o uso dos mesmos, mantendo a eficiência do controle químico, com destaque para o uso do glyphosate.

A enzima enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs) é inibida pelo glyphosate, impedindo diretamente a síntese de três aminoácidos aromáticos triptofano, tirosina e fenilalanina, que são precursores de outras substâncias, como alcalóides, flavonóides e lignina (Amarante-Júnior et al., 2002). As plantas tratadas com glyphosate morrem lentamente, em poucos dias ou semanas, e devido ao seu transporte por todo o sistema, nenhuma parte da planta sobrevive (Veline et al., 2009).

As consequências visuais promovidas pela deriva de glyphosate são facilmente observadas como clorose e estreitamento foliar (França et al., 2010a). Segundo Meschede et al., (2007b), o glyphosate resulta na degradação da clorofila, causando amarelecimento das folhas. Nilsson (1985) argumentou que há evidências de efeitos detrimenais causados pelo glyphosate sobre a síntese de ácido aminolevulínico (ALA), um precursor na biossíntese de clorofila, podendo assim diminuir as taxas fotossintéticas.

Os estômatos são responsáveis pela transpiração e pelo controle das trocas gasosas com o meio ambiente, influenciando diretamente a fotossíntese e conseqüentemente a produtividade vegetal como ressalta Silva et al., (2004). De acordo com Hess & Falk, (1990) e Schreiber, (2005) o número de estômatos podem influenciar a absorção do glyphosate e o número de células epidérmicas para Tuffi Santos et al., (2006) pode ser correlacionado a taxa de intoxicação por glyphosate.

Diante do exposto percebe-se que existe a necessidade de estudos para melhor entender a ação da deriva simulada do glyphosate aplicado em três cultivares de café. Objetivou-se avaliar modificações fisiológicas relacionadas à fluorescência, concentração de clorofila e estômatos de três cultivares de cafeeiro submetidas à subdoses de glyphosate.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), no setor de Cafeicultura, pertencente ao Departamento de Agronomia. Utilizaram-se de três cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.), sendo MGS Travessia, Oeiras MG 6851 e Catuaí IAC 144. As mudas foram produzidas de forma direta em sacos de polietileno e transplantadas quando apresentaram em média seis pares de folhas e dois ramos plagiotrópicos para vasos de 10 L preenchidos por solo peneirado e esterco de curral curtido (3:1). No momento do plantio das mudas aos vasos forneceu-se superfosfato simples, como fonte de P para as plantas (400g/vaso), de acordo com a análise de solo (Tabela 1). Para suplementação de K e N efetuou-se 3 aplicações de cloreto de potássio (10 g/vaso) e sulfato de amônio (2,5 g/vaso), respectivamente a cada 15 dias com início das aplicações 30 dias após o plantio (Guimarães et al., 1999). As plantas de café permaneceram em casa de vegetação recebendo irrigações diárias.

Aos 120 dias após o plantio das mudas nos vasos, quando as plantas apresentavam cerca de 21 pares de folhas desenvolvidas e 6 ramos plagiotrópicos, realizou-se uma aplicação do glyphosate de forma a não atingir o terço superior das plantas de café, utilizando-se

pulverizador costal pressurizado, calibrado na pressão de 300 Kpa, munido com uma barra e duas pontas de pulverização tipo leque (TT 11002), espaçadas a 1 metro entre si, proporcionando aplicação de 200L ha⁻¹ de calda. No momento da aplicação aferiu-se a temperatura 26,4⁰C (±1), a umidade relativa do ar a 78% (±3) e velocidade do vento de 1,8 km h⁻¹.

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

Análise granulométrica (dag kg ⁻¹)												
Areia	Silte			Argila			Classe textura	Matéria Orgânica				
38	6			56			Argilosa	1,0				
Análise química (cmol _c /dm ³)												
pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	m	V	
H ₂ O	...(mg/dm ³)...	(cmol _c /dm ³).....								%.....
6,1	0,7	25	1,7	0,5	0,0	3,7	2,3	2,3	6,0	2	38	

Análises efetuadas no laboratório de fertilidade do solo da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM).

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⁻¹ de glyphosate (sal de isopropilamina), correspondentes a 0,0; 4,0; 8,0; 16,0; e 32,0% da dose comercial recomendada para o controle de plantas daninhas em cafeeiro (1.440g ha⁻¹). A parcela experimental constituía-se de um vaso contendo uma planta.

Aos 30 dias após a aplicação do glyphosate (DAA), mensuraram-se com o uso do medidor Eletrônico de Teor de Clorofila (ClorofiLOG CFL1030) em quatro folhas novas (FN) os teores de clorofila *a*, *b* e total, e com o fluorômetro avaliou-se fluorescência inicial (F₀), fluorescência máxima (F_m) e eficiência fotoquímica máxima (F_v/F_m), sendo que F_v= F_m - F₀. Nesses mesmos dias coletaram-se quatro FN e efetuou-se a impressão epidérmica, colando a parte adaxial da folha do cafeeiro com cianoacrilato de etila em lâminas (Segatto et al., 2004). As análises foram realizadas em imagens digitais, obtidas com câmera acoplada ao microscópio óptico. Para as medidas dos caracteres funcionais foi utilizado o programa de análise de imagens *Anati Quant 2.0*. O índice estomático (Si) foi calculado com a utilização da seguinte fórmula: Si (%)= [Sn/(Sn+Em)]x 100, sendo Sn o número de estômatos e Em o número das demais células da epiderme (Cutter, 1986). A densidade foi calculada de acordo com o número de estômatos por mm² de área foliar do cafeeiro.

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.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cultivar Travessia apresentou tendência exponencial com fluorescência inicial altamente alterada pelas doses iniciais 57,6 e 115,2 g ha⁻¹ de glyphosate e posterior estabilização para maiores doses. Quando comparadas com as testemunhas, as cultivares Travessia, Catuaí e Oeiras, apresentaram redução de 53,27%, 17,82% e 11,83% respectivamente, para a dose de 460,8 g ha⁻¹ de glyphosate.

