

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E  
MUCURI – UFVJM

FELIPE PAOLINELLI DE CARVALHO

**CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS DO CAFEIEIRO APÓS  
APLICAÇÃO DO GLYPHOSATE**

DIAMANTINA - MG  
2011

FELIPE PAOLINELLI DE CARVALHO

**CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS DO CAFEIEIRO APÓS  
APLICAÇÃO DO GLYPHOSATE**

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: Prof. Dr. André Cabral França

DIAMANTINA - MG  
2011

Ficha Catalográfica - Serviço de Bibliotecas/UFVJM  
Bibliotecária Viviane Pedrosa CRB6 2641

C331c 2011	<p>Carvalho, Felipe Paolinelli Características fisiológicas do cafeeiro após aplicação do Glyphosate / Daniel Valadão Silva. – Diamantina: UFVJM, 2011. 48p. Dissertação (Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Produção Vegetal)-Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. André Cabral França</p> <p>1. Fotossíntese 2. Uso Eficiente da Água 3. <i>Coffea arábica</i> 4. Subdoses 5. EPSPs I. Título</p> <p style="text-align: right;"><b>CDD 633.73</b></p>
---------------	--

FELIPE PAOLINELLI DE CARVALHO

**CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS DO CAFEIEIRO APÓS  
APLICAÇÃO DO GLYPHOSATE**

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..... de ..... de 2011

José Barbosa dos Santos - UFVJM

Antônio Alberto da Silva - UFV

Evander Alves Ferreira - UFVJM

Prof. Dr. André Cabral França – UFVJM  
Presidente

DIAMANTINA - MG  
2011

## *OFEREÇO*

*A Deus por estar sempre ao meu lado e por sempre me dar força para enfrentar os momentos mais difíceis. Aos meus pais, Hales e Rosânia, pelo amor e dedicação, sempre me incentivando e apoiando. Ao prezado prof. Dr. André Cabral França, pela oportunidade, ensinamentos, apoio e amizade.*

## *DEDICO*

*A todos aqueles que de uma forma ou de outra me ajudaram e contribuíram na condução deste trabalho.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus por me conceder o dom da vida, a força e a saúde para poder buscar esta conquista, além de sempre me conduzir pelos caminhos do bem e colocando pessoas maravilhosas no meu caminho.

Aos meus pais, Hales e Rosânia, que sempre procurei nas horas mais difíceis e nunca deixaram de me apoiar, amar e mesmo de longe sempre fizeram parte de todas as minhas conquistas.

Aos meus irmãos, Rafael e Vinícius, pela certeza de que tive, tenho e sempre terei a amizade incondicional e o apoio de vocês.

Aos meus familiares que sempre compartilharam de minhas conquistas, me deram amor, incentivo, apoio e sempre rezaram e torceram por mim.

Ao meu amor, Bruna, pela dedicação, apoio, incentivo e fonte de inspiração.

Ao professor Dr. André Cabral França pela confiança, amizade, orientação, exemplo de profissional e todo o apoio na elaboração da minha dissertação, além do incentivo constante através de suas palavras e conselhos sempre muito valiosos.

Ao professor Dr. José Barbosa dos Santos pela oportunidade, orientação, apoio, amizade, exemplo e por todos os conhecimentos transmitidos ao longo da realização deste trabalho.

Ao pesquisador Dr. Evander Alves Ferreira, meus estimados agradecimentos pelas valiosas sugestões, disponibilidade para o esclarecimento das minhas dúvidas, que foram ajudas imprescindíveis para o fechamento deste trabalho, além de prontamente atender ao convite de participação na minha banca de defesa.

Ao professor Dr. Antônio Alberto da Silva, pela ajuda e possibilidade de aprendizagem e experiências em outra universidade, além da participação na minha banca de defesa.

Ao colega e grande amigo de todas as horas, Daniel Valadão Silva, pela valiosa amizade e importante companheirismo e parceria nos trabalhos.

A toda a família da “República 6 de Paus” que estiveram comigo durante esta caminhada (Gabriel, Gustavo, Humberto, Matcholas, Pablo, Valadão, Calouro e Gabiru) pela amizade, momentos de confraternização, experiências e apoio.

Ao Núcleo de Estudos em Cafeicultura (NECAF), Brunão, Moisés, Russo, Juliano, Nycolas, Ricardo, Bruna e Lílian, pela grande ajuda nos trabalhos e pelo imprescindível apoio na condução dos experimentos.

Aos colegas do curso de pós-graduação pelo constante apoio e compartilhamento de aprendizados.

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), pela oportunidade de realização do curso e pela contribuição à minha formação acadêmica.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo.

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

A todos os outros que de alguma maneira contribuíram para concretizar este trabalho, o meu sincero agradecimento!

## RESUMO

CARVALHO, F. P. **CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS DO CAFEIEIRO APÓS APLICAÇÃO DO GLYPHOSATE**. 60p. (Dissertação - Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2011.

O herbicida glyphosate não é seletivo e de largo espectro de controle de plantas daninhas, seu mecanismo de ação ocorre com a inibição da enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs), acontecendo o bloqueio da rota do ácido chiquímico, precursor de aminoácidos aromáticos e de outros metabolitos secundários. O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações nas características fotossintéticas e do uso eficiente da água por plantas de cafeeiro submetidas à aplicação de glyphosate. O experimento foi conduzido em casa de vegetação utilizando-se três cultivares de café (*Coffea arabica*): Acaiá (MG-6851), Catucaí Amarelo (2 SL) e Topázio (MG-1190) e três subdoses do glyphosate (0,0; 115,2 e 460,8 g ha<sup>-1</sup>), em esquema fatorial 3x3, com 4 repetições. Os cultivares de café se diferiram quanto à atividade fotossintética. Com o aumento das subdoses do herbicida, observou-se maiores consequências negativas sobre as variáveis fotossintéticas. Tais efeitos podem ser atribuídos aos danos diretos na atividade fotossintética ou pelos indiretos, afetando o metabolismo da planta. Com a aplicação do herbicida, as plantas de cafeeiro apresentaram reduções de taxa transpiratória e condutividade estomática, porém menor eficiência do uso da água apenas aos 15 DAA na quarta folha. Os cultivares apresentaram efeitos negativos com a aplicação das subdoses de glyphosate, quanto a transpiração e condutância estomática. Pode-se concluir que o cultivar Acaiá apresentou-se mais tolerante, pois não mostrou efeitos prejudiciais na eficiência do uso da água.

**Palavras-chave:** Fotossíntese, Uso Eficiente da Água, *Coffea arabica*, subdoses, EPSPs.

## ABSTRACT

CARVALHO, F. P. **PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF COFFEE AFTER GLYPHOSATE APPLICATION.** 60p. (Dissertation - Masters in Vegetable Production) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2011.

The herbicide glyphosate is nonselective and of wide-spectrum weed control; its mechanism of action is the inhibition of the enzyme 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase (EPSPs), blocking shikimic acid route, a precursor of aromatic amino acids and other secondary metabolites. The objective of this study was to evaluate the changes in photosynthetic characteristics and of water use efficiency for coffee plants submitted to glyphosate application. The experiment was conducted in a greenhouse using three varieties of coffee (*Coffea Arabica*): Acaia (MG-6851), Catucaí Amarelo (2 SL) e Topázio (MG-1190) and, three subdoses of glyphosate (0,0; 115,2 and 460,8 g ha<sup>-1</sup>), in a factorial 3x3, with four replicates. The coffee cultivars subjected to reduced rates of glyphosate to differ in terms of photosynthetic activity. With the increase in sub dosage of the herbicide, there have been observed more negative consequences on the photosynthetic variables. These effects can be attributed to the direct damages on photosynthetic activity or to the indirect ones, affecting the metabolism of the plant. With the herbicide application, coffee plants presented reduction of perspiration rate and stomatal conductivity, however less efficiency in water use only at 15 DAA, on the fourth leaf. The cultivars presented negative effects with the application of a sub dosage of glyphosate regarding perspiration and stomatal conductivity. It can be concluded that the cultivar Acaia showed to be more tolerant, as it did not show prejudicial effects in water use efficiency.

**Key words:** photosynthesis, water use efficiency, *Coffea arabica*, subdoses, EPSPs.

## LISTA DE TABELAS

FOTOSSÍNTESE DO CAFEIEIRO SUBMETIDO À SUBDOSES DE GLYPHOSATE		Pág.
Tabela 1	Carbono interno ( $C_i$ ), consumo de $CO_2$ ( $\Delta C$ ), razão carbono interno e carbono da atmosfera ( $C_i/C_a$ ) e taxa fotossintética ( $A$ ) medidos na quarta folha completamente expandida de três cultivares de café ( <i>Coffea arabica</i> ) sob efeito de subdoses de glyphosate, aos 15 dias após a aplicação.....	25
Tabela 2	Carbono interno ( $C_i$ ), consumo de $CO_2$ ( $\Delta C$ ), razão carbono interno e carbono da atmosfera ( $C_i/C_a$ ) e taxa fotossintética ( $A$ ) medidos na última folha completamente expandida de três cultivares de café ( <i>Coffea arabica</i> ) sob efeito de subdoses de glyphosate, aos 15 dias após a aplicação.....	28
Tabela 3	Carbono interno ( $C_i$ ), consumo de $CO_2$ ( $\Delta C$ ), razão carbono interno e carbono da atmosfera ( $C_i/C_a$ ) e taxa fotossintética medidos ( $A$ ) na quarta folha completamente expandida de três cultivares de café ( <i>Coffea arabica</i> ) sob efeito de subdoses de glyphosate, aos 45 dias após a aplicação.....	30
Tabela 4	Carbono interno ( $C_i$ ), consumo de $CO_2$ ( $\Delta C$ ), razão carbono interno e carbono da atmosfera ( $C_i/C_a$ ) e taxa fotossintética ( $A$ ) medidos na última folha completamente expandida de três cultivares de café ( <i>Coffea arabica</i> ) sob efeito de subdoses de glyphosate, aos 45 dias após a aplicação.....	32
USO DA ÁGUA POR CULTIVARES DE CAFÉ ARABICA SUBMETIDOS À SUBDOSES DE GLYPHOSATE		
Tabela 1	Condutância estomática de vapores de água ( $g_s$ ), taxa de transpiração ( $E$ ) e eficiência do uso da água ( $EUA$ ) medidos na quarta folha completamente expandida de três cultivares de café ( <i>Coffea arabica</i> ) sob efeito de subdoses de glyphosate, aos 15 dias após a aplicação.....	40
Tabela 2	Condutância estomática de vapores de água ( $g_s$ ), taxa de transpiração ( $E$ ) e eficiência do uso da água ( $EUA$ ) medidos na última folha completamente expandida de três cultivares de café ( <i>Coffea arabica</i> ) sob efeito de subdoses de glyphosate, aos 15 dias após a aplicação.....	41
Tabela 3	Condutância estomática de vapores de água ( $g_s$ ), taxa de transpiração ( $E$ ) e eficiência do uso da água ( $EUA$ ) medidos na quarta folha completamente expandida de três cultivares de café ( <i>Coffea arabica</i> ) sob efeito de subdoses de glyphosate, aos 45 dias após a aplicação.....	42
Tabela 4	Condutância estomática de vapores de água ( $g_s$ ), taxa de transpiração ( $E$ ) e eficiência do uso da água ( $EUA$ ) medidos na última folha completamente expandida de três cultivares de café ( <i>Coffea arabica</i> ) sob efeito de subdoses de glyphosate, aos 45 dias após a aplicação.....	43

## SUMÁRIO

	Pág.
RESUMO.....	
ABSTRACT.....	
LISTA DE TABELAS.....	
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	3
3 ARTIGO I GLYPHOSATE: MODO DE AÇÃO, MECANISMO DE AÇÃO E EFEITOS.....	6
Resumo.....	6
Abstract.....	6
3.1 Introdução.....	7
3.2 Modo de Ação.....	8
3.3 Mecanismo de Ação.....	10
3.4 Efeito do Glyphosate na Fotossíntese.....	12
3.5 Literatura Citada.....	15
4 ARTIGO II ATIVIDADE FOTOSSINTÉTICA DO CAFEEIRO SUBMETIDO À SUBDOSES DE GLYPHOSATE.....	21
Resumo.....	21
Abstract.....	21
4.1 Introdução.....	22
4.2 Material e métodos.....	23
4.3 Resultados e discussão.....	24
4.4 Literatura Citada.....	34
5 ARTIGO III USO DA ÁGUA POR CULTIVARES DE CAFÉ ARABICA SUBMETIDOS À SUBDOSES DE GLYPHOSATE.....	37
Resumo.....	37
Abstract.....	37
5.1 Introdução.....	38
5.2 Material e métodos.....	39
5.3 Resultados e discussão.....	40
5.4 Literatura Citada.....	45
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Atualmente o Brasil é o maior produtor mundial de café, sendo responsável por 30% do mercado internacional, volume equivalente à soma da produção dos outros quatro maiores países produtores. É também o segundo mercado consumidor, atrás somente dos Estados Unidos. Hoje o café é o segundo maior gerador de riquezas do planeta, perdendo só para o petróleo. Ao todo, a cadeia produtiva é responsável pela geração de riquezas representadas pelas 48,1 milhões de sacas de café produzidas na safra 2010/2011, das quais 30 milhões foram exportadas no ano de 2011 (ICO, 2011).

Entretanto, os produtores têm de se esforçar a fim de garantir a competitividade e a permanência na atividade, tornando a lavoura mais produtiva, rentável e lucrativa. Vários são os problemas enfrentados pelos cafeicultores para garantir maiores produtividades, destacando-se o manejo das plantas daninhas (SILVA et al, 2008). Na verdade, as plantas daninhas promovem interferência sobre a cultura afetando a estatura, diâmetro do caule, número de folhas e absorção de nutrientes e produtividade (RONCHI et al., 2003; DIAS et al., 2004, 2005; OLIVEIRA et al., 2005; RONCHI & SILVA, 2006).

O potencial de competição das plantas daninhas com as plantas de café é elevado, sobretudo durante a fase de implantação da cultura, pois a capacidade das plantas invasoras em absorver água e nutrientes é muito maior comparativamente (TOLEDO et al., 1996; DIAS et al., 2004). A recomendação é manter a linha de plantio livre de plantas daninhas, a fim de evitar a interferência, que pode prejudicar seriamente a produção e a qualidade do café (RONCHI E SILVA, 2006; SILVA E RONCHI, 2004).

O controle das plantas daninhas na linha de plantio pode ser feito por capinas manuais, porém, nem sempre isso é possível, devido a escassez de mão-de-obra que, além disso, é de baixo rendimento operacional e alto custo por área (RODRIGUES et al., 2003). Por outro lado, o controle de plantas daninhas com herbicida seletivo aplicado em pré ou pós-emergência das plantas daninhas, ou por herbicida não-seletivo aplicado de forma dirigida é de baixo custo além de permitir rapidez de operação (RONCHI et al., 2001; FRANÇA et al., 2010a).