A fluorescência inicial (F₀) é a energia liberada pelas moléculas de clorofila *a* da antena do fotossistema II, antes dos elétrons migrarem para o centro de reação P 680 (PSII) (Mathis & Pallotin, 1981). As cultivares Oeiras e Catuaí sofreram redução com tendência quadrática na fluorescência inicial (F₀) de acordo com o aumento das doses aplicadas de glyphosate.

Um dos principais sintomas visuais presentes após a aplicação de glyphosate é clorose de folhas novas, a clorose pode ser promovida por deficiência nutricional e diminuição no teor da clorofila (França, 2010b; Zobiolo et al., 2011). A diminuição do teor de clorofila pode ser um dos motivos que expliquem a diminuição da fluorescência inicial das três cultivar de café.

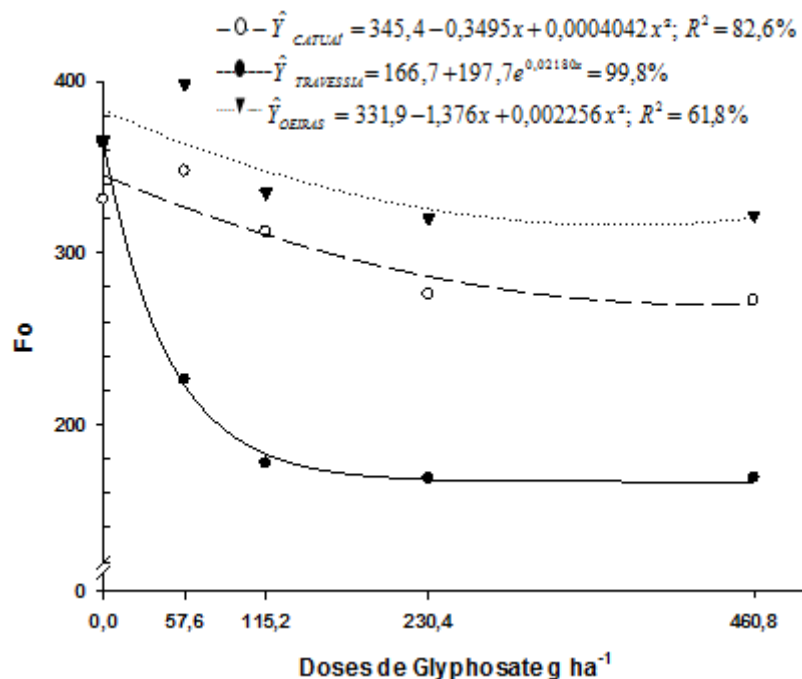


Figura 1 – Fluorescência inicial de plantas café submetidas a diferentes doses de glyphosate em deriva simulada.

Verificou-se que para fluorescência máxima (F_m), obteve comportamento linear decrescente proporcional ao aumento das subdoses de glyphosate aplicadas, para as cultivares Travessia e Catuaí. No entanto, a cultivar Oeiras, obteve comportamento quadrático negativo com posterior estabilização, após a dose de 397,65 g ha⁻¹ de glyphosate. As cultivares Oeiras e Catuaí obtiveram taxa de fluorescência máxima superiores a cultivar Travessia. Se comparadas com a testemunha a redução da fluorescência máxima foi de 53,57%, 17,82% e 11,83%, respectivamente para as cultivares Travessia, Catuaí e Oeiras. A queda da F_m pode ser explicada pela variação na concentração de clorofila (Figura 4). Existem indícios que a ação do glyphosate pode diminuir a produção de ácido aminolevulínico (ALA), precursor da clorofila (Nilsson, 1985). Reddy et al., (2004) afirma que os danos na produção de clorofila possuem ação direta na diminuição da fotossíntese, podendo assim diminuir também a fluorescência máxima.

A energia liberada pelos elétrons, quando transferidos para moléculas no processo da fotossíntese, e posteriormente para a quinona receptora primária estável de elétrons no PSII, pode dar continuidade ao processo produtivo da fotossíntese e produzir NADPH e ATP, ou pode também ocorrer por presença de bloqueadores do fluxo eletrônico, ou falta de demanda da produção de NADPH ou ATP, a liberação dessa energia e ocorre por fluorescência e calor (Mathis & Pallotin, 1981; Baker, 2008; Vieira et al., 2010). Aplicando um flash de luz logo após a adaptação ao escuro por 30 minutos ou mais, circunstância que os centros de reações se encontram inativos, e a quinona se encontra oxidada, obtém-se a fluorescência máxima F_m (Vieira et al., 2010).

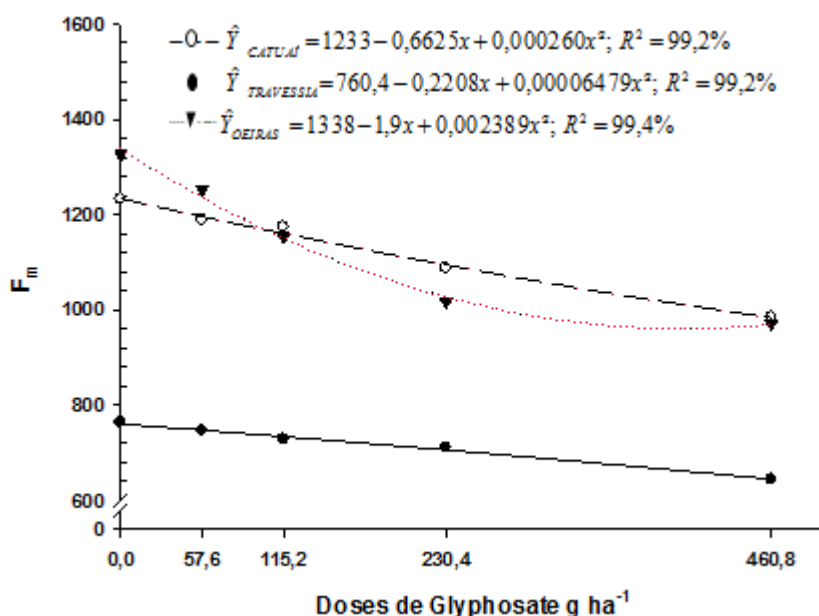


Figura 2 – Fluorescência máxima de plantas café submetidas a diferentes doses de glyphosate em deriva simulada.

Observou-se comportamento quadrático negativo para a eficiência fotoquímica máxima (F_v/F_m) de acordo com o aumento das doses aplicadas do glyphosate, para as cultivares Travessia e Catuaí, ambas apresentaram para a dose de 391,4 e 372,31 g ha⁻¹, respectivamente menor eficiência. Para a cultivar Oeiras ocorreu tendência de decréscimo linear de acordo com o aumento da dose de glyphosate. O decréscimo ocorrido na (F_v/F_m) foi também devido a variação ocorrida na F_m e em F_0 , pois ($F_v = F_m - F_0$), a fluorescência inicial também obteve redução de acordo com as doses de glyphosate assim como a F_m . Após, submeter as plantas a estresse químico, a redução na relação F_v/F_m é um ótimo indicador de efeito fotoinibitório (Araus & Hogan, 1994), podendo variar em plantas não submetidas a estresses de 0,75 a 0,85 (Bolhàr-Nordenkamph et al., 1989). O Valor médio encontrado para as três cultivares sem a aplicação do glyphosate foi superior a 0,75, no entanto esse valor decresceu de acordo com o aumento das doses, demonstrando assim efeito fotoinibitório das doses de glyphosate. Os menores valores obtidos para a relação F_v/F_m foram 0,68 ; 0,63 para a dosagens de 372,31 e 391,40 g ha⁻¹, respectivamente para Catuaí e travessia. Observou-se queda na eficiência fotoquímica (Figura 3), podendo-se afirmar que ocorreu queda na fotossíntese, assim como ocorreu até mesmo para plantas resistentes ou não ao glyphosate quando aplicado dose completa ou subdoses (Gravena et al., 2009; Corrêa & Alves, 2010; Machado et al., 2010; Zobiolo et al., 2010a; Zobiolo et al., 2010b; Zobiolo et al., 2011; Ding et al., 2011). Quando comparadas com as testemunhas as cultivares Travessia, Catuaí e Oeiras apresentaram diminuição de 18,3%, 8,58% e 6,23%, para a dose de 460,8 g ha⁻¹ de glyphosate. A queda da eficiência fotoquímica máxima também pode estar relacionada com a diminuição da espessura do parênquima paliçádico observado no Artigo 1 do presente trabalho, pois essa redução indica que existe menor quantidade de células envolvidas com a fotossíntese e por isso ocorre menor eficiência fotoquímica máxima.

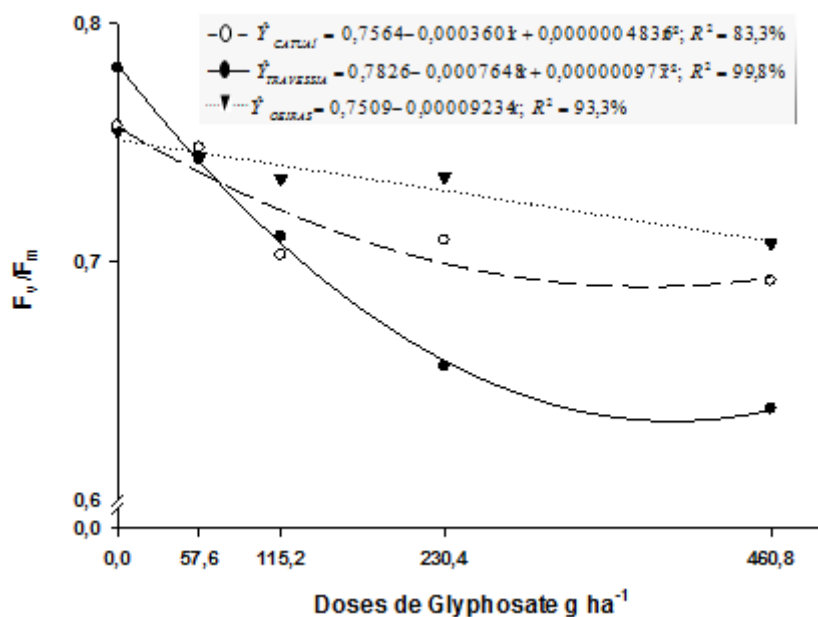


Figura 3 – Eficiência fotoquímica máxima de cultivares de café submetidas a diferentes doses de glyphosate em deriva simulada.

A análise da fluorescência da clorofila vem sendo largamente utilizada no entendimento dos mecanismos da fotossíntese propriamente dito, bem como na avaliação da capacidade fotossintética alterada com a aplicação de herbicidas (Ireland et al., 1986). No presente experimento, observou-se diminuição da fluorescência e da concentração da clorofila total, de acordo com a dosagem do glyphosate aplicada, com diferença estatística para as dosagens e entre as cultivares. Os dados analisados apresentaram comportamento com tendência de decréscimo quadrático e possível estabilização das concentrações de clorofila total após a dosagem mínima 377,28; 425,95 e 576,58 g ha⁻², respectivamente para Catuaí, Travessia e Oeiras (Figura 4). A cultivar Travessia apresentou valores médios inferiores as demais cultivares estudadas. Ao analisar a porcentagem de perda de clorofila comparando as testemunhas com a dose 460,8 g ha⁻¹ de glyphosate, notou-se redução de 19,2%, 15,89% e 13,66% respectivamente para as cultivares Travessia, Catuaí e Oeiras. Corroborando com Kitchen et al., (1981), que afirmou que o glyphosate inibe, drasticamente, a síntese do d-aminolevulinato, precursor da clorofila, obteve-se redução das concentrações de clorofila totais.