O sucesso na atividade da cafeicultura está condicionado em obter maior produtividade ou redução nos custos de produção, ou pela otimização dos fatores da cadeia produtiva, dentre os quais se enquadra o adequado manejo das plantas daninhas (ALCÂNTARA E FERREIRA, 2000; RONCHI et al., 2001). Neste caso, os cafeicultores

fazem em usa maioria o controle químico, com a utilização do glyphosate, devido às suas melhores características econômicas.

O glyphosate apresenta ação sistêmica e largo espectro de controle de plantas daninhas, mas não é seletivo para as culturas (FRANZ et al., 1997). Portanto, deve-se ter cuidado com a aplicação dirigida, com a pressão de trabalho do pulverizador, com a altura da barra, com a velocidade de operação e com o vento na hora da aplicação do herbicida (FREITAS et al., 2005; COSTA et al., 2007; FERREIRA et al., 2007), além da temperatura e umidade relativa. Equipamentos auxiliares também podem ser usados, como barreiras físicas, formando proteção para a cultura, evitando o contato das gotas aspergidas com a planta, assim como, pontas com indução de ar no pulverizador (FRANÇA et al., 2010a).

Apesar dos cuidados observados em aplicações dirigidas de glyphosate é comum ocorrer intoxicações de plantas de café, devido à dispersão de gotas para as plantas não alvo – esse fenômeno é identificado como deriva (RODRIGUES et al., 2003; RONCHI E SILVA, 2004). A deriva do glyphosate em plantas de café causa clorose e estreitamento do limbo foliar, além de redução no acúmulo de nutrientes nas folhas e menor crescimento das plantas (FRANÇA et al., 2010a; FRANÇA et al., 2010b).

Atribui-se esse efeito a caso do glyphosate que inibe a enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase e, conseqüentemente, afeta a via ácido chiquímico. Os aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano são exclusivamente sintetizado nesta rota, assim como muitos outros metabólitos secundários derivados destes aminoácidos. As últimas conseqüências da ação do glyphosate incluem a menor taxa de crescimento, clorose e necrose, principalmente em tecidos jovens (GRAVENA et al., 2009).

Diversos trabalhos evidenciam mudanças induzidas pelo glyphosate nos parâmetros fotossintéticos (MACHADO et al., 2010, ZOBIOLE et al., 2010). A conseqüência teve efeito negativo direto do glyphosate sobre a redução da taxa metabólica da planta, pode ser expresso por parâmetros ligados ao processo fotossintético e pela eficiência do uso da água de uma planta. Além do herbicida, vários outros fatores influenciam de forma direta ou indiretamente a taxa fotossintética, como: déficit hídrico, estresse térmico, concentração interna e externa de gases e composição e intensidade da luz (CONCENÇO et al., 2008). Portanto, a ação desses fatores de forma isolada ou associada pode promover redução na produtividade da cultura em conseqüência da redução da taxa fotossintética da planta.

Um dos parâmetros que pode ser afetado pelo glyphosate é a condutância estomática que está ligada a eficiência de uso da água pelas plantas. A água transpirada pela cultura, na sua quase totalidade, é perdida pelos estômatos. Além disso, segundo Pereira et al. (2002), os estômatos controlam a intensidade de água transpirada ou perdida para a atmosfera. A transpiração é a perda de vapor d'água pelas plantas; assim, plantas que possuem altas taxas de absorção de CO<sub>2</sub> apresentam grande perda por transpiração pelos estômatos (KLAR, 1984), podendo as alterações, na abertura estomática, resultarem em mudanças na transpiração. A eficiência do uso água consiste na relação entre a água transpirada por matéria seca produzida, ou seja, quanto menor o valor desta relação mais eficiente será a planta.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações nas características fotossintéticas e do uso eficiente da água por plantas de cafeeiro submetidas à aplicação de glyphosate.

## 2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, E. N.; FERREIRA, M. M. Efeitos de métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sobre a qualidade física do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 24, n. 4, p.711-721, 2000.

ASPIAZÚ, I. et al. Eficiência fotosintética y de uso del agua por malezas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 87-92, 2010.

KLAR, A.E. Evapotranspiração. In: **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1984. 408 p.

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**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 371-378, 2006.

CONCENÇO, G. et al. Fotossíntese de biótipos de azevém sob condição de competição. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 595-600, 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**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 203-210, 2007.

DIAS, G. F. S.; ALVES, P. L. C. A.; DIAS, T. C. S. *Brachiaria decumbens* suppresses the initial growth of coffee. **Sci. Agric.** v. 61, n. 6, p. 579-583, 2004.

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**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 397-404, 2005.

- FERREIRA, L. R. et al. Tecnologia de aplicação de herbicidas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p. 326-367.
- FRANÇA, A. C. et al. Crescimento de cultivares de café arábica submetidos a doses do glyphosate. **Planta Daninha**. Viçosa, 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, v. 28, n. 4, p. 877-885, 2010b.
- FRANZ, J. E.; MAO, M. K.; SIKORSKI, J. A. **Glyphosate: a unique global herbicide**. Washington, DC: American Chemical Society, 1997. 678 p.
- FREITAS, F. C. L. et al. Distribuição volumétrica de pontas de pulverização turbo teejet 11002 em diferentes condições operacionais. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 161-167, 2005.
- INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION - ICO.  
[http://www.ico.org/pt/trade\\_statistics.asp?section=Estatística](http://www.ico.org/pt/trade_statistics.asp?section=Estatística). Acesso em: 13 Jul. 2011.
- NAVES-BARBIERO, C. C. et al. Fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies lenhosas sempre verdes no campo sujo e cerrado. **R. Bras. Fisiol. Veg.** v. 12, n. 1, p. 119-134, 2000.
- OLIVEIRA, A. R.; FREITAS, S. P.; VIEIRA, H. D. Interferência de trapoerabas no desenvolvimento de mudas de café. **Agronomia**. v. 39, n. 1-2, p. 17-21, 2005.
- 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.
- PITELLI, R. A. Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas. **Inf. Agropec.**, v. 120, p. 16-27, 1985.
- RODRIGUES, G.J. et al. Eficiência de uma barra de pulverização para aplicação de herbicida em lavouras de café em formação. **Planta Daninha**. Viçosa, v.21, n.3, p.459-465, 2003.
- RONCHI, C. P. et al. Acúmulo de nutrientes pelo cafeeiro sob interferências de plantas daninhas. **Planta Daninha**. Viçosa, v. 21, n. 3, p. 421-426, 2003.
- RONCHI, C. P.; SILVA, A. A. Effects of weed species competition on the growth of young coffee plants. **Planta Daninha**. Viçosa, v. 24, n. 3, p. 415-423, 2006.
- RONCHI, C. P.; SILVA, A. A. Weed control in young coffee plantations through post-emergence herbicide application onto total area. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 607-615, 2004.
- GRAVENA, R. et al. Low glyphosate rates do not affect *Citrus limonia* (L.) Osbeck seedlings. **Pest Management Science**. v. 65, n. 4, p.420-425, 2009.

MACHADO, A. F. L. et al. Eficiência fotossintética e uso da água em plantas de eucalipto pulverizadas com glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 319-327, 2010.

RONCHI, C. P.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R. **Manejo de plantas daninhas em lavouras de café**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitopatologia, 94 p. 2001.

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. (Eds.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. p. 337-396.

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.

ZOBIOLE, L. H. S. et al. Nutrient accumulation and photosynthesis in glyphosate-resistant soybeans is reduced under glyphosate use. **Journal of Plant Nutrition**. v. 33, n. 12, p. 1860-1873, 2010.

### 3 ARTIGO I

#### GLYPHOSATE: MODO E MECANISMO DE AÇÃO E SEUS EFEITOS

##### RESUMO

Atualmente, a preocupação com aplicações de glyphosate tem gerado muitos estudos, tanto por sua aplicação em área total como, por sua utilização em culturas arbóreas em aplicações dirigidas. O glyphosate é usado em aplicação em área total nas lavouras de culturas resistentes ao produto, porém alguns trabalhos mostram resultados danosos a culturas quando se avalia a fisiologia. A utilização do herbicida em culturas arbóreas requer muito cuidado com a aplicação do produto, podendo ser aplicado de forma dirigida sobre as plantas daninhas e evitando o contato com a cultura. No entanto, impedir que o produto disperse para a cultura nem sempre é possível, pois intoxicações visuais são relatadas por produtores. A compreensão dos efeitos do glyphosate sobre a fisiologia de culturas pode auxiliar na explicação dos efeitos do herbicida sobre culturas resistentes ou de sua deriva sobre culturas arbóreas. Neste trabalho, foram revisados estudos sobre o glyphosate organizados em três partes que lidam (i) do contato do herbicida com a folha até a chegada no local do mecanismo de ação, (ii) processo da primeira lesão bioquímica ou biofísica do glyphosate e (iii) dos efeitos do herbicida nos parâmetros fisiológicos.

**Palavras chave:** EPSPs, condutância estomática, transpiração, mecanismo de ação.

##### ABSTRACT

Currently, the concern with glyphosate applications has generated many studies, both for its application in total area as per its use in tree crops in targeted applications, due to the effects observed in the cultures. Glyphosate is used in total area applications for crops resistant plantations for the control of many weeds, but some studies show the damaging results to crops when evaluating the physiology. The use of the herbicide in tree crops require very careful application of the product, that should be targetely applied on the weeds and avoiding contact with the culture. However, to prevent that the product disperse to the crop is not always possible, as visual poisoning are reported by producers. The understanding of glyphosate effects on the physiology of crops may help explain the effects of the herbicide on resistant crops or their stems on tree crops. In this work, were reviewed studies on glyphosate that have been organized into three parts that dealing (i)

herbicide contact with the leaf until the arrival in place of the mechanism of action of the herbicide, (ii) process of the first biophysical or biochemical lesion of glyphosate and (iii) the effects of the herbicide in physiological parameters linked to photosynthesis.

**Key words:** EPSPs, condutância estomática, transpiração, mecanismo de ação.

### 3.1 INTRODUÇÃO

O glyphosate normalmente é fabricado na forma de sal isopropilamina, formulação concentrado solúvel, com 360 gramas de equivalente ácido (e.a.) por quilograma do produto comercial; ou também, como sal de amônio, formulado em grânulos dispersíveis em água, com 720 g e.a.  $\text{kg}^{-1}$ ; e sal potássico, formulação concentrado solúvel, com 500 g e.a.  $\text{kg}^{-1}$  (GAZZIERO et al., 2009). O glyphosate é pouco solúvel em solventes orgânicos comuns e bastante solúvel em água e possui meia-vida em torno de 47 dias (CENTENO, 2009).

O glyphosate é o herbicida mais aplicado isoladamente ou em mistura, no Brasil e no Mundo, proporcionando controle de muitas espécies de plantas daninhas (BERVALD et al., 2010). Apresenta baixa toxicidade a vida aquática e terrestre (LUCHINI, 2009). No Brasil, é recomendado para o controle de mais de 150 espécies de plantas daninhas, incluindo monocotiledôneas e dicotiledôneas, anuais e perenes. Em lavouras de culturas perenes, recomenda-se precaução durante a aplicação, para que as folhas e as partes verdes da cultura não sejam atingidas, devido ao herbicida apresentar ação sistêmica e não ser seletivo (MAPA, 2011).

Logo após a introdução comercial deste herbicida, foram conduzidos trabalhos com o objetivo de avaliar os danos devido à deriva durante a aplicação, constatando-se diferentes graus de intoxicação em função da idade da planta, local de aplicação na planta, maturidade do tecido e dose do herbicida (TUCKER, 1977).

O herbicida possui ação sistêmica em pós-emergência, largo espectro de controle de plantas daninhas, mas não é seletivo para as culturas (FRANZ et al., 1997), exceto para algumas culturas transgênicas que possuem o gene de resistência ao glyphosate. O herbicida possui eficácia dependente de processos como a retenção da molécula na superfície foliar, a penetração foliar, a translocação na planta até o sítio de ação (KIRKWOOD E MCKAY, 1994). Este herbicida atua inibindo a enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs) (TREZZI et al., 2001; AMARANTE-JUNIOR et al., 2002), afetando a via metabólica do chiquimato, sendo esta responsável

pela síntese de aminoácidos essenciais para a formação de proteínas e, também, alguns metabólitos secundários (KRUSE et al., 2000).

Diversos estudos têm avaliado as mudanças induzidas pelo glyphosate nos parâmetros fisiológicos das plantas que pode ter um efeito direto ou indireto sobre a fotossíntese (GRAVENA et al, 2009; CEDERGREEN E OLESEN, 2010; MACHADO et al., 2010; ZOBIOLE et al., 2010a; DING et al., 2011). Alteração bioquímica importante, que foi medida em doses baixas de glyphosate, é um aumento da concentração de ácido chiquímico nos tecidos (VELINI et al., 2008; LASSITER et al., 2007), podendo resultar em diversas reações e efeitos indiretos sobre a fotossíntese. Assim como, a concentração de clorofila que pode implicar em efeitos indiretos na taxa de fotossíntese (GRAVENA et al., 2009).

Constata-se com base nos diversos artigos consultados que a ação do glyphosate na planta é consequência de seus efeitos sobre as características fisiológicas ligadas a fotossíntese das plantas cultivadas. Esta revisão está organizada em três partes que lidam (i) do contato do herbicida com a folha até a chegada no local do mecanismo de ação, (ii) processo da primeira lesão bioquímica ou biofísica do glyphosate e (iii) dos efeitos do herbicida nos parâmetros fisiológicos.

### **3.2 MODO DE AÇÃO**

O glyphosate após ser aplicado sobre a planta é absorvido pelas folhas e translocado para os tecidos meristemáticos, preferencialmente via floema. Sua eficácia é dependente da retenção da molécula na superfície foliar, da penetração, absorção foliar, da translocação na planta até o sítio de ação e da inibição da enzima EPSPs (KIRKWOOD E MCKAY, 1994).

A absorção do glyphosate inicia basicamente com rápida penetração pela cutícula ou membrana plasmática (SATICHIVI et al., 2000). A cutícula é primariamente apolar, mas existem diferenças com relação ao grau de hidrofobicidade devido a composição química das ceras (CASTRO et al. 2005). Essas diferenças podem refletir na absorção do glyphosate, resultando em menor eficiência do produto quando a cutícula é mais hidrofóbica (CHACHALIS et al. 2001). Outros fatores como umidade superficial, idade da folha, estágio de crescimento, entre outros, vão influenciar diretamente a absorção. O principal processo de transporte do glyphosate através cutícula é a difusão, consequentemente, o gradiente de concentração entre a região de deposição e o interior da

planta influencia a absorção (ERICKSON E DUKE, 1981). O glyphosate quando está em baixas concentrações no apoplasto, necessita de mediador ativo para a sua absorção, provavelmente transportador de fosfato, todavia quando o produto se encontra em altas concentrações, o processo predominante é a difusão (HETHERINGTON et al., 1998).

O glyphosate penetra na planta através da cutícula e membrana plasmática dos tecidos fotossintetizantes, sendo necessário que ocorra a translocação simplástica, através de tecidos vasculares, para os sítios-alvo do herbicida (SATICHIVI et al. 2000).

O processo de absorção do glyphosate é preferencialmente nas folhas e após envolver primeiramente uma rápida penetração inicial através da cutícula, segue-se por absorção simplástica lenta, que é um processo essencial para a eficácia do herbicida (WANAMARTA E PENNER, 1989). A entrada do herbicida no ambiente simplasto possui duas hipóteses, a primeira é através da acidificação do apoplasto pela bomba de íons, que ao mesmo tempo e em contra partida, influencia a entrada da molécula do glyphosate na célula; outra hipótese seria a mutação de algum transportador específico auxiliar a entrada do herbicida no simplasto (DINELLI et al., 2006). Todo esse processo é influenciado por diversos fatores, como espécie e idade da planta, condições ambientais, concentração do herbicida, do surfatante utilizado no produto comercial e quanto ao método de aplicação utilizado (MONQUERO et al., 2004).

O herbicida é absorvido pelo tecido vivo e translocado, via floema, logo após sua absorção pelas plantas, dos pontos de aplicação situados nas folhas até os órgãos drenos da planta (HONEGGER et al., 1986). A translocação do glyphosate segue a rota dos produtos da fotossíntese (açúcares), indo das folhas fotossinteticamente ativas em direção às partes das plantas que utilizam estes produtos, estabelecendo-se trajetória da fonte para o dreno (CASELEY E COUPLAND, 1985). Neste caso, o glyphosate movimenta em direção aos órgãos da planta que estão utilizando os fotoassimilados para o crescimento, manutenção, metabolismo ou armazenamento, como: folhas jovens, zonas meristemáticas, raízes, tubérculos e rizomas.

O movimento do herbicida até os órgãos drenos da planta é influenciado diretamente pela quantidade de fotoassimilados que seguem a mesma rota, que por sua vez muda durante o ciclo de vida da planta. Fotoassimilados são produtos da fotossíntese, dessa forma, condições que favoreçam a fotossíntese aumentam o fluxo da rota dos fotoassimilados e auxiliam a translocação do glyphosate (DELLACIOPPA et al., 1986).

### 3.3 MECANISMO DE AÇÃO

O ponto inicial que deve ser esclarecido sobre o termo mecanismo de ação é que corresponde ao primeiro ponto do metabolismo das plantas onde o herbicida atua. Assim, o mecanismo de ação é normalmente o primeiro de uma série de eventos metabólicos que resultam na expressão final do herbicida sobre a planta.

Os herbicidas geralmente inibem proteína ou enzima que possuem funções essenciais nas plantas (COLE et al., 2000). Os herbicidas inibidores de aminoácidos aromáticos inibem uma enzima da planta, impedindo a biossíntese de aminoácidos aromáticos, proteínas e ácidos nucleicos, processos que são vitais em plantas (GLASS, 1987; TAN et al., 2006).

Os animais não possuem rota de síntese de aminoácidos necessários, eles obtêm alguns aminoácidos de plantas ou bactérias, sendo assim, herbicidas que inibem a biossíntese de aminoácidos tem menor impacto sobre animais do que herbicidas que possuem outros mecanismos de ação (READE E COBB, 2002).

A atuação do glyphosate nas plantas é inibindo a ação da enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs), impedindo diretamente a síntese de aminoácidos aromáticos, 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.

Na literatura observa-se trabalhos evidenciando que o glyphosate é pouco metabolizado nas plantas (COUPLAND, 1985). Entretanto, até 40 % do herbicida foi metabolizado por plantas de *Commelina benghalensis*, produzindo ácido aminometilfosfônico (AMPA), indicando este como provável mecanismo de tolerância desta planta daninha (MONQUEIRO et al., 2004).

A enzima EPSPs catalisa a reação na qual chiquimato-3-fosfato (S3P) reage com fosfoenolpiruvato (PEP), formando 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato (EPSP) e fósforo inorgânico (Pi) (Franz et al., 1997). Primeiro ocorre a ligação da enzima EPSPs ao S3P, formando o complexo EPSPs-S3P, e posteriormente a PEP se liga a esse complexo. A inibição da enzima EPSPs pela ação do glyphosate, afeta a rota metabólica do ácido chiquímico, a qual produz os três aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano. Além disso, essa rota é responsável pela formação dos compostos fenólicos, que podem representar até 35% da biomassa vegetal (BOUDET et al., 1985).

Com a inibição da enzima EPSPs, ocorre interferência na entrada de carbono na rota do chiquimato pelo aumento da atividade da enzima 3-deoxi-D-arabinoheptulose-7-fosfato sintase (DAHPS), que catalisa a condensação de eritrose-4-fosfato com PEP, considerada a enzima reguladora da rota (DEVINE et al., 1993a), o que provoca altos níveis de ácido chiquímico, já que a rota é interrompida pela inibição da EPSPs (PINTO et al., 1988). O importante efeito da inibição da EPSPs sobre a produção fotossintética é através da desregulação da rota do chiquimato que gera o acúmulo de ácido chiquímico, forte dreno de carbono no Ciclo de Calvin, pelo desvio de eritrose-4-fosfato que seria utilizado na regeneração da RuBP (SHIEH et al., 1991).

O glyphosate se liga ao complexo EPSPs-S3P no lugar da PEP, e sua afinidade com o mesmo é 75 vezes maior do que a do PEP e a velocidade de dissociação do glyphosate do sítio de ação é 2000 vezes menor do que a do PEP (REAM et al., 1992). A ligação do glyphosate a EPSPs é possivelmente a um sítio alostérico, resultando em alterações estruturais do sítio de ligação da PEP (READE E COBB, 2002), impedindo a formação do corismato (ZABLOTOWICZ E REDDY, 2007). Portanto, como consequência, há redução da biossíntese dos aminoácidos aromáticos, e também, proteínas e compostos secundários (BENTLEY, 1990; Franz et al., 1997) e acúmulo de ácido chiquímico em folhas e outros órgãos (LYDON e DUKE, 1988; BECERRIL et al., 1989; HERNANDEZ et al., 1999). Os sintomas típicos de intoxicação das plantas pelo herbicida glyphosate são a paralisação do crescimento, o amarelecimento dos meristemas e das folhas jovens, folhas com estrias ou avermelhadas com posterior necrose e morte das plantas (KARAM E OLIVEIRA, 2007). Em plantas de eucalipto os sintomas foram caracterizados como clorose, murcha e enrolamento das folhas dos ápices das plantas (MACHADO et al., 2010), já em plantas de café observaram-se clorose e estreitamento do limbo foliar (FRANÇA et al., 2010).

A rota do chiquimato representa a principal rota comum de produção dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano, constitui uma parte do metabolismo somente de plantas e microorganismos, não sendo encontrada em animais (HERRMANN E WEAVER, 1999). Nesta rota ocorre a conversão de PEP mais eritrose-4-fosfato em corismato e posterior conversão em aminoácidos aromáticos (HASLAM, 1993). Os aminoácidos aromáticos não são utilizados somente para a produção de proteínas em plantas, mas como precursores de um grande número de metabólitos secundários (pigmentos, flavonóides, auxinas, fitoalexinas, lignina e taninos) (HERRMANN, 1995).

Estima-se que, sob condições normais de desenvolvimento, 20% do carbono fixado pelas plantas pode ser direcionado para a rota do ácido chiquímico (HASLAM, 1993)

### **3.4 EFEITO DO GLYPHOSATE NA FOTOSÍNTESE**

Além do efeito singular na inibição da EPSPs, o glyphosate rompe a via de biossíntese de ácido indol-acético (AIA), responsável pelo crescimento radicular e por brotações novas (LEE, 1982), e outros compostos derivados do ácido chiquímico. A biossíntese de AIA pode independe do triptofano, mas depende do corismato para sua formação, como a síntese de corismato também é inibida, o produção de AIA também é paralisada pelo herbicida (LEE, 1982).

A fotossíntese não é o sítio de ação primária do herbicida, logo não há evidências comprovadas de como o glyphosate venha a afetá-la, de acordo com Cole (1985). Atualmente, estudos têm mostrado alterações na fotossíntese de culturas susceptíveis e resistentes, através da aplicação de subdoses do glyphosate, simulando a condição de campo onde ocorre deriva de frações da dose para plantas não alvo; ou aplicações de doses recomendadas em plantas de soja susceptíveis e resistentes (GRAVENA et al., 2009; CORRÊA E ALVES, 2010; MACHADO et al., 2010; ZOBIOLE et al., 2010a; ZOBIOLE et al., 2010b; ZOBIOLE et al., 2011; DING et al., 2011).

Subdoses de glyphosate aplicadas em planta de citros não reduziram a taxa de assimilação de carbono durante 12 dias avaliados após a aplicação de 720 g de glyphosate por hectare. Contudo, a condutância estomática e a transpiração reduziram após 8 dias da aplicação, mas se recuperaram após 4 dias. O tempo requerido para observar estes efeitos indica que a fotossíntese não é o modo primário de ação ou que o herbicida atua lentamente nos processos fotossintéticos (SPRANKLE et al., 1975a).

A taxa fotossintética de plantas de batata-doce submetidas a aplicação de glyphosate apenas mostraram menor taxa de assimilação de carbono em níveis superiores de irradiância durante o dia (SHIEH et al., 1991). O conjunto de compostos fenólicos pode ter efeitos importantes na absorção de luz, interferindo no processo fotossintético ou protegendo as plantas contra os efeitos da radiação ultravioleta (GITZ et al., 2004).

A clorose é o principal sintoma decorrente da aplicação de glyphosate, precocemente ou em folhas novas com o decorrer do tempo. O glyphosate pode causar produção inferior de ácido aminolevulínico (ALA), precursor da biossíntese de clorofila (NILSSON, 1985). Doses de glyphosate causaram redução do teor de clorofila em função

do aumento da dose, mesmo em culturas geneticamente modificadas com o gene de resistência ao glyphosate (ZOBIOLE et al., 2011). Os danos diretos do glyphosate no teor de clorofila resultam em diminuição da taxa fotossintética (REDDY et al., 2004). O menor valor de clorofila pode ser resultado da menor síntese ou da degradação da clorofila pelo glyphosate.

O acúmulo de ácido chiquímico ocasionado pela inibição da sua rota pelo glyphosate pode representar forte dreno de carbono no Ciclo de Calvin, devido ao desvio de eritrose-4-fosfato desta rota, ocorrendo assim queda na taxa fotossintética (SHIEH et al., 1991). Drástica redução na assimilação de carbono após aplicação de glyphosate foi mostrada por Fuchs et al. (2002). A quantidade de ácido chiquímico acumulado pela desregulação da sua rota representa forte dreno de carbono no ciclo de Calvin e desvio de eritrose-4-fosfato que seria empregado na regeneração de ribulose bifosfato. Essa hipótese também pode explicar a redução da produção fotossintética causada pela inibição na rota (GEIGER et al., 1986; GEIGER et al., 1987; SERVIATES et al., 1987; SHIEH et al., 1991).

Alguns trabalhos têm mostrado mudanças induzidas pelo glyphosate nos parâmetros fisiológicos que podem ter efeito direto ou indireto sobre a fotossíntese. O alto teor de ácido chiquímico sob aplicação de baixas doses de glyphosate pode ter muita importância, gerando estímulo no crescimento de plantas, enquanto que em soja resistente não se observou aumento no crescimento (VELINI et al., 2008). Com a redução do consumo de carbono na rota do ácido chiquímico é de esperar que ocorra acúmulo de açúcares e outros produtos da fotossíntese, o que pode resultar na retroinibição metabólica da fotossíntese. A sacarose, açúcar produzido pela fotossíntese, é hidrolisada em glicose e frutose (ROITSCH, et al., 2003). Experimentos com aplicação de dose reduzidas de glyphosate mostraram redução da hidrólise da sacarose, resultado da redução na produção de auxina, que causa o decréscimo da atividade de hidrólise da sacarose (SU et al., 1992), no entanto, somente este decréscimo não explicaria o acúmulo de sacarose e produção de biomassa (SU et al., 1992). O carregamento de sacarose pelo floema (VAUGHN et al., 2002), juntamente com o alongamento de células radiculares por mais tempo (DUKE et al., 2006), sustentam a hipótese de ambos criarem outro meio de consumo de carbono, mas ainda cabe comprovação desta hipótese. Cultivo em meio hidropônico mostrou acréscimo de 10 a 30% na relação matéria seca da raiz e parte aérea com aplicação de glyphosate, o

mesmo não ocorre em outras condições, tornando impossível a generalização da hipótese (CEDERGREEN, 2008).

A condutância estomática, regulada principalmente por hormônios como o ácido abscísico, produto da rota do ácido chiquímico, pode então influenciar no transporte de CO<sub>2</sub> até a parede celular e conseqüentemente alterar a concentração de CO<sub>2</sub> no ambiente da enzima ribulose-bisfosfato carboxilase/oxigenase (rubisco) (TAIZ E GEIGER, 2006; FLEXAS et al., 2008). A transpiração também sofre redução sob efeito da aplicação do glyphosate, possivelmente devido a condutância estomática. Plantas de ervilha, girassol e feijoeiro mostraram menor taxa de transpiração, possivelmente promovendo efeitos no fechamento dos estômatos (SHANNER, 1978). As células guarda controlam o fechamento dos estômatos e indiretamente a transpiração, portanto, há indicações de que são sensíveis a ação do glyphosate (SHANNER, 1978).

Os efeitos sobre o metabolismo provocados pela aplicação de subdoses de glyphosate possivelmente são rápidos e transitórios (GRAVENA, 2006); e ainda, são dependentes da espécie, idade da planta, condições ambientais no momento das aplicações, de adaptações edafoclimáticas, do tempo decorrido entre a deriva e efetivamente a coleta dos dados da planta. Trabalho com ampla gama de espécies mostrou que até a dose de 36 g de glyphosate por hectare gerou estímulo do crescimento, este efeito possui relação com aumento dos níveis de chiquimato (VELINI et al., 2008).

Muitos estudos mostram que o aumento do crescimento induzido não é apenas resultado da alocação de recursos para as partes avaliadas da planta, mas do que ocorre em toda a planta (CEDERGREEN, 2008). Para atingir esse aumento da biomassa, que varia na ordem de 10-25% da massa seca em uma semana ou mais, as plantas devem ou aumentar a taxa de fotossíntese ou diminuir a taxa de respiração em resposta às baixas doses de glyphosate (CEDERGREEN E OLSEN, 2010).

A inibição da rota do chiquimato pode também influenciar a maior rotatividade da ribulose-1,5-bisfosfato (RuBP) através do acúmulo e conseqüente aumento da utilização de eritriose-4-fosfato na via de regeneração da RuBP, que também pode influenciar em maior quantidade de carbono fixado (SHARKEY et al., 2007). Entretanto, ocorre inibição da fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPcase ou PEP), afetando negativamente a fotossíntese de plantas C<sub>4</sub> (DE MARIA et al, 2006; Colombo et al., 1998), podendo o acúmulo de ácido chiquímico ter efeito direto, embora o mecanismo ainda seja desconhecidos.