As cultivares testadas Catuaí e Oeiras demonstraram comportamento linear, e a cultivar Travessia obteve comportamento quadrático. Foi observada diferença estatística para as doses de glyphosate, e no que se refere as cultivares testadas, ocorreu redução da concentração de clorofila *a* de acordo com o aumento das doses para todas as cultivares, tendência também observada para a concentração de clorofila total. Observou-se também

redução de 19,20%, 15,80% e 13,66%, respectivamente para as cultivares Travessia, Catuaí e Oeiras, quando comparadas a dose de 460,8 g ha⁻¹ de glyphosate as testemunhas (Figura 6). O centro de reação P700 o fotossistema um (PSI) é composto basicamente de clorofilas *a*, sendo assim a queda da concentração de clorofila *a* pode estar diretamente relacionada com a queda observada na eficiência fotoquímica (F_v/F_m) (Taiz & Zaiger, 2004; Freiburger, et al., 2010) e fotossíntese observada por (Zobiolo et al., 2011; Ding et al., 2011) .

Igualmente as concentrações de clorofila total e clorofila *a*, a clorofila *b* também sofreu redução de concentração para as três cultivares ao passo que as doses de glyphosate foram aumentadas. Nota-se a diminuição comparando as testemunhas com as cultivares exposta a dose de 460,8 g ha⁻¹ de glyphosate de 41,56%, 49,44% e 50,18%, respectivamente para as cultivares Travessia, Catuaí e Oeiras (Figura 6). A cultivar Travessia obteve comportamento exponencial de redução, no entanto a partir da menor dose 57,6 a curva apresentou tendência à estabilidade de concentração. As cultivares Catuaí e Oeiras de acordo com tendência quadrática obtiveram diminuição da concentração de clorofila *b*, apresentando maior redução da concentração da clorofila *b* para as doses 594,66 e 887,55 g ha⁻¹ de glyphosate. Meschede et al., (2011) também observou diminuição da concentração de clorofila *a* e *b* de acordo com o aumento da dose de glyphosate aplicada.

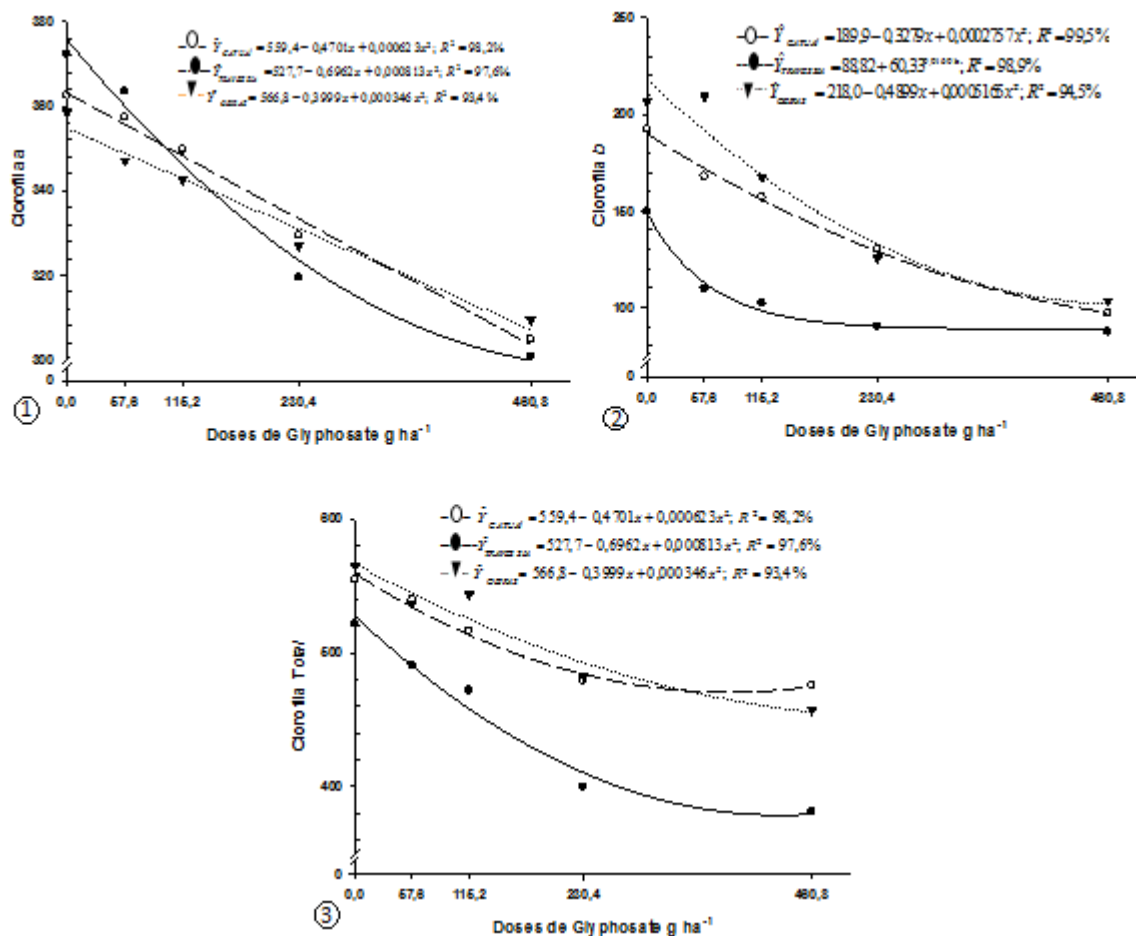


Figura 4 – Clorofila a, b e total de plantas café submetidas a diferentes doses de glyphosate em deriva simulada.