Apesar do glyphosate não agir primariamente sobre a fotossíntese, já se sabe por muitos trabalhos que mesmo doses reduzidas de glyphosate podem afetar a fotossíntese. O teor de clorofila consiste em forte explicação para as reduções na taxa de fotossíntese, principalmente pelo glyphosate causar queda na produção de clorofila. Alguns autores assumem que o acúmulo de ácido chiquímico representa forte dreno de carbono no ciclo de Calvin, ocorrendo queda taxa fotossintética, por outro lado, baixas dose de glyphosate geram estímulo no crescimento de plantas, ressaltando a redução do consumo de carbono na rota do ácido chiquímico e consequente maior investimento na regeneração da RuBP, porém a PEP é inibida pela ação do glyphosate. Outros aspectos importantes seriam o acúmulo de produtos da fotossíntese que resultam na sua inibição e, também, a menor síntese de ácido abscísico que regula a condutância estomática, que, por sua vez, afeta na entrada de CO<sub>2</sub> nos espaços intercelulares e a saída de H<sub>2</sub>O, através da transpiração.

### 3.5 LITERATURA CITADA

- AMARANTE-JÚNIOR, O.P.; SANTOS, T.C.R.; BRITO, N.M.; RIBEIRO, M.L. Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. **Química Nova**, v.25, n. 4, p.589-593, 2002.
- BECERRIL, J. M.; DUKE, S. O.; LYDON, J. Glyphosate effect on shikimate pathway products in leaves and flowers of velvet leaf. **Phytochemistry**, Oxford, v. 28, n. 3, p. 695-699, 1989.
- BENTLEY, R. The shikimate pathway: a metabolic tree with many branches. **Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology**, New York, v. 25, n. 5, p. 307-384, 1990.
- BERVALD, C. M. P.; et al. Desempenho fisiológico de sementes de soja de cultivares convencional e transgênica submetidas ao glifosato. **R. Bras. Sem.** v. 32, n. 2, p. 009-018, 2010.
- BOUDET, A. M.; GRAZIANA, A.; RANJEVA, R. Recent advances in the regulation of the prearomatic pathway. In: VAN SUMERE, C. F.; LEA, P. J. (Eds.). **Biochemistry of Plant Phenolics**. Oxford: Claredon Press, 1985, p. 135- 159.
- BRIDGES, D. C. Glyphosate-type herbicidas. In: BRIDGES, D. C. **Herbicide action course**. West Lafayette: Purdue University, 2003. p. 501-513.
- CASELEY, J. C.; COUPLAND, D. Environmental and plant factors affecting glyphosate uptake movement and acidity. In: GROSSBARD, E.; ATKINSON, D. A. **The herbicide glyphosate**. London: Butterworths, 1985. p. 92-123.
- CASTRO, P. R. C. et al. **Manual de fisiologia vegetal: teoria e prática**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2005, 651 p.

- CEDERGREEN, N. Herbicides can stimulate plant growth. **Weed Res.** v. 48, n. 5, p. 429-438, 2008.
- CEDERGREEN, N.; OLESEN, C. F. Can glyphosate stimulate photosynthesis? **Pest Biochemistry and Physiology.** v. 96, n. 3, p. 140-148, 2010.
- CENTENO, A. J. Glyphosate: uma visão ambiental. In: VELINI, E. D. et al. **Glyphosate.** Botucatu: Fepaf, 2009. p. 145-152.
- CHACHALIS, D. et al. Characterization of leaf surface, wax composition, and control of redvine and trumpetcreeper with glyphosate. **Weed Science.** Champaign, v. 49, n. 3, p. 156-163, 2001.
- COBB, A. Auxin-type herbicides. In: **Herbicides plant physiology.** PRESS, T. J. Cornwall, 1992, p. 82-125.
- COLE, D. J. Mode of action of glyphosate – a literature analysis. In: GROSSBARD, E.; ATKINSON, D. A. (Ed). **The herbicide glyphosate.** London: Butterworths, 1985. p.48-74.
- COLE, D. J.; PALLET, K.; RODGERS, M. Discovering new modes of action for herbicides and the impact of genomics. **Pesticide Outlook,** Piccadilly, v. 11, n. 6, p. 223-229, 2000.
- COLOMBO, S. L.; ANDREA, C. S.; CHOLLET, R. The interaction of shikimic acid and protein phosphorylation with PEP carboxylase from the C-4 dicot *Amaranthus viridis*. **Phytochemistry.** v. 48, n. 1, p. 55-59, 1998.
- 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.
- COUPLAND, D. Metabolism of glyphosate in plants. In: GROSSBARD E.; ATKINSON, D. A.(Ed.). **The herbicide glyphosate.** London: Butterworths, 1985. p. 25-34.
- DE MARIA, N et al. New insights on glyphosate mode of action in nodular metabolism: role of shikimate accumulation. **J. agric. Food Chem.** v. 54, n. 7, p. 2621-2628, 2006.
- DELLACIOPPA, G. et al. Translocation of the precursor of 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase into chloroplasts of higher plants *in vitro*. **Proc. National Acad. Sci. USA,** v. 83, n. 18, p. 6973-6877, 1986.
- DEVINE, M. D.; BANDENN, J. D.; MCKERSIE, B. D. Temperature effects on glyphosate absorption, translocation and distribution quack grass (*Agropyron repens*). **Weed Science.** Champaign, v. 31, n. 4, p. 461-464, 1993a.
- DEVINE, M. D.; DUKE, S. O.; FEDTKE, C. **Physiology of herbicide action.** New Jersey: P T R Pretince Hall Englewood Cliffs, 1993b. 441p.
- DINELLI, G. et al. Physiological and molecular insight on the mechanisms of resistance to glyphosate in *Conyza Canadensis* (L.) Cronq. Biotypes. **Pesticide Biochemistry and Physiology.** v. 86, n. 1, p. 30-41, 2006.

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.

DUKE, S. O. et al. Hormesis: is it an important factor in herbicide use and allelopathy? **Outlooks Pest Manag.** v. 17, n. 1, p. 899-906, 2006.

ERICKSON, C. G.; DUKE, W. B. The effect of glyphosate and surfactant concentrations on penetration and translocation in quack grass. **Proc. Northeast. Weed Science.** v 35, n. 1, p. 52, 1981.

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

FLEXAS, J. et al. Mesophyll conductance to CO<sub>2</sub>: current knowledge and future prospects. **Plant Cell Environ.** v. 31, n. 5, p. 602-621, 2008.

FRANZ, J. E.; MAO, M. K.; SIKORSKI, J. A. **Glyphosate**: a unique global herbicide. Washington, DC: American Chemical Society, 1997. 678 p.

FUCHS, M. A. et al. Mechanisms of glyphosate toxicity in velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medikus). **Pesticide Biochemistry and Physiology**. San Diego, v. 74, n. 1, p. 27-39, 2002.

GAZZIERO, D. L. P.; ADEGAS, F.; VOLL, E. Plantio direto no Brasil e o glyphosate. In: VELINI, E. D. et al. **Glyphosate**. Fepaf: Botucatu, 2009.p. 191-210.

GEIGER, D. R.; KAPITAN, S. W.; TUCCI, M. A. Glyphosate inhibits photosynthesis and allocation of carbon to starch in sugar beet leaves. **Plant Physiology**, Rockville, v. 82, n. 2, p. 468-472, 1986.

GEIGER, D. R.; TUCCI, M. A.; SERVIATES, J. C. Glyphosate effects on carbon assimilation and gas exchange in sugar beet leaves. **Plant Physiology**, Rockville, v. 85, n. 2, p. 365-369, 1987.

GITZ, D. C. et al. Effect of a PAL inhibitor on phenolic accumulation and UV-B tolerance in *Spirodela intermedia* (Koch). **Journal of Experimental Botany**. Oxford, v. 55, n. 398, p. 919-927, 2004.

GLASS, R. L. Adsorption of glyphosate by soils and clay minerals. **Journal of the Agricultural and Food Chemistry**, v. 35, n. 4, p. 497-500, 1987.

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.

GRAVENA, R. **Respostas bioquímicas e fisiológicas de plantas de citros atingidas pelo glyphosate**. 2006. 144 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

HASLAM, E. **Shikimic acid: metabolism and metabolites**. Chinchester: John Wiley, 1993. 392 p.

- HERNANDEZ, A.; GARCÍA-PLAZAOLA, J. I.; BECERRIL, J. M. Glyphosate effects on phenolic metabolism of nodulated soybean (*Glycine max* L. Merr.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, DC, v. 47, n. 7, p. 2920-2925, 1999.
- HERRMANN, K. M. The shikimate pathway: early steps in the biosynthesis of aromatic compounds. **The Plant Cell**, Rockville, v. 7, n. 7, p. 907-919, 1995.
- HERRMANN, K. M.; WEAVER, L. M. The shikimate pathway. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, p. 473-503, 1999.
- HETHERINGTON, P. R. et al. Absorption and efflux of glyphosate by cells suspensions. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 49, n. 320, p. 527-533, 1998.
- HONEGGER, J. L. et al. Glyphosate transport in plants. In: CORNSHAW, J.; LUCAS, W. J.; GIAQUINTA, R. T. **Phloem transport**. New York: A. R. Liss, 1986. p. 216-268.
- KARAM, D.; OLIVEIRA, M. F. **Seletividade de herbicidas na cultura do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2007. 8p. (Circular técnica, n. 98).
- KIRKWOOD, R. C.; MCKAY, I. Accumulation and elimination of herbicides in select crop and weed species. **Pestic. Sci.**, v. 42, n. 2, p. 241-249, 1994.
- KRUSE, N.D.; TREZZI, M.M.; VIDAL, R.R. Herbicidas inibidores da EPSPS: revisão de literatura. **R. Bras. Herbicidas**, v.1, n.2, p.139-146, 2000.
- LASSITER, B. R. et al. Yield and physiological responses of peanut to glyphosate drift. **Weed Technology**, v. 21, n. 4, p. 954-960, 2007.
- LEE, T.T. Mode of action of glyphosate in relation to metabolism of indole-3-acetic acid. **Physiologia Plantarum**. v. 54, n. 3, p. 289-294, 1982.
- LUCHINI, L. C. Considerações sobre algumas propriedades físico-químicas do glyphosate. In: VELINI, E. D. et al. **Glyphosate**. Botucatu: Fepaf, 2009. p. 21-30.
- LYDON, J.; DUKE, S. O. Glyphosate induction of elevated levels of hydroxybenzoic acids in higher plants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, DC, v. 36, n. 4, p. 813- 818, 1988.
- 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**. Viçosa, v. 28, n.2, p. 319-327, 2010.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. <http://www.agricultura.gov.br/>, acesso em 12/08/2011.
- MONQUERO, P. A. et al. Absorção, translocação e metabolismo do glyphosate por plantas tolerantes e suscetíveis a este herbicida. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 445-451, 2004.

NILSSON, G. Interactions between glyphosate and metals assencial for plant growth. In: GROSSBARD, E.; ATKINSON, D. (Ed.). **The herbicide glyphosate**. London: Butterworths e Co. Ltda., 1985, p. 35-47.

PINTO, J. E. B. P. et al. Glyphosate induces 3- deoxy-D-arabino-heptulosonate 7-phosphate synthase in potato (*Solanum tuberosum* L.) cells grown in suspension culture. **Plant Physiology**, Rockville, v. 87, n. 4, p. 891-893, 1988.

READE, J. P. H.; COBB, A. H. Herbicides: modes of action and metabolism. In: NAYLOR, R. E. L. **Weed management handbook**. Blackwell Science: Oxford, 2002. p. 134-170.

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

REAM, J. E. et al. EPSP synthase: binding studies using isothermal titration microcalorimetry and equilibrium dialysis and their implications for ligand recognition and kinetic mechanism. **Biochemistry**, Nashville, v. 34, n. 24, p. 5528-5534, 1992.

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

ROITSCH, M. et al. Extracellular invertase: key metabolic enzyme and PR protein. **J. Exp. Bot.** v. 54, n. 382, p. 513-524, 2003.

SATICHIWI, N. M. et al. Absorption and translocation of glyphosate isopropylamine and trimethylsulfonium salts in *Abutilon theophrasti* and *Setaria faberi*. **Weed Science**, v. 48, n. 6, p. 675-679, 2000.

SERVIALES, J. C.; TUCCI, M. A.; GEIGER, D. R. Glyphosate effects on carbon assimilation, ribulose biphosphate carboxylase activity, and metabolite levels in sugar beet leaves. **Plant Physiology**, Rockville, v. 85, n. 2, p. 370-374, 1987.

SHANER, D. L. Effects of glyphosate on transpiration. **Weed Science**. v. 26, n. 5, p. 513-516, 1978.

SHARKEY, T. D. et al. Fitting photosynthetic carbon dioxide response curves for C-3 leaves. **Plant Cell Environ.** v. 30, n. 9, p. 1035-1040, 2007.

SHIEH, W. J.; GEIGER, D. R.; SERVIALES, J. C. Effect of N-(Phosphonomethyl) glycine on carbon assimilation and metabolism during a simulated natural day. **Plant Physiology**, Rockville, v. 97, n. 3, p. 1109-1114, 1991.

SPRANKLE, P.; MEGGITT, W. F.; PENNER, D. Absorption, action, and translocation of glyphosate. **Weed Science**. v. 23, n. 2, p. 235-240, 1975a.

SILVA, A. A. et al. Herbicidas: Classificação e mecanismo de ação. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007. p.63-81.

SUN, L. Y.; DELACRUZ, A.; MOORE, P. H.; MARETZKI, A. The relationship of glyphosate treatment to sugar metabolism in sugarcane – new physiological insights. **J. Plant Physiol.** v. 140, n. 2, p. 168-173, 1992.

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

TAN, S.; EVANS, R.; SINGH, B. Herbicidal inhibitors of amino acid biosynthesis and herbicide-tolerant crops. **Amino Acids**, Vienna, v. 30, n. 2, p. 195-204, 2006.

TREZZI, M. M.; KRUSE, N. D.; VIDAL, R.A. Inibidores de EPSPS. In: VIDAL, R.A.; MEROTTO JR, A. (Ed.). **Herbicidologia**, Porto Alegre, p. 37-45, 2001.

TUCKER, D. P. H. Glyphosate injury symptom expression in citrus. **HortScience**, Alexandria, v. 12, n. 5, p. 498-500, 1977.

VAUGHN, M. W.; HARRINGTON, G. N.; BUSH, D. R. Sucrose-mediated transcriptional regulation of sucrose symporter activity in the phloem. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, v. 99, n. 16, p. 10876-10880, 2002.

VELINI, E. D. et al. Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. **Pest Manag. Sci.**, New York, v. 64, n. 4, p. 489-496, 2008.