Observou-se nesse trabalho diferenças para a interação entre as doses e as cultivares, com tendência proporcional quadrática negativa para as cultivares Travessia e Catuaí, já para a cultivar Oeiras foi observado decréscimo linear de acordo com o aumento das doses de glyphosate aplicadas. Quando comparado com as testemunhas das cultivares Travessia, Catuaí e Oeiras para a dose de 460,8 g ha⁻¹ de glyphosate, observou-se redução de 40%, 39,62% e 41,5% (Figura 7). O número de estômatos está relacionado com diferenças de quantidades absorvidas do glyphosate, de acordo com King & Radosevich (1979), pois quanto maior a número de estômatos por mm² maior a absorção do mesmo, no entanto as três cultivares apresentaram diferença entre as testemunhas, mas não apresentaram diferença entre as reduções após a aplicação. Após, a dose de 326,25 g ha⁻¹, a cultivar Catuaí apresentou estabilização do número de estômatos. A cultivar Travessia apresentou maior número médio de estômatos por mm² que as outras cultivares testadas. A condutância estomática é diretamente relacionada à taxa fotossintética, mas a mesma pode ser influenciada por outras

variáveis como temperatura interna e déficit interno de água Quick et al.,(1992). Porém a diminuição das concentrações de clorofila, associadas ao aumento do estresse da planta e a diminuição da eficiência fotoquímica, pode ser proporcionado pela diminuição do número de estômatos Paiva et al., (2012). Fatores esses encontrados no presente estudo, mas merecedores de maiores estudos para melhor elucidação da relação entre eles.

Existem muitas variáveis que atuam sobre o número de estômatos podendo influenciar também no tamanho dos mesmos, essas variáveis são espécies, estádios de desenvolvimento, sombreamento, estresse hídrico, posição da folha e lado abaxial ou adaxial avaliados, Santos (2002). No entanto, no presente estudo observou-se variação do numero de estômatos de acordo com o aumento das doses de glyphosate.

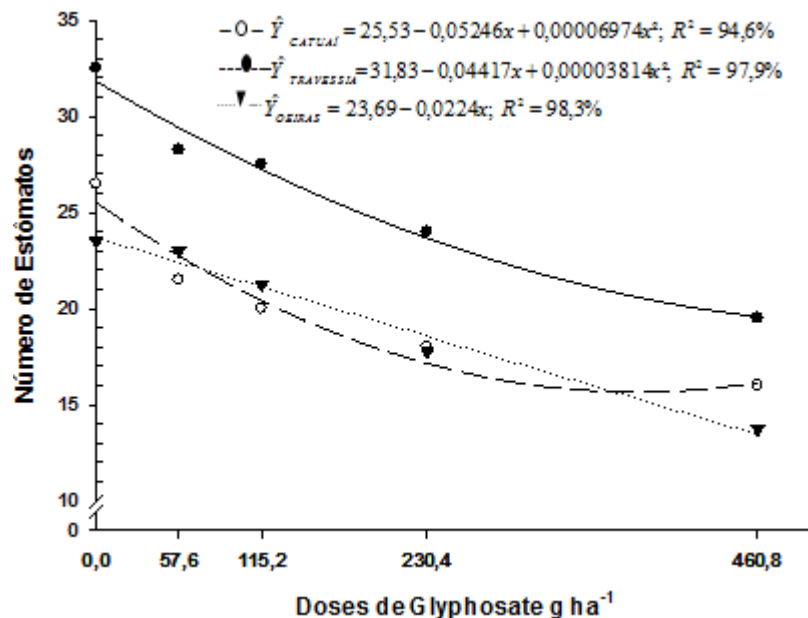


Figura 5 – Número de estômatos de plantas café submetidas a diferentes doses de glyphosate em deriva simulada.

No presente estudo foi observado diferenças estatísticas entre as doses de glyphosate e entre as cultivares testadas. Ocorreu redução do número de células epidérmicas com tendência quadrática e possível estabilização após, as doses de 582,96 e 344,20 g ha⁻¹ de glyphosate, respectivamente para as cultivares Catuaí e Oeiras. A cultivar Travessia apresentou decréscimo linear no número de células epidérmicas de acordo com o aumento das doses de glyphosate e juntamente com a cultivar Catuaí apresentaram maior número de células epidérmicas. A porcentagem de redução quando comparado às testemunhas com as plantas submetidas a 460,8 g ha⁻¹ de glyphosate, foi de 13,36%, 28,81% e 28,74%, respectivamente para as cultivares Travessia, Catuaí e Oeiras.

Um sintoma visual facilmente observado quando ocorre deriva de glyphosate é o estreitamento foliar (França et al., 2010b), podendo ser acompanhado por modificações endógenas como aumento de níveis de etileno que diminui a divisão celular (Cole, 1983) e decréscimo do AIA responsável por alongamento celular (Baur, 1979), observado por Tuffi Santos et al.,(2010) em eucalipto. O desbalanço hormonal pode provocar efeitos diferenciados e não esperados, ainda são necessários maiores estudos do efeito bioquímico do glyphosate sobre os hormônios Tuffi Santos et al.,(2005).