WANAMARTA, G. D.; PENNER, D. Foliar absorption of herbicides. **Weed Sci.**, v. 4, n. 2, p. 215-231, 1989.

ZABLOTOWICZ, R. M.; REDDY, K. N. Impact of glyphosate on the *Bradyrhizobium japonicum* symbiosis with glyphosate-resistant transgenic soybean: a minireview. **J. Environ. Qual.** v. 33, n. 3, p. 825-831, 2004.

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.

ZOBIOLE, L. H. S. et al. 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.

ZOBIOLE, L. H. S. et al. Nutrient accumulation and photosynthesis in glyphosate-resistant soybeans is reduced under glyphosate use. **J. Plant Nutrit.** v. 33, n. 12, p. 1860-1873, 2010a.

ZOBIOLE, L. H. S. et al. 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.

## 4 ARTIGO II

### ATIVIDADE FOTOSSÍNTETICA DO CAFEIEIRO APÓS APLICAÇÃO DE SUBDOSES DE GLYPHOSATE

RESUMO - Para o controle de plantas daninhas em lavouras cafeeiras, os produtores utilizam herbicidas não-seletivos, como o glyphosate, empregado em aplicações dirigidas. Apesar de todos os cuidados com a aplicação, são constatados casos de intoxicação em plantas, sendo de fundamental importância o conhecimento dos efeitos sobre os processos fotossintéticos. Objetivou-se com este trabalho avaliar as características associadas à atividade fotossintética entre cultivares de café submetidos a subdoses crescentes de glyphosate. O experimento foi conduzido em casa de vegetação utilizando-se três cultivares de café (*Coffea arabica*): Acaia (MG-6851), Catucaí Amarelo (2 SL) e Topázio (MG-1190) e, três subdoses do glyphosate (0,0; 115,2 e 460,8 g ha<sup>-1</sup>), em esquema fatorial 3x3. Em função da aplicação do herbicida observou-se redução de carbono interno, razão carbono interno e do ambiente, consumo de carbono e taxa fotossintética, aos 15 DAA na quarta folha. Na mesma folha aos 45 DAA, constatou-se menor consumo de carbono pelos cultivares. Na última folha apesar de inferiores concentrações de carbono, não obteve-se diferença no consumo e taxa fotossintética. O glyphosate resulta em danos metabólicos com efeitos transitórios sobre a atividade fotossintética, sendo o cultivar Acaia o mais tolerante. Maiores diferenças entre os tratamentos foram obtidos na quarta folha, onde se aplicou o produto.

**Palavras-chave:** herbicida, EPSPs, *Coffea arabica*, taxa fotossintética.

ABSTRACT - For controlling weeds in coffee crops, farmers apply non-selective herbicides such as glyphosate, used in directed applications. Despite the care during application cases of poisoning in plants are normally recorded, being of fundamental importance the understanding of the effects on photosynthetic processes. The objective of this study was to evaluate the characteristics associated with the photosynthetic efficiency among coffee cultivars subjected to increasing subdoses of glyphosate. The experiment was conducted in a greenhouse using three varieties of coffee (*Coffea Arabica*): Acaia (MG-6851), Catucaí Amarelo (2 SL) e Topázio (MG-1190) and, three subdoses of glyphosate (0,0; 115,2 and 460,8 g ha<sup>-1</sup>), in a factorial 3x3. Due to herbicide application, there has been observed a reduction in inner and environment's carbon, carbon's

consumption and photosynthetic rate. The glyphosate results in metabolic damages with transitory effects on the photosynthetic activity, being the cultivar Acaiá the most tolerant. O efeito na taxa fotossintética pode ser transitório, mas esperam-se danos prolongados no crescimento da cultura. Major differences between treatments have been obtained in the fourth leave, where the product was applied.

**Keywords:** herbicide, EPSPs, *Coffea arabica*, photosynthetic hate.

#### 4.1 INTRODUÇÃO

O complexo cafeeiro representa significativo patamar no agronegócio, dado sua grande importância econômica e social no Brasil (MIRANDA et al., 2006). Todavia para os produtores garantirem a competitividade e a permanência na atividade, eles devem obter boa produtividade e um baixo custo (FRANÇA et al., 2010). Deste modo, o sucesso na atividade está condicionado em obter maior produtividade ou redução nos custos de produção, ou pela otimização dos fatores da cadeia produtiva, dentre os quais se enquadra o adequado manejo das plantas daninhas (ALCÂNTARA E FERREIRA, 2000; RONCHI et al., 2001).

Apesar de haver herbicidas seletivos para o cafeeiro podendo ser aplicados em pós-emergência (RONCHI et al., 2003), na maioria das vezes o manejo tem sido feito com a utilização do glyphosate que apresenta alta eficiência e baixo custo. Este produto é aplicado na linha de plantio de culturas perenes, de forma dirigida para que não atinja as folhas da cultura. Para isso deve-se evitar o carregamento das gotas menores pelo vento e o consequente contato com as folhas das plantas de café, ou seja, a deriva do produto.

Mesmo com todos os cuidados com a aplicação dirigida de produtos não-seletivos a cultura são constatados casos de intoxicação (RONCHI E SILVA, 2004). Tal preocupação possui representação na literatura, sendo relatados diversos trabalhos relacionados à simulação da deriva ou aplicação de subdoses de glyphosate em culturas, os quais avaliaram os efeitos nas culturas, como: milho (BROWN et al., 2009; REDDY et al., 2010), eucalipto (TUFFI SANTOS et al., 2007; MACHADO et al., 2010), algodão (YAMASHITA E GUIMARÃES, 2005; 2006), frutíferas (WAGNER JÚNIOR et al., 2008; PROCÓPIO et al., 2009; GRAVENA et al., 2009), hortaliças (FIQUEIREDO et al., 2007; RIGOLI et al., 2008) e pinhão-manso (COSTA et al., 2009).

França et al. (2010) avaliando o crescimento de plantas de café submetidas a subdoses de glyphosate, verificaram que, após 120 dias da aplicação, as plantas

recuperaram o seu crescimento da parte aérea e os sintomas visuais de intoxicação reduziram. No entanto, sintomas visuais de danos nem sempre estão correlacionados com perda da produtividade. Alguns herbicidas podem não causar sintomas visíveis nas plantas, mas podem comprometer o crescimento e o desenvolvimento delas durante o ciclo da cultura (CARVALHO et al., 2009), porém, danos as plantas podem ser avaliados pela sua influência indireta sobre as variáveis associadas à fotossíntese (TAIZ E ZEIGER, 2006).

O conhecimento de efeitos sobre as atividades fotossintéticas são de fundamental importância, visto que são responsáveis pelo acúmulo de toda a matéria orgânica da planta, e qualquer fator que interferir nesses processos interferirá no desenvolvimento (LOPES et al., 2009). Segundo Barela e Christoffoleti (2006) a redução na produtividade da cultura pode ser consequência da redução da taxa fotossintética da planta, dependendo do grau de intoxicação causado pelo herbicida. Deste modo, objetivou-se com este trabalho avaliar as características associadas à eficiência fotossintética de cultivares de café submetidos à subdoses de glyphosate.

#### 4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação utilizando-se três cultivares de café (*Coffea arabica*): Acaiá (MG-6851), Catucaí Amarelo (2 SL) e Topázio (MG-1190), tratadas com 3 subdoses de glyphosate. As mudas dos cultivares de café foram produzidas por semeadura direta em sacolas de polietileno. No estágio de cinco pares de folhas completamente expandidas, as plantas foram transplantadas para vasos contendo 10 L de substrato composto por amostra de solo peneirado e esterco de curral curtido (3:1). A amostra de solo foi de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico de textura argilo-arenosa. A análise química do solo apresentou o seguinte resultado: pH (água) de 4,7; teor de matéria orgânica de 2,4 dag kg<sup>-1</sup>; P e K de 2,3 e 48 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente; Ca, Mg, Al, H+Al e CTC<sub>efetiva</sub> de 1,4; 0,4; 0,6; 6,27 e 2,52 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Para fornecimento de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, utilizou-se de superfosfato simples (100 g por vaso), além de calcário dolomítico, a fim de elevar a saturação por bases a 60% (GUIMARÃES et al., 1999). Após o transplantio das mudas, os vasos permaneceram em casa de vegetação, sob sistema de irrigação por aspersão, até a aplicação dos tratamentos. Adicionaram-se cloreto de potássio (31,48 g por vaso) e uréia (10 g por vaso), parcelando aos 30 e 60 dias após o transplantio (GUIMARÃES et al., 1999).

O experimento foi instalado em esquema fatorial (3 x 3), sendo o primeiro fator correspondente aos cultivares de café e o segundo as subdoses de glyphosate, em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. As subdoses testadas foram: 0,0; 115,2 e 460,8 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate, correspondentes, respectivamente, a 0,0; 8,0 e 32,0% da dose comercial recomendada para o controle das plantas daninhas (1.440 g ha<sup>-1</sup>). A parcela experimental foi constituída de um vaso, contendo uma planta. Aos 120 dias após o transplantio, em setembro de 2008, quando as plantas de café se apresentavam com cerca de 21 pares de folhas e seis ramos plagiotrópicos, realizou-se a aplicação do glyphosate de modo que não se atingisse o terço superior das plantas de café, utilizando pulverizador costal pressurizado a CO<sub>2</sub>, calibrado na pressão constante de 250 kPa, munido com uma barra, com duas pontas de pulverização tipo leque (TT110.02) espaçadas de 50 cm entre si, o que proporcionou aplicação de 200 L ha<sup>-1</sup> de calda. No momento da aplicação, aferiu-se a temperatura do ar (25,3 °C ± 1), a umidade relativa do ar (80% ± 3) e a velocidade do vento (2 km h<sup>-1</sup>). Após a aplicação do glyphosate, as plantas permaneceram fora da casa de vegetação por 24 horas, protegidas do contato das folhas com a água de irrigação ou da chuva, visando evitar a lavagem do produto.

Aos 15 e 45 dias após aplicação do herbicida (DAA), avaliou-se a concentração de CO<sub>2</sub> da câmara subestomática ( $C_i$  - μmol mol<sup>-1</sup>) e a taxa fotossintética ( $A$  - μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), sendo ainda, calculado a partir dos valores de CO<sub>2</sub> de referência e na câmara de avaliação o CO<sub>2</sub> consumido pela planta ( $\Delta C$  - μmol mol<sup>-1</sup>) e a razão entre a concentração de CO<sub>2</sub> interna e do ambiente ( $C_i/C_a$ ). As avaliações foram realizadas na última e quarta folhas completamente expandidas contadas a partir da base da planta, utilizando-se analisador de gases no infravermelho (IRGA), marca ADC, modelo LCA PRO (Analytical Development Co. Ltd, Hoddesdon, UK).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p = 0,05$ ). Logo após, a interação foi desdobrada e submetida ao teste Tukey a 5% de probabilidade, resultando em comparações entre os três cultivares e entre as três dosagens, aos 15 e 45 DAA.

#### **4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Para as variáveis avaliadas, dependentemente da folha amostrada e da época de avaliação, verificou-se interação ou não entre cultivares e subdoses do glyphosate, porém

mesmo não sendo significativo optou-se por fazer o desdobramento e apresentar os resultados, de forma padronizada de cada avaliação.

Comparando-se os cultivares, na quarta folha aos 15 dias após a aplicação (DAA), observou-se diferença nas características fotossintéticas avaliadas: carbono interno ( $C_i$ ), consumo de carbono ( $\Delta C$ ), razão carbono interno e carbono da atmosfera ( $C_i/C_a$ ) e taxa fotossintética ( $A$ ). O cultivar Topázio obteve superiores médias de  $C_i$  e o  $C_i/C_a$ , ocorrendo diferença semelhante no tratamento sem a aplicação do glyphosate. Sob efeito da aplicação das subdoses, apenas o cultivar Acaiá, se diferenciou do cultivar Topázio quanto ao seu  $C_i$  e com aplicação de  $115,2 \text{ g ha}^{-1}$  do herbicida (Figura 1). Já as médias de  $\Delta C$  e  $A$  do cultivar Acaiá apresentaram-se superiores às médias dos outros cultivares. Sem aplicação do glyphosate, menores valores de  $\Delta C$  e  $A$  foram observados apenas no cultivar Topázio. Após aplicação da maior subdose, o cultivar Catucaí Amarelo mostrou valores inferiores, representando aproximadamente 52% e 49% dos valores de  $\Delta C$  e  $A$  do cultivar Acaiá (Figura 1).

A aplicação do glyphosate causou decréscimo dos valores de  $C_i$  e  $C_i/C_a$  a partir de  $115,2 \text{ g ha}^{-1}$ . Por outro lado, o  $C_i$  e o  $C_i/C_a$  do cultivar Acaiá não se diferenciaram com a aplicação do herbicida. O  $\Delta C$  e a  $A$  não apresentaram diferença entre a subdose zero e a intermediária, entretanto, a maior subdose diferiu-se negativamente das demais, assim como nos valores encontrados de cada cultivar (Figura 1).

**Tabela 1** - Carbono interno (Ci), consumo de CO<sub>2</sub> ( $\Delta C$ ), razão carbono interno e carbono da atmosfera (Ci/Ca) e taxa fotossintética (A), medidos na quarta folha completamente expandida de três cultivares de café (*Coffea arabica*) sob efeito de subdoses de glyphosate, aos 15 dias após a aplicação.

Tratamentos	Ci - $\mu\text{mol mol}^{-1}$				$\Delta C$ - $\mu\text{mol mol}^{-1}$			
	-----Subdoses - g ha <sup>-1</sup> -----			Média	-----Subdoses - g ha <sup>-1</sup> -----			Média
Cultivares	0	115,2	460,8		0	115,2	460,8	
Acaiaí	275,00 bA	268,80 bA	281,60 aA	275,13 b	32,00 aA	29,00 aA	25,00 aB	28,67 a
Catuaí Amarelo	292,80 bA	279,40 abA	259,00 bB	277,07 b	30,20 aA	27,40 aA	13,00 cB	23,53 b
Topázio	326,60 aA	291,40 aB	264,60 abC	294,20 a	25,00 bA	25,40 aA	20,80 bB	23,73 b
Média	298,13 A	279,87 B	268,40 C	CV(%)=4,43	29,07 A	27,27 A	19,60 B	CV(%)=9,50
Cultivares	Ci/Ca			Média	A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$			Média
Acaiaí	0,74 bA	0,73 aA	0,76 aA		0,74 b	10,04 aA	9,53 aA	
Catuaí Amarelo	0,79 bA	0,75 aAB	0,70 bB	0,75 b	9,33 aA	8,82 abA	4,00 bB	7,38 b
Topázio	0,87 aA	0,78 aB	0,71 abC	0,78 a	7,74 bAB	8,24 bA	7,07 aB	7,69 b
Média	0,80 A	0,75 B	0,72 B	CV(%)=4,62	9,04 A	8,87 A	6,39B	CV(%)=7,54

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade.