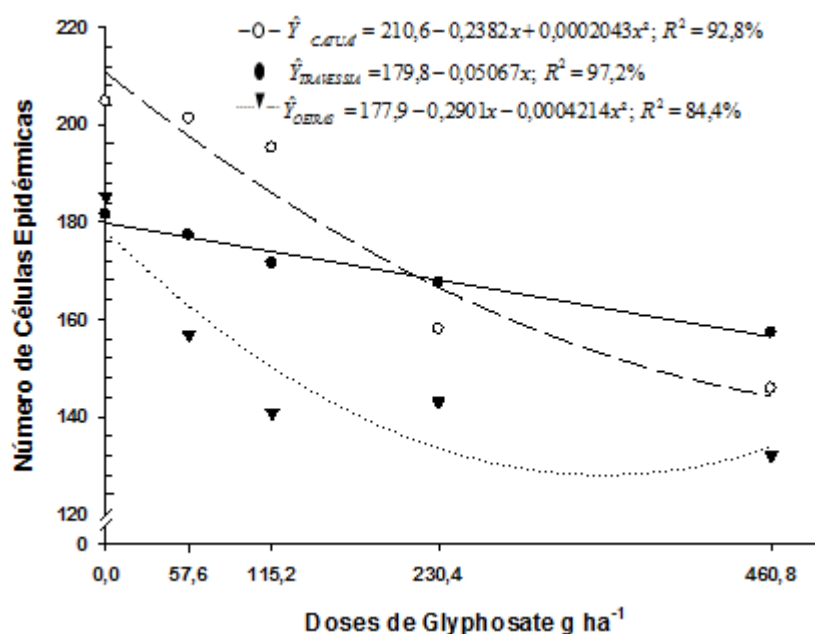


Figura 6– Número de células epidérmicas de plantas café submetidas a diferentes doses de glyphosate em deriva simulada.

O índice estomático é um parâmetro relativamente constante para cada espécie (Cutter, 1986), no entanto, ocorreram variações estatísticas para o índice estomático entre as doses aplicadas de glyphosate e entre as cultivares estudadas. Ocorreu diminuição expressiva do índice estomático quando comparado as testemunhas com as plantas submetidas à aplicação de glyphosate na dose de 460,8 g ha⁻¹ de glyphosate, as reduções foram de 40,0%, 55,26% e 21,87%, respectivamente para as cultivares Travessia, Catuaí e Oeiras. Apresentou-se padrão quadrático com diminuição para a cultivar Travessia, e as cultivares Oeiras e Catuaí obtiveram valores superiores a mesma. No entanto, a cultivar Oeiras obteve decréscimo linear, e a cultivar Catuaí decréscimo exponencial de acordo com o aumento das doses de glyphosate. Tuffi Santos et al., (2006) não observou relação entre a porcentagem de intoxicação de glyphosate e índice estomático em cinco espécies de eucalipto.

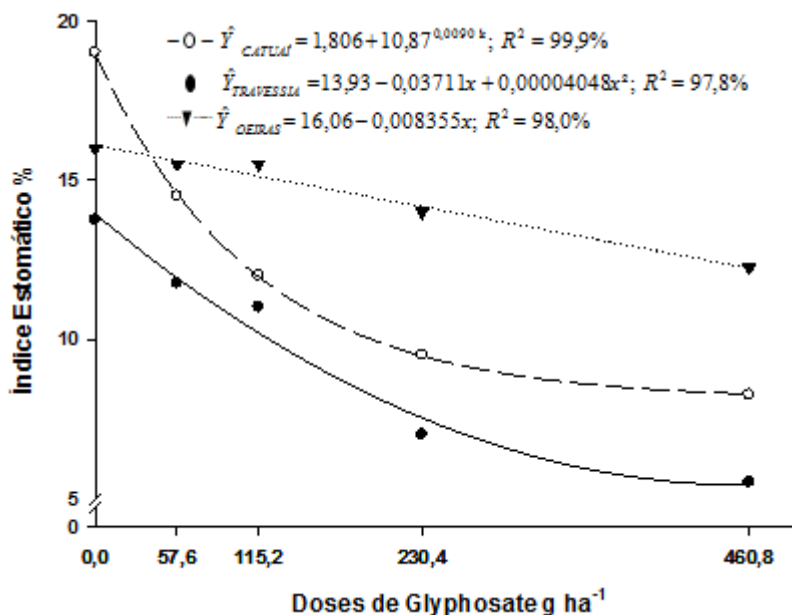


Figura7– Índice estomático de plantas café submetidas a diferentes doses de glyphosate em deriva simulada.

Quanto maior a dosagem de glyphosate, menor com tendência quadrática o valor da densidade estomática para as cultivares Catuaí e Travessia. Já a cultivar Oeiras, obteve decréscimo linear de densidade estomática, de acordo com o aumento das doses aplicadas de glyphosate. Sendo que as cultivares apresentaram diferenças estatísticas, entre elas, a cultivar Oeiras obteve valores maiores que a cultivar Catuaí que também obteve valores maiores que a cultivar Travessia. As cultivares Travessia, Catuaí e Oeiras obtiveram redução de 60,57%, 45,83% e 27,84%, respectivamente no índice estomático quando comparas as testemunhas com as plantas submetidas a dose de 460,8 g ha⁻¹ de glyphosate. Diferentemente, dos estudos efetuados por Tuffi Santos et al , (2006), que não foram encontrados relação entre os a porcentagem de intoxicação de glyphosate e a densidade estomática. Ocorre na presença de ozônio aumento na densidade estomática (Alves et al. 2001, Pedroso et al., 2006, Alves et al. 2008a, Moraes et al. 2008).

Conclui-se que as subdoses de glyphosate provocaram danos na etapa fotoquímica, pois, ocorreu diminuição das concentrações das clorofilas e do rendimento quântico máximo, promovendo assim, maior estresse nas cultivares de café e redução da fotossíntese. Além da etapa fotoquímica a etapa bioquímica provavelmente foi afetada, pois ocorreu diminuição do numero de estômatos o que limitaria a entrada de CO₂.