Desta maneira, verifica-se no cultivar Topázio maior disponibilidade/concentração de CO<sub>2</sub> nos espaços subestomáticos para a atividade fotossintética, pelo maior C<sub>i</sub> e C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub> observados. Entretanto, este cultivar mostrou inferiores valores de  $\Delta C$  e  $A$ , sem aplicação do produto e na média de todas as subdoses. A maior disponibilidade/concentração CO<sub>2</sub> do cultivar Topázio também foi superior na ausência da aplicação do produto, ou seja, pode-se assumir como característica intrínseca do cultivar nas condições de condução do experimento. Com a aplicação do glyphosate observou-se redução de C<sub>i</sub> e do C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub> dos cultivares, porém os valores de C<sub>i</sub> e C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub> do cultivar Acaiá não mostraram alteração com aplicação das subdoses de glyphosate.

Decréscimo mais acentuado com o incremento da subdose de glyphosate foi constatado em plantas de eucalipto aos 21 dias após a aplicação (MACHADO et al., 2010). Lassiter et al. (2007) observaram queda expressiva da produtividade de amendoim a partir de 140 g ha<sup>-1</sup>. No entanto, plantas de pinhão-mansão tiveram seu desenvolvimento inicial comprometido a partir de 45,0 g ha<sup>-1</sup>, quando submetidas a deriva simulada de glyphosate (COSTA et al., 2009).

$\Delta C$  e  $A$  inferiores ocorrem devido à restrição de CO<sub>2</sub> nos locais de carboxilação ou à possíveis limitações metabólicas da planta. Portanto, assumi-se que os baixos valores de  $A$  estão relacionados à limitações metabólicas e não estomáticas ou restrição de CO<sub>2</sub>. Quando submetidos a baixas temperaturas genótipos de café também expressam baixas  $A$  por limitação do menor metabolismo da planta (PARTELLI et al., 2009).

A  $A$  tem consequência sobre a produtividade das culturas, dessa forma, como os cultivares obtiveram menor  $A$  e  $\Delta C$ , mesmo em condições onde não havia restrição de carbono para a fotossíntese, pode-se esperar redução de produtividade, sob efeito do glyphosate. Todavia, Galon et al. (2010) não observaram correlação direta entre matéria seca e taxa fotossintética em cana-de-açúcar, devido ao tempo de acúmulo de matéria seca ser desde a emergência da planta até o momento da avaliação, enquanto que a análise da taxa fotossintética é pontual e altamente dependente das condições ambientais.

Na avaliação da última folha aos 15 DAA, o C<sub>i</sub>, assim como o C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub>, com aplicação de 115,2 g ha<sup>-1</sup> mostraram-se inferiores nos cultivares Acaiá e Catucaí Amarelo, mas com aplicação da maior subdose de 460,8 g ha<sup>-1</sup> observou-se redução no cultivar Topázio, o que igualou os cultivares. Estas variáveis também mostraram média inferior no cultivar Acaiá. Ao contrário da avaliação da quarta folha, a última folha não apresentou

diferença significativa nas médias de  $C_i$  e  $C_i/C_a$ , apenas o cultivar Topázio apresentou valores inferiores na maior subdose (Tabela 2).

**Tabela 2** - Carbono interno (Ci), consumo de CO<sub>2</sub> ( $\Delta C$ ), razão carbono interno e carbono da atmosfera (Ci/Ca) e taxa fotossintética (A), medidos na última folha completamente expandida de três cultivares de café (*Coffea arabica*) sob efeito de subdoses de glyphosate, aos 15 dias após a aplicação.

Tratamentos	Ci - $\mu\text{mol mol}^{-1}$				$\Delta C$ - $\mu\text{mol mol}^{-1}$			
	-----Subdoses - g ha <sup>-1</sup> -----			Média	-----Subdoses - g ha <sup>-1</sup> -----			Média
Cultivares	0	115,2	460,8		0	115,2	460,8	
Acaiá	274,80 aA	283,40 bA	275,20 aA	277,80 b	24,00 abA	24,4 aA	23,80 aA	24,07 a
Catucaí Amarelo	302,80 aA	291,00 bA	289,00 aA	294,27 ab	16,00 bA	25,40 aA	20,80 aA	20,73 a
Topázio	297,60 aAB	323,69 aA	286,80 aB	302,67 a	31,40 aA	11,00 bB	27,80 aA	23,40 a
Média	291,73 A	299,33 A	283,67 A	CV(%)=6,64	23,80 A	20,27 A	24,13 A	CV(%)=32,70
Cultivares	Ci/Ca				A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$			
Acaiá	0,74 aA	0,77 bA	0,74 aA	0,75 b	7,65 abA	7,74 aA	7,68 aA	7,69 ab
Catucaí Amarelo	0,82 aA	0,78 bA	0,78 aA	0,79 ab	5,08 bA	7,21 aA	6,29 aA	6,19 b
Topázio	0,80 aAB	0,87 aA	0,77 aB	0,81 a	10,06 aA	9,39 aA	8,89 aA	9,45 a
Média	0,78 A	0,81 A	0,76 A	CV(%)=6,60	7,60 A	8,11 A	7,62 A	CV(%)=24,22

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade.

Quanto ao  $\Delta C$  e  $A$ , o cultivar Catucaí Amarelo obteve menores valores destas variáveis em relação ao cultivar Topázio, na ausência da aplicação do herbicida. Assim como, observa-se média inferior do cultivar Catucaí Amarelo em relação ao cultivar Topázio. Com aplicação do glyphosate, ocorreu apenas redução do valor de  $\Delta C$  no cultivar Topázio e com aplicação da subdose intermediária, não sendo constatadas demais diferenças de  $\Delta C$ , assim com de  $A$  (Tabela 2).

Aos 45 DAA quando a avaliação procedeu-se na quarta folha, as variáveis  $C_i$ ,  $C_i/C_a$  e  $A$  não se diferiram, independentemente do cultivar e da subdose aplicada. Já a média do  $\Delta C$  apresentou-se inferior no cultivar Catucaí Amarelo, assim como, também ocorreu com aplicação de cada subdoses utilizadas. Contudo, com o incremento na quantidade do produto aplicada não se observou queda do  $\Delta C$  no cultivar Catucaí como no Topázio. Contrariamente, o cultivar Acaiá mostrou redução do valor de  $\Delta C$  com aplicação do glyphosate, não diferindo do cultivar Topázio. Observou-se também esta redução no cultivar pode ter influenciado na média de  $\Delta C$  dos cultivares nas subdoses (Tabela 3).

**Tabela 3** - Carbono interno (Ci), consumo de CO<sub>2</sub> ( $\Delta C$ ), razão carbono interno e carbono da atmosfera (Ci/Ca) e taxa fotossintética (A), medidos na quarta folha completamente expandida de três cultivares de café (*Coffea arabica*) sob efeito de subdoses de glyphosate, aos 45 dias após a aplicação.

Tratamentos	Ci - $\mu\text{mol mol}^{-1}$				$\Delta C$ - $\mu\text{mol mol}^{-1}$			
	-----Subdoses - g ha <sup>-1</sup> -----			Média	-----Subdoses - g ha <sup>-1</sup> -----			Média
Cultivares	0	115,2	460,8		0	115,2	460,8	
Acaiá	265,80 aA	285,60 aA	285,80 aA	279,07 a	22,00 aA	17,80 aB	18,60 aB	19,47 a
Catucaí Amarelo	265,60 aA	258,00 aA	277,20 aA	266,93 a	13,00 bA	12,20 bA	11,20 bA	12,13 b
Topázio	262,60 aA	277,20 aA	285,40 aA	275,07 a	19,60 aA	18,80 aA	18,20 aA	18,87 a
Média	264,67 A	273,60 A	282,80 A	CV(%)=11,14	18,20 A	16,27 B	16,00 B	CV(%)=10,31
Cultivares	Ci/Ca				A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$			
Acaiá	0,72 aA	0,77 aA	0,78 aA	0,76 a	6,43 aA	5,62 aA	5,76 aA	5,94 a
Catucaí Amarelo	0,72 aA	0,70 aA	0,75 aA	0,72 a	5,29 aA	5,17 aA	5,33 aA	5,26 a
Topázio	0,71 aA	0,76 aA	0,77 aA	0,75 a	4,97 aA	5,59 aA	5,74 aA	5,43 a
Média	0,72 A	0,74 A	0,77 A	CV(%)=11,17	5,56 A	5,46 A	5,61 A	CV(%)=24,58

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade.

O  $\Delta C$  possui relação com o metabolismo da planta, assim, quanto menor o  $\Delta C$ , mais lento será o metabolismo, ou seja, o menor valor de  $\Delta C$  pode ser resultado de metabolismo mais lento, podendo ser efeito indireto na fotossíntese, pelo herbicida afetar o metabolismo, e conseqüentemente o crescimento da planta. Avaliando o crescimento de plantas de café depois de submetidas à subdoses de glyphosate constatou-se decréscimo da altura e área foliar, aos 45 DAA (FRANÇA et al., 2010).

Em relação à última folha aos 45 DAA, a média da relação  $C_i/C_a$  e do  $C_i$  dos cultivares reduziram-se com aplicação do produto. Estas variáveis no cultivar Catucaí Amarelo também mostraram-se com valores inferiores na pulverização da maior subdose. Todavia, apesar da redução da disponibilidade do carbono, o  $\Delta C$  e a  $A$  não apresentaram redução com aplicação do herbicida, assim como, nenhuma diferença entre os cultivares foi constatada.

**Tabela 4** - Carbono interno (Ci), consumo de CO<sub>2</sub> ( $\Delta C$ ), razão carbono interno e carbono da atmosfera (Ci/Ca) e taxa fotossintética (A), medidos na última folha completamente expandida de três cultivares de café (*Coffea arabica*) sob efeito de subdoses de glyphosate, aos 45 dias após a aplicação.

Tratamentos	Ci - $\mu\text{mol mol}^{-1}$				$\Delta C$ - $\mu\text{mol mol}^{-1}$			
	-----Subdoses - g ha <sup>-1</sup> -----			Média	-----Subdoses - g ha <sup>-1</sup> -----			Média
Cultivares	0	115,2	460,8		0	115,2	460,8	
Acaia	278,60 aA	250,00 aA	246,00 aA	258,20 a	22,20 aA	18,40 aA	18,60 aA	19,73 a
Catuaí Amarelo	278,40 aA	253,00 aAB	231,20 aB	254,20 a	19,80 aA	16,80 aA	20,40 aA	19,00 a
Topázio	274,40 aA	254,80 aA	268,00 aA	265,73 a	20,00 aA	19,40 aA	18,40 aA	19,27 a
Média	277,13 A	252,60 B	248,40 B	CV(%)=10,38	20,67 A	18,20 A	19,13 A	CV(%)=14,60
Cultivares	Ci/Ca				A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$			
Acaia	0,76 aA	0,68 aA	0,67 aA	0,70 a	6,92 aA	6,41 aA	6,11 aA	6,48 a
Catuaí Amarelo	0,76 aA	0,69 aAB	0,63 aB	0,70 a	6,25 aA	5,13 aA	6,04 aA	5,81 a
Topázio	0,74 aA	0,69 aA	0,72 aA	0,72 a	6,53 aA	6,19 aA	5,07 aA	5,93 a
Média	0,75 A	0,69 B	0,67 B	CV(%)=10,26	6,57 A	5,91 A	5,74 A	CV(%)=18,14

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade.

Analisando-se conjuntamente as folhas avaliadas, observou-se que a menor A da maior subdose do produto aos 15 DAA não foi mostrada aos 45 DAA, neste período não foi observada diferença entre os tratamentos que receberam o herbicida em relação ao tratamento onde não foi aplicado (Figura 4). Os efeitos metabólicos provocados pela aplicação de subdoses de glyphosate são rápidos e transitórios. Gravena et al. (2009), simulando deriva de glyphosate em plantas de limão cravo, constatou que os efeitos também foram transitórios e as plantas não apresentaram danos metabólicos severos.

Esse herbicida possui rápida absorção seguida de rápida translocação pelo floema (CASELEY & COUPLAND, 1985). Em citros os efeitos foram transitórios e as plantas se recuperaram rapidamente (GRAVENA et al., 2009), ou seja, aos 45 DAA os danos observados na A podem ter se extinguidos.

Dessa forma, pode-se concluir que a deriva do glyphosate em plantas de café pode resultar em danos no metabolismo de plantas de café, com efeitos transitórios na atividade fotossintética. Todos os cultivares possuem atividade fotossintética sensível ao glyphosate, não podendo considerar um cultivar mais tolerante. Aparentemente, a quarta folha, que recebeu a aplicação do herbicida, demonstrou maiores efeitos da deriva de glyphosate, pois se observou maior diferença entre os tratamentos com as variáveis estudadas.

#### 4.4 LITERATURA CITADA

ALCÂNTARA, E. N.; FERREIRA, M. M. Efeitos de métodos de controle de plantas daninhas na cultura do café (*Coffea arabica* L.) sobre a qualidade física do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 24, p.711-721, 2000.

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**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 371-378, 2006.

BROWN, L. R. et al. Response of corn to simulated glyphosate drift followed by in-crop herbicides. **Weed Technol.**, 23:11-16, 2009.

CARVALHO, S. J. P. et al. Herbicide selectivity by differential metabolism: considerations for reducing crop damages. **Sci. Agric.**, v. 66, n. 1, p. 136-142, 2009.

CASELEY, J. C.; COUPLAND, D. Environmental and plant factors affecting glyphosate uptake movement and acidity. In: GROSSBARD E.; ATKINSON, D. A. (ED.). **The herbicide GLYPHOSATE**. London: Butterworths, 1985. P.92-123.

- COSTA, N. V. et al. Efeito da deriva simulada de glyphosate no crescimento inicial de plantas de pinhão-manso. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, p. 1105-1110, 2009. Número Especial.
- FIGUEREDO, S. S. et al. Influência de doses reduzidas do glyphosate no tomateiro (*Lycopersicon esculentum*). **Planta Daninha**, Viçosa, 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, v. 28, n. 3, p. 599-607, 2010.
- GALON, L. et al. Influência de herbicidas na atividade fotossintética de genótipos de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 591-597, 2009.
- GRAVENA, R. et al. Low glyphosate rates do not affect *Citrus limonia* (L.) Osbeck seedlings. **Pest Manag. Sci.**, 65, p. 420-425, 2009.
- GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Eds.). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 289-302.
- LASSITER, B. R. et al. yield and physiological response of peanut to glyphosate drift. **Weed Technol.**, 21, p. 954-960 2007.
- LOPES, J. P. et al. Análise de crescimento e trocas gasosas na cultura de milho em plantio direto e convencional. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 839-848, 2009.
- MACHADO, A. F. L. et al. Eficiência fotossintética e uso da água em plantas de eucalipto pulverizadas com glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 319-327, 2010.
- MIRANDA, G. R. B. et al. Formação de mudas de cafeeiro em substratos oriundos de diferentes métodos de desinfestação. **Bragantia**. vol. 65, n. 2, p. 303-307. 2006.
- PATERLLI, F. L. et al. Low temperature impact on photosynthetic parameters of coffee genotypes. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.44, n.11, p.1404-1415, nov. 2009.
- PROCOPIO, S. O. et al. Influência da aplicação de glyphosate na queda de frutos e de folhas de coqueiros. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 337-344, 2009.
- REDDY, K. N. et al. Biological responses to glyphosate drift from aerial application in non-glyphosate resistant corn. **Pest Manag. Sci.**, 66, p. 1148-1154, 2010.
- RIGOLI, R. P. et al. A. Resposta de plantas de beterraba (*Beta vulgaris*) e de cenoura (*Daucus carota*) à deriva simulada de glyphosate e clomazone. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 451-456, 2008.
- RONCHI, C. P. et al. Acúmulo de nutrientes pelo cafeeiro sob interferência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 219-227, 2003.