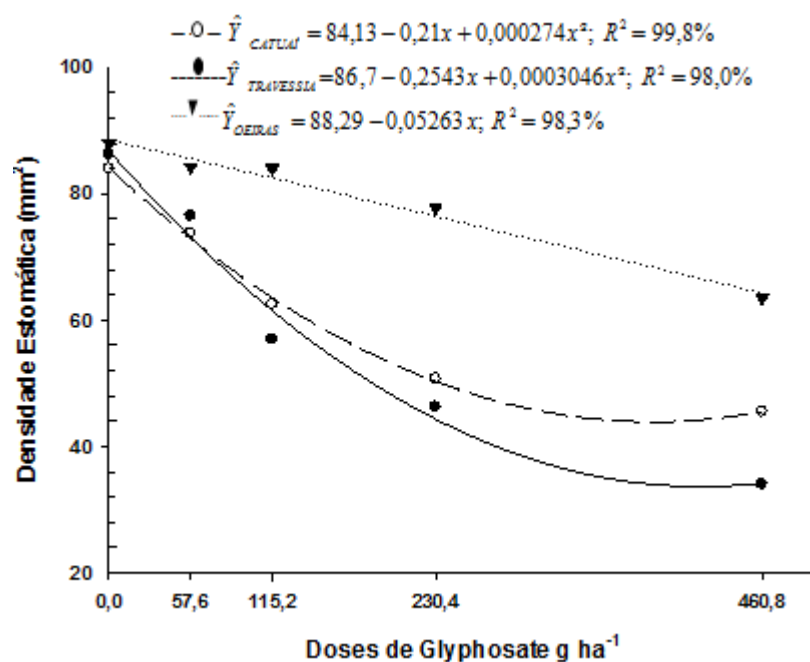


Figura 8 – Densidade estomática de plantas café submetidas a diferentes doses de glyphosate em deriva simulada.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Edenise Segala; TREMONDI, Fernanda; LONGUI, Eduardo Luiz. Análise estrutural de folhas de *Eugenia uniflora* L.(Myrtaceae) coletadas em ambientes rural e urbano, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, n. 1, p. 241-248, 2008.

DE AMARANTE JUNIOR, Ozelito Possidônio et al. Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. **Quim. Nova**, v. 25, n. 4, p. 589-593, 2002.

ARAUS, J. L.; HOGAN, K. P. Comparative leaf structure and patterns of photoinhibition of the neotropical palms. *Scheelea zonensis* and *Socratea durissima* growing in clearing and forest understory during the dry season in Panama. **Am. J. Bot.**, v. 81, n. 6, p. 726-738, 1994.

BAKER, N. R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **J. Exper. Bot.**, v. 55, n. 403, p. 1607-1621, 2004.

BAUR, J. R. Effect of glyphosate on auxin transport in corn and cotton. **Plant Physiol.**, v. 63, p. 882-886, 1979.

BOLHÀR-NORDENKAMP, H. R. et al. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Funct. Ecol.**, v. 3, n. 4, p. 497-514, 1989.

COLE, D. J.; CASELEY, J. C.; DODGE, A. D. Influence of glyphosate on selected plant process. **Weed Res.**, v. 23, p. 173-183, 1983.

CORRÊA, M. J. P.; ALVES, P. L. C. A. Efeitos da aplicação de herbicidas sobre a eficiência fotoquímica em plantas de soja convencional e geneticamente modificada. **Ciênc. Agrotc. Lavras**. v. 34, n. 5, p. 1136-1145, 2010.

CUTTER, E. G. Anatomia vegetal. **Parte I – Células e tecidos**. 2.ed. São Paulo: Roca, 1986. 304 p.

DING, W. et al. Physiological responses of glyphosate-resistant and glyphosate-sensitive soybean to aminomethylphosphonic acid, a metabolite of glyphosate. **Chemosphere**. v. 83, n. 4, p.593-598, 2011.

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

FRANÇA, A. C. et al. Crescimento de cultivares de café arábica submetidos a doses do glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 28, n. 3, p. 599-607, 2010a.

FRANÇA, A. C. et al. Teores de nutrientes em cultivares de café arábica submetidos à deriva de glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, V. 28, n. 4, p. 877-885, 2010b.

FREIBERGER, M. B.; CASTOLDI, G.; MARINI, D.; LANG, A.; HERZOG, N. F. M.; MALAVASI, U. C. Variação sazonal de clorofilas em folhas de *Tabebuia avellanedae* e *Anadenanthera colubrina* Semina: **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, suplemento 1, p. 1343-1348, 2010.

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.

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.

HESS, F. D.; FALK, R. H. **Herbicide deposition on leaf surfaces**. *Weed Sci.*, v. 38, n. 3, p. 280-288, 1990.

IRELAND, C. R.; PERCIVAL, M. P.; BAKER, N. R. Modification of the induction of photosynthesis in wheat by glyphosate, an inhibitor of amino acid metabolism. *J. Exper. Bot.*, v. 37, n. 176, p. 299-308, 1986.

KITCHEN, Lynn M.; WITT, William W.; RIECK, Charles E. Inhibition of chlorophyll accumulation by glyphosate. **Weed Science**, p. 513-516, 1981.

KING, M. G.; RADOSEVICH, S. R. Tanoak (*Lithocarpus densiflorus*) leaf surface characteristics and absorption of triclopyr. **Weed Sci.**, v. 27, p. 599-604, 1979.

MACHADO, A.F.L.; FERREIRA, L.R.; SANTOS, L.D.T.; FERREIRA, F.A.; VIANA, R.G.; MACHADO, M.S.; FREITAS, F.C.L. Eficiência fotossintética e uso da água em plantas de eucalipto pulverizadas com glyphosate. **Planta Daninha**, v.28, n.2, p.319-327, 2010.

MATHIS, P.; PALLOTIN, G. Primary process of photosynthesis. In: HATCH, M.D.; BOARDMAN, N. K. (Ed.). **The biochemistry of plants**. New York: Academic Press, 1981. p.97-161.

MESCHEDE, D.K.; VELINI, E.D.; CARBONARI, C.A.; CORRÊA, M.R. Determinação do teor de lignina e celulose em amostras de *Brachiaria decumbens* submetidas á subdose de glyphosate. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GLYPHOSATE, 1., 2007, Botucatu, SP. **Anais...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, 2007b. v.1, p.82-84.