RONCHI, C. P.; SILVA, A. A. Weed control in young coffee plantations through post-emergence herbicide application onto total area. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 607-615, 2004.

SILVA, A. A. et al. Herbicidas: Classificação e mecanismo de ação. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. Ed. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: Ed. UFV, 2007. p.63-81.

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

TUFFI SANTOS, L. D. et al. Crescimento do eucalipto sob efeito da deriva de glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 133-137, 2007.

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

YAMASHITA, O. M.; GUIMARÃES, S. C. Deriva simulada de glyphosate em algodoeiro: Efeito de dose, cultivar e estágio de desenvolvimento. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 821-826, 2006.

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

## 5 ARTIGO III

### USO DA AGUÁ POR CULTIVARES DE CAFÉ ARABICA SUBMETIDOS À SUBDOSES DE GLYPHOSATE

RESUMO - Muitos cafeicultores utilizam o glyphosate em aplicações dirigidas. Nessas aplicações são constatados intoxicações de plantas de café. Através do efeito negativo direto de alguns herbicidas sobre a fotossíntese, ou indiretamente, pela redução da taxa metabólica da planta, acredita-se que possam influenciar a eficiência do uso da água. Objetivou-se com este trabalho averiguar as variáveis relacionadas ao uso da água entre cultivares de café submetidos a aplicação de subdoses de glyphosate e os efeitos de cada subdose sobre cultivares de café. O experimento foi conduzido em casa de vegetação utilizando-se três cultivares de café (*Coffea arabica*): Acaíá (MG-6851), Catucaí Amarelo (2 SL) e Topázio (MG-1190) e, três subdoses do glyphosate (0,0; 115,2 e 460,8 g ha<sup>-1</sup>), em esquema fatorial 3x3. Aos 15 DAA observou-se redução da condutância estomática. Constatou-se redução da taxa de transpiração e menor eficiência do uso da água na quarta folha aos 15 DAA. Aos 45 DAA ocorreu queda da taxa transpiratória, sendo que, o cultivar Acaíá apresentou redução com aplicação de 115,2 g ha<sup>-1</sup>. Com aplicação do glyphosate houve redução da eficiência do uso da água, mas os efeitos foram transitórios. O cultivar Acaíá foi o mais tolerante ao glyphosate, pois não alterou sua eficiência do uso da água em função da aplicação do herbicida.

**Palavras-chave:** herbicida, EPSPs, *Coffea arabica*, eficiência do uso da água, transpiração.

ABSTRACT - Many coffee growers use glyphosate in directed applications. In these applications are recorded intoxications of coffee plants. Through the direct negative effect of some herbicides on photosynthesis, or indirectly, by reducing the metabolic rate of the plant, it is believed that they may affect the water use efficiency. The objective of this study was to investigate the variables related to water use among coffee cultivars subjected to application of sub dosages of glyphosate and the effects of each subdose over coffee cultivars. The experiment was conducted in a greenhouse using three varieties of coffee (*Coffea Arabica*): Acaíá (MG-6851), Catucaí Amarelo (2 SL) e Topázio (MG-1190) and, three sub dosages of glyphosate (0,0; 115,2 and 460,8 g ha<sup>-1</sup>), in a factorial 3x3 scheme. At 15 DAA there has been observed reduction on stomatal conductance. There have been observed also the perspiration rate and less efficiency in water use on the fourth leave at 15 DAA. At 45 DAA, occurred a drop in the perspiration rate, and the cultivar Acaíá presented reduction when 115,2 g ha<sup>-1</sup>

were applied. With the glyphosate application occurred a reduction in the water usage efficiency, but it was temporary. The cultivar Acaiá showed to be the most tolerant to glyphosate as it did not alter its efficiency in water usage with the herbicide application

**Key-words:** herbicide, EPSPs, *Coffea arabica*, efficiency in water usage, perspiration

## 5.1 INTRODUÇÃO

A ocorrência de plantas daninhas em lavouras de cafeeiro acarreta em competição entre as espécies por recursos como: água, nutrientes e luz (RONCHI et al., 2003), devendo sempre ser tomadas decisões de controle pelos produtores. A alternativa deste controle utilizada por muitos cafeicultores é feito com uso do glyphosate, por razões econômicas e ambientais, e em aplicações dirigidas para garantir a seletividade da cultura. No entanto, em aplicações dirigidas de glyphosate são constatados intoxicações de plantas de café, devido à dispersão de gotas para as plantas não alvo – esse fenômeno é identificado como deriva (RODRIGUES et al., 2003; RONCHI & SILVA, 2004). Além das intoxicações visuais, já é conhecido que possa haver danos no crescimento e no teor de nutrientes do cafeeiro (FRANÇA et al., 2010a; França et al., 2010b).

Em contato com as folhas, o glyphosate penetra rapidamente, atravessa a cutícula e, em seguida, é absorvido via simplasto (ZABLOTOWICZ & REDDY, 2007). O glyphosate inibe a enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs) na via do chiquimato, que é responsável pela biossíntese de aminoácidos aromáticos, compostos de defesa, e numerosos compostos fenólicos (ZOBIOLE et al., 2010). Embora sua atuação não resulte em efeitos diretos na rota fotossintética, podem ocorrer efeitos sobre o metabolismo da planta e, conseqüentemente, efeitos sobre o uso eficiente da água.

Com o efeito negativo direto de alguns herbicidas sobre a fotossíntese, ou indiretamente, pela redução da taxa metabólica da planta, acredita-se que estes possam influenciar a eficiência do uso da água de uma planta (GALON et al., 2010). Plantas com maior eficiência no uso da água são as que produzem mais matéria seca por água transpirada (PROCÓPIO et al., 2004). Deste modo, a eficiência do uso da água pode ser caracterizada como a produção de matéria seca por consumo de água evapotranspirada pela cultura (SILVA et al., 2007a). A eficiência está diretamente correlacionada com a abertura estomática, pois, enquanto a planta absorve CO<sub>2</sub> para a fotossíntese, a água é perdida por transpiração, variavelmente com o gradiente de potenciais hídricos entre a folha e a atmosfera (PEREIRA-NETTO et al., 2002).

Apesar da ampla importância e utilização do glyphosate no controle de plantas daninhas no cafeeiro, poucos estudos estão disponíveis para compreender os efeitos do glyphosate sobre a fisiologia do cafeeiro, especialmente aqueles relacionados ao uso da água. A compreensão mais profunda de tais efeitos pode levar a maior precaução dos produtores quanto ao uso deste herbicida. Portanto, objetivou-se com este trabalho averiguar as variáveis relacionadas ao uso da água entre cultivares de café submetidos a aplicação de subdoses de glyphosate.

## 5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação utilizando-se três cultivares de café (*Coffea arabica*): Acaíá (MG-6851), Catucaí Amarelo (2 SL) e Topázio (MG-1190), tratadas com 3 subdoses de glyphosate. As mudas dos cultivares de café foram produzidas por semeadura direta em sacolas de polietileno. No estágio de cinco pares de folhas completamente expandidas, as plantas foram transplantadas para vasos contendo 10 L de substrato composto por solo peneirado e esterco de curral curtido (3:1). A amostra de solo foi de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico de textura argilo-arenosa. A análise química do solo apresentou o seguinte resultado: pH (água) de 4,7; teor de matéria orgânica de 2,4 dag kg<sup>-1</sup>; P e K de 2,3 e 48 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente; Ca, Mg, Al, H+Al e CTC efetiva de 1,4; 0,4; 0,6; 6,27 e 2,52 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Para fornecimento de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, utilizou-se de superfosfato simples (100 g por vaso), além de calcário dolomítico, a fim de elevar a saturação por bases a 60% (GUIMARÃES et al., 1999). Após o transplântio das mudas, os vasos permaneceram em casa de vegetação, sob sistema de irrigação por aspersão, até a aplicação dos tratamentos. Adicionaram-se cloreto de potássio (31,48 g por vaso) e uréia (10 g por vaso), parcelando aos 30 e 60 dias após o transplântio (GUIMARÃES et al., 1999).

O experimento foi instalado em esquema fatorial (3 x 3), sendo o primeiro fator correspondente aos cultivares de café e o segundo as subdoses de glyphosate, em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. As subdoses testadas foram: 0,0; 115,2 e 460,8 g ha<sup>-1</sup> de glyphosate, correspondentes, respectivamente, a 0,0; 8,0 e 32,0% da dose comercial recomendada para o controle das plantas daninhas (1.440 g ha<sup>-1</sup>). A parcela experimental foi constituída de um vaso, contendo uma planta. Aos 120 dias após o transplântio, em setembro de 2008, quando as plantas de café se apresentavam com cerca de 21 pares de folhas e seis ramos plagiotrópicos, realizou-se a aplicação do glyphosate de modo que não se atingisse o terço superior das plantas de café, utilizando pulverizador costal pressurizado a CO<sub>2</sub>, calibrado na pressão constante de 250 kPa, munido com uma barra, com

duas pontas de pulverização tipo leque (TT11002) espaçadas de 50 cm entre si, o que proporcionou aplicação de 200 L ha<sup>-1</sup> de calda. No momento da aplicação, aferiu-se a temperatura do ar (25,3 °C ± 1), a umidade relativa do ar (80% ± 3) e a velocidade do vento (2 km h<sup>-1</sup>). Após a aplicação do glyphosate, as plantas permaneceram fora da casa de vegetação por 24 horas, protegidas do contato das folhas com a água de irrigação ou da chuva, visando evitar a lavagem do produto.

Aos 15 e 45 dias após aplicação do herbicida (DAA), avaliou-se a condutância estomática de vapor de água ( $g_s$  – mol m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>) e a taxa de transpiração ( $E$  – mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), sendo calculada ainda a eficiência do uso da água ( $EUA$  – mol CO<sub>2</sub> mol H<sub>2</sub>O<sup>-1</sup>) a partir dos valores de quantidade de CO<sub>2</sub> fixado pela fotossíntese e quantidade de água transpirada. As avaliações foram realizadas na última e quarta folhas completamente expandidas contadas a partir da base da planta, utilizando-se analisador de gases no infravermelho (IRGA), marca ADC, modelo LCA PRO (Analytical Development Co. Ltd, Hoddesdon, UK).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p = 0,05$ ). Sendo a interação desdobrada e submetida ao teste Tukey a 5% de probabilidade, resultando em comparações entre os três cultivares e entre as três dosagens de cada variável aos 15 e aos 45 DAA.

### 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Demonstrou-se independentemente de significância da interação entre os fatores, o desdobramento e apresentação das comparações dentro de cada fator, com o objetivo de padronizar a apresentação dos dados em cada avaliação.

As medições na quarta folha e aos 15 dias após a aplicação do glyphosate (DAA) demonstraram que houve diferença entre as cultivares, quanto a média de condutância estomática ( $g_s$ ) e taxa de transpiração ( $E$ ). Ambas as médias se apresentaram inferiores no cultivar Catucaí Amarelo em relação ao cultivar Topázio. Este cultivar também apresentou menor eficiência do uso da água ( $EUA$ ) quando aplicou-se 460,8 g ha<sup>-1</sup>. Com aplicação do herbicida, observa-se decréscimo da média de  $g_s$  em função do aumento da subdose. Já a  $E$  e  $EUA$  apresentaram médias inferiores somente com aplicação da maior subdose do produto. Entretanto, as subdoses não afetaram os valores de  $g_s$ ,  $E$  e  $EUA$  no cultivar Acaíá (Tabela 1).

**Tabela 1.** Condutância estomática de vapores de água ( $g_s$ ), taxa de transpiração ( $E$ ) e eficiência do uso da água ( $EUA$ ) medidos na quarta folha completamente expandida de três cultivares de café (*Coffea arabica*) sob efeito de subdoses de glyphosate, aos 15 dias após a aplicação.

Tratamentos	$g_s$ - mol m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>
-------------	---

Cultivares	-----Subdoses - g ha <sup>-1</sup> -----			Média
	0	115,2	460,8	
Acaiá	0,29 bA	0,26 aA	0,25 aA	0,27 ab
Catucaí Amarelo	0,36 bA	0,25 aB	0,08 bC	0,23 b
Topázio	0,49 aA	0,30 aB	0,15 bC	0,32 a
Média	0,38 A	0,26 B	0,16 C	CV(%) = 20,26
Cultivares	<i>E</i> - H <sub>2</sub> O mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>			
Acaiá	4,19 aAB	4,28 aA	3,66 aB	4,05 a
Catucaí Amarelo	3,69 abA	3,67 bA	2,10 bB	3,15 b
Topázio	3,38 bA	3,50 bA	3,36 aA	3,41 b
Média	3,76 A	3,82 A	3,04 B	CV(%) = 13,50
Cultivares	UEA - mol de CO <sub>2</sub> mol de H <sub>2</sub> O <sup>-1</sup>			
Acaiá	2,40 aA	2,23 aA	2,23 aA	2,29 a
Catucaí Amarelo	2,61 aA	2,33 aA	1,74 bB	2,23 a
Topázio	2,38 aAB	2,49 aA	2,14 aB	2,34 a
Média	2,46 A	2,35 A	2,04 B	CV(%) = 15,78

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade.

As médias de *g<sub>s</sub>* e *E* de cada cultivar apresentaram primordialmente em função dos valores observados na ausência da aplicação do herbicida, mas também houve diferenças entre os cultivares submetidos ao glyphosate.

A *g<sub>s</sub>* reduziu em função do aumento da subdose do herbicida, segundo DaMatta & Ramalho (2006) qualquer alteração provocada por estresses abióticos pode demonstrar sensibilidade estomática de plantas de café. Tais condições estimulam o fechamento dos estômatos e aumentando a resistência estomática, como mecanismo de defesa contra a desidratação da planta, ou seja, a planta reduz a perda de água por transpiração (TAIZ E ZEIGER, 2004). No entanto, menor transpiração pela planta não pode ser considerada benéfica, pois esse fator está diretamente correlacionado com a assimilação de carbono e por consequência o crescimento da planta.