MESCHEDE, D.K., VELINI, E.D., CARBONARI, C.A. ; SILVA, J.R.M. Alteração fisiológica da cana-de-açúcar pela aplicação de glyphosate e sulfometuron-methyl. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 29, n. 2, p. 413-419, 2011.

DE MORAES, Regina Maria et al. Avaliação da sensibilidade da goiabeira 'Pedro Sato' ao ozônio. **Pesq. agropec. bras., Brasília**, v. 46, n. 9, p. 971-978, 2011.

NILSSON, G. Interactions between glyphosate and metals essential for plant growth. In: GROSSBARD, E.; ATKISON, D. **The herbicide glyphosate**. London: Butterworths, 1985. Cap. 4, p.35-47.

PEDROSO, Andrea Nunes Vaz. Poluentes Atmosféricos & Plantas Bioindicadoras. **Curso de Capacitação de Monitores e Educadores. Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente**, 2007.

PAIVA L.C., GUIMARÃES R.J., SOUZA C.S. Aspectos fisiológicos de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica*) formadas a pleno sol. In: Simpósio de Pesquisa de Cafés do Brasil, v.2, 2001, Vitória, ES. **Resumos...** Brasília: Embrapa Café, p. 11.

QUICK, W.P.; CHAVES, M.M.; WENDLER, R.; DAVID, M.; RODRIGUES, M.L.; PASSAHARINHO, J.A.; PEREIRA, J.S.; ADCOCK, M.D.; LEEGOOD, R.C. & STITT, M. The effect of water stress on photosynthetic carbon metabolism in four species grown under field conditions. *Plant, Cell and Environment*, 15: 25-35, 1992

REDDY, K.N.; RIMANDO, A.M.; DUKE, S.O. Aminomethylphosphonic acid, a metabolite of glyphosate, causes injury in glyphosate-treated, glyphosate-resistant soybean. **J. Agric. Food Chem.** v. 52, n. 16, p. 5139-5143, 2004.

RONCHI, C. P.; SILVA, A. A. Efeitos da competição de plantas daninhas sobre o crescimento de plantas jovens de café. **Planta Daninha**, v. 24, n. 3, p. 415-423, 2006.

SANTOS, I.C., MEIRA, R.M.S.A., FERREIRA, F.A., SANTOS, L.D.T. e MIRANDA, G.V. Caracteres anatômicos de duas espécies de trapoeraba e a eficiência do glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.20, n.1, p.1-8, 2002.

Scheelea zonensis and *Socratea durissima* growing in clearing and forest understory during the dry season in Panama. **Am. J. Bot.**, v. 81, n. 6, p. 726-738, 1994.

SCHREIBER, L. Polar paths of diffusion across plant cuticles: new evidence for an old hypothesis. **Ann. Bot.**, v. 95, p. 1069-1073, 2005.

SEGATTO, F.B.; BISOGNIN, D.A.; BENEDETTI, M.; COSTA, L.C.; RAMPELOTTO, M.V. & NICOLOSO, F.T. 2004. **Técnica para o estudo da anatomia da epiderme foliar de batata**. Ciene Rural 34: 1597-1601.

SILVA, A. A.; RONCHI, C. P. Manejo e controle de plantas daninhas em café. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. (Eds.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. p. 337-396.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Sunderland: Sinauer, 2006. 705 p.

TOLEDO, S. V.; MORAES, M. V.; BARROS, I. Efeito da frequência de capinas na produção do cafeeiro. **Bragantia**, v. 55, n. 2, p. 317-324, 1996.

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. Leaf anatomy and morphometry in three eucalypt clones treated with glyphosate. **Braz. J. Biol.**, v. 69, n. 1, p. 129-136, 2009.

TUFFI SANTOS, L. D. T. et al. Glyphosate em eucalipto: formas de contato e efeito do herbicida sobre a cultura. **Manejo Integrado de Plantas Daninhas na Cultura do Eucalipto**, p. 91-116, 2010.

USDA. DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DOS ESTADOS UNIDOS. National Nutrient Database for Standard Reference, release 25 – food group 1 2012. Disponível em: <http://www.ars.usda.gov>.

VELINI, E. D., MESCHEDÉ, D. K.; CARBONARI, C. A.; TRINDADE, M. L. B. **Glyphosate**. 1. ed. Botucatu: Fepaf, 2009. p. 496.

VIEIRA, D. A. P.; PORTES, T. A.; STACCIARINI-SERAPHIN, E.; TEIXEIRA, J. B. Fluorescência e teores de clorofilas em abacaxizeiro cv. pérola submetido a diferentes concentrações de sulfato de amônio. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 32, n. 2, p. 360-368, 2010.

ZOBIOLE, L. H. S.; OLIVEIRA JR, R. S.; KREMER, R. J.; MUNIZ, A. S.; OLIVEIRA JR, A. Nutriente accumulation and photosynthesis in glyphosate-resistant soybeans is reduced under glyphosate use. **J. Plant Nutrit.** v. 33, n. 12, p. 1860-1873, 2010.

ZOBIOLE, L. H. S.; OLIVEIRA JR, R. S.; KREMER, R. J.; CONSTANTIN, J.; BONATO, C. M.; MUNIZ, A. S. Water use efficiency and photosynthesis of glyphosate-resistant soybean as affected by glyphosate. **Pesticide Biochemistry and Physiology**. v. 97, n. 2, p. 182–193, 2010b.

ZOBIOLE, L. H. S.; KREMER, R. J.; OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J. Glyphosate affects chlorophyll, nodulation and nutrient accumulation of “second generation” glyphosate-resistant soybean (*Glycine max* L.). **Pesticide Biochemistry and Physiology**. v. 99, n. 1, p. 53–60, 2011.

CONCLUSÃO GERAL

Pode-se concluir, que a deriva simulada provocou variações na fotossíntese, tanto na etapa fotoquímica como na etapa bioquímica, resultando em modificações anatômicas e na produção de compostos ligados a defesa da planta.