Embora a água seja abundante no globo terrestre, menos de 1% dela é doce e apta para consumo humano e utilização na agricultura (GALON et al., 2010), portanto, o uso de métodos de controle de plantas daninhas que não implicam negativamente na eficiência do uso da água pela cultura, merecem destaque, assim como a escolha por cultivares mais eficientes no uso da água.

Aos 15 DAA na última folha, foram observadas diferenças nas médias de *g<sub>s</sub>* dos cultivares. Esta diferença foi constatada também quando os cultivares estavam na ausência do glyphosate, mas não apresentaram quando submetidos ao glyphosate. Os cultivares sofreram redução da *g<sub>s</sub>* com aplicação do herbicida, porém nada foi constatado com as médias de *E* e

*EUA*. Apenas na subdose de 115,2 g ha<sup>-1</sup> a *EUA* diminuiu no cultivar Topázio e no cultivar Catucaí Amarelo aumentou, não influenciando em diferenças na média entre os cultivares (Tabela 2).

**Tabela 2.** Condutância estomática de vapores de água (*gs*), taxa de transpiração (*E*) e eficiência do uso da água (*EUA*) medidos na última folha completamente expandida de três cultivares de café (*Coffea arabica*) sob efeito de subdoses de glyphosate, aos 15 dias após a aplicação.

Tratamentos	gs - mol m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>			Média
	-----Subdoses - g ha <sup>-1</sup> -----			
Cultivares	0	115,2	460,8	
Acaíá	0,33 bA	0,24 aA	0,22 aA	0,26 b
Catucaí Amarelo	0,74 abA	0,75 aA	0,21 aA	0,57 ab
Topázio	1,36 aA	0,44 aA	0,23 aA	0,68 a
Média	0,81 A	0,48 AB	0,21 B	CV(%) = 85,04
Cultivares	<i>E</i> - H <sub>2</sub> O mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>			
Acaíá	3,57 aA	3,62 aA	3,60 aA	3,60 a
Catucaí Amarelo	3,86 aA	3,88 aA	3,37 aA	3,71 a
Topázio	3,84 aA	3,66 aA	3,48 aA	3,66 a
Média	3,76 A	3,72 A	3,48 A	CV(%) = 21,58
Cultivares	<i>UEA</i> - mol de CO <sub>2</sub> mol de H <sub>2</sub> O <sup>-1</sup>			
Acaíá	2,14 abA	2,13 aA	2,13 aA	2,13 a
Catucaí Amarelo	1,54 bB	2,70 aA	1,99 aAB	2,08 a
Topázio	2,54 aA	1,16 bB	2,20 aA	1,96 a
Média	2,07 A	2,00 A	2,10 A	CV(%) = 25,16

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade.

O controle da abertura e fechamento dos estômatos depende de fatores como radiação solar, nível de CO<sub>2</sub> mesofílico, umidade relativa (déficit de pressão de vapor do ar), potencial hídrico e outros de menor magnitude, com o vento, substâncias de crescimento e ritmos endógenos de cada espécie (ASPIAZÚ et al., 2010). A condutância estomática varia com a frequência, tamanho, forma e diâmetro, além dos fatores ambientais e da ontogenia foliar (ENGLAND & ATTIWILL, 2011). Muitos estudos têm sugerido que as mudanças na condutância estomática estão relacionadas com o desenvolvimento dos estômatos (ENGLAND & ATTIWILL, 2011).

O mecanismo de regulação da condutância estomática da planta não resultou em correspondentes alterações na transpiração, pois a *E* não reduziu em função dos menores valores de *gs*. O controle da transpiração pode ser complexo, a variação no diferencial de potencial hídrico entre a folha e a atmosfera pode resultar em influência sobre a transpiração,

pois, o gradiente de potencial hídrico entre a planta e a atmosfera é forte fator que afetam a transpiração (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Aos 45 DAA, observou-se que na quarta folha as médias de  $g_s$ ,  $E$  e  $EUA$  dos cultivares se diferiram, assim como, correspondentemente foi encontrado com os cultivares não submetidos ao glyphosate. Portanto, verifica-se que diferenças nas médias são devido a característica de cada cultivar. Simultaneamente, a aplicação do herbicida não reduziu a média de todos os cultivares, mas que interferiu somente na  $g_s$  e  $E$  do cultivar Topázio. Esse comportamento aos 45 DAA, sem alterações nas médias observadas, pode ser explicado pelo tempo de ação do glyphosate, por ser rapidamente absorvido e translocado na planta e de ter o seu máximo de eficiência no controle entre 15 e 25 DAA.

**Tabela 3.** Condutância estomática de vapores de água ( $g_s$ ), taxa de transpiração ( $E$ ) e eficiência do uso da água ( $EUA$ ) medidos na quarta folha completamente expandida de três cultivares de café (*Coffea arabica*) sob efeito de subdoses de glyphosate, aos 45 dias após a aplicação.

Tratamentos	$g_s - \text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$			Média
	-----Subdoses - g ha <sup>-1</sup> -----			
Cultivares	0	115,2	460,8	
Acaíá	0,12 bA	0,13 aA	0,12 aA	0,12 b
Catucaí Amarelo	0,14 bA	0,13 aA	0,12 aA	0,13 b
Topázio	0,20 aA	0,15 aB	0,14 aB	0,16 a
Média	0,15 A	0,13 A	0,13 A	CV(%) = 23,86
Cultivares	$E - \text{H}_2\text{O mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$			
Acaíá	1,70 bA	1,79 aA	1,73 bA	1,74 b
Catucaí Amarelo	1,18 cA	1,20 bA	1,27 cA	1,22 c
Topázio	2,29 aA	1,85 aB	2,16 aA	2,10 a
Média	1,73 A	1,61 A	1,72 A	CV(%) = 8,84
Cultivares	$UEA - \text{mol de CO}_2 \text{ mol de H}_2\text{O}^{-1}$			
Acaíá	3,90 aA	3,15 aA	3,50 aA	3,51 ab
Catucaí Amarelo	4,50 aA	4,60 aA	4,25 aA	4,45 a
Topázio	2,04 bA	3,67 aA	2,66 aA	2,79 b
Média	3,48 A	3,81 A	3,47 A	CV(%) = 32,22

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade.

De fato, a quantidade de H<sub>2</sub>O gasta pelo cultivar Topázio foi aproximadamente 64% maior a gasta pelo cultivar Catucaí Amarelo, para assimilar uma mesma quantidade CO<sub>2</sub>. O cultivar Topázio também apresentou maior  $g_s$  comparativamente aos demais cultivares.

Plantas que produzem maior quantidade de matéria seca por água transpirada são as que possuem a maior eficiência no uso da água. Por esses dados, verifica-se que a maior eficiência do uso da água foi do cultivar Catucaí Amarelo. Essa maior eficiência pode ser

explicada pela menor taxa transpiratória desse cultivar, resultando em menor perda de água por quantidade de matéria seca produzida.

Na avaliação da última folha aos 45 DAA, o cultivar Acaiá mostrou maior média de  $E$ , aproximadamente 67% de acréscimo a encontrada nos demais cultivares. O mesmo cultivar obteve aproximado de 58% mais de transpiração comparando as cultivares sem a aplicação do herbicida. Este cultivar também correspondeu com menor  $E$  na média dos cultivares e na ausência de aplicação do produto. Em função da aplicação das subdoses, a média de  $E$  decresceu com aplicação da maior subdose, sendo observada no cultivar Acaiá redução a partir da subdose de 115,2 g ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 4.** Condutância estomática de vapores de água (gs), taxa de transpiração ( $E$ ) e eficiência do uso da água ( $EUA$ ) medidos na última folha completamente expandida de três cultivares de café (*Coffea arabica*) sob efeito de subdoses de glyphosate, aos 45 dias após a aplicação.

Tratamentos	gs - mol m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>			Média
	-----Subdoses - g ha <sup>-1</sup> -----			
Cultivares	0	115,2	460,8	
Acaiá	0,19 aA	0,23 aA	0,18 aA	0,19 a
Catucaí Amarelo	0,12 aA	0,13 aA	0,15 aA	0,13 a
Topázio	0,29 aA	0,12 aA	0,12 aA	0,17 a
Média	0,20 A	0,16 A	0,15 A	CV(%) = 70,71
Cultivares	$E$ - H <sub>2</sub> O mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>			
Acaiá	2,68 aA	2,07 aB	1,88 aB	2,21 a
Catucaí Amarelo	1,64 bA	1,61 bA	1,57 aA	1,61 b
Topázio	1,46 bAB	1,57 bA	1,09 bB	1,37 b
Média	1,93 A	1,75 AB	1,51 B	CV(%) = 15,56
Cultivares	$UEA$ - mol de CO <sub>2</sub> mol de H <sub>2</sub> O <sup>-1</sup>			
Acaiá	2,61 bA	3,17 aA	3,33 bA	3,04 b
Catucaí Amarelo	3,78 abA	3,22 aA	3,87 abA	3,62 b
Topázio	4,46 aA	4,07 aA	4,70 aA	4,41 a
Média	3,61 A	3,49 A	3,97 A	CV(%) = 21,94

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade.

Em muitas espécies, como o café, a condutância estomática ao nível de folha é fortemente correlacionada com a taxa fotossintética, sendo que a condutância estomática possui forte sensibilidade a diferentes tipos de condições (DAMATTA & RAMALHO, 2006). Contudo, somente aos 45 DAA observou-se diferença entre os cultivares e a determinação do cultivar mais eficiente no uso da água é dependente da folha amostrada, podendo-se averiguar que na quarta folha o cultivar Topázio obteve menor eficiência do uso da água e na última folha a maior eficiência.

A translocação do glyphosate até os sítios-ativos segue a mesma rota dos produtos da fotossíntese, ou seja, das folhas fotossinteticamente ativas (fontes) em direção às partes das plantas que utilizam os fotoassimilados (drenos) (ZABLOTOWICZ & REDDY, 2007; WANAMARTA & PENNER, 1989). Todavia, espera-se efeitos do herbicida na última folha completamente expandida, devido aos efeitos do glyphosate sobre folhas que estavam sendo formadas durante a aplicação, ou seja, folhas que ainda eram drenos.

A *gs* e o *UEA* não diferiram com a aplicação do glyphosate, independente da subdose aplicada na última folha aos 45 DAA. Já a *E* reduziu-se aproximadamente 22% com a aplicação da subdose de 460,8 g ha<sup>-1</sup>, mostrando-se significativamente inferior a *E* encontrada com a não aplicação do herbicida (Figura 8). O glyphosate, após ser absorvido, é translocado ativamente na planta para os tecidos em crescimento, onde inicia seu mecanismo de ação inibindo a enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS) na via do chiquimato, responsável pela biossíntese de vários compostos na plantas (ZOBIOLE et al., 2010). Portanto, os efeitos observados após 45 dias em tecido mais jovens esta relacionado com a translocação deste herbicida para os sítios-alvo.

Pode-se inferir que os cultivares quando submetidos à aplicação de subdoses de glyphosate até 460,8 g ha<sup>-1</sup> aparentemente sofrem efeitos sobre a quantidade de carbono fixado por unidade de água perdida para a atmosfera. Apesar disso, os danos são transitórios e somente em folhas que receberam a aplicação direta do produto, devido ao aparecimento de alterações na razão de mol de CO<sub>2</sub> assimilado por mol de H<sub>2</sub>O transpirado somente aos 15 DAA e na folha quarta folha, onde ocorreu contato com as gotas aspergidas do produto. Isso pode ser indicativo queda da resistência do cafeeiro à estresses hídricos gerado pelo glyphosate, como, mesmo em plantas de soja resistente ao glyphosate, Zobirole et al. (2010) observaram que plantas que receberam aplicação do mesmo herbicida eram menos resistentes a seca.

Conclui-se que, nas condições do trabalho, apesar de apresentar diferença entre as médias de cada cultivares, pode-se perceber que são propriedades intrínsecas de cada cultivar, pois ocorre resultados semelhantes entre os cultivares que não receberam a aplicação do herbicida. Por outro modo, constatou-se que o cultivar Acaíá foi o mais tolerante ao glyphosate, por não se diferir em função da aplicação do produto. O glyphosate, de modo geral, prejudicou na eficiência do uso da água pelo cafeeiro, mas demonstrou serem somente danos transitórios.

#### **5.4 LITERATURA CITADA**

- ASPIAZÚ, I. et al. Water use efficiency of cassava plants under competition conditions. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 699-703, 2010.
- DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Braz. J. Plant Physiol.**, v. 18, n. 1, p. 55-81, 2006.
- ENGLAND, J. R.; ATTIWILL, P. M. Changes in stomatal frequency, stomatal conductance and cuticle thickness during leaf expansion in the broad-leaved evergreen species, *Eucalyptus regnans*. **Trees - Structure and Function**, Online First™, 19 May 2011.
- FRANÇA, A. C. et al. Crescimento de cultivares de café arábica submetidos a doses do glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, 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, V. 28, n. 4, p. 877-885, 2010b.
- GALON, L. et al. Eficiência de uso da água em genótipos de cana-de-açúcar submetidos à aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 777-784, 2010.
- MACHADO, A. F. L. et al. Eficiência fotossintética e uso da água em plantas de eucalipto pulverizadas com glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 319-327, 2010.
- MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 3. Ed., atual. ampl., 2009, 486p.
- 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. Características fisiológicas das culturas de soja e feijão e de três espécies de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 211-216, 2004.
- RODRIGUES, G. J. et al. Eficiência de uma barra de pulverização para a aplicação de herbicidas em lavouras de café em formação. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 459-465, 2003.
- RONCHI, C. P. et al. **Manejo de plantas daninhas em lavoura de café**. Suprema Gráfica & Editora, Viçosa, Brasil, 2001. 94p.
- RONCHI, C. P.; SILVA, A. A. Weed control in young coffee plantations through post-emergence herbicide application onto total area. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 607-615, 2004.
- SATICHIVI, N. M. et al. Absorption and translocation of glyphosate isopropylamine and trimethylsulfonium salts in *Abutilon theophrasti* and *Setaria faberi*. **Weed Science.**, v. 48, p. 675-679, 2000.
- SILVA, A. A. et al. Competição entre plantas daninhas e culturas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007a. p. 17-61.

SILVA, A. A. et al. Herbicidas: Classificação e mecanismo de ação. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007b. p.63-81.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. São Paulo: Artmed, 2004. 719 p.

TAUSEND, P. C.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F. C. Water utilization, plant hydraulic properties and xylem vulnerability in three contrasting coffee (*Coffea arabica*) cultivars. **Tree Physiology**. 20, 159-168, 2000.

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

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.

ZOBIOLE, L. H. S. et al. Water use efficiency and photosynthesis of glyphosate-resistant soybean as affected by glyphosate. **Pest. Biochem. and Phys.**, v. 97, p. 182-193, 2010.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O glyphosate promove alterações fisiológicas em plantas em função da subdose aplicada. A taxa fotossintética pode ser estimulada ou reduzida dependendo da subdose, doses reduzidas podem causar estímulo e doses maiores resultam em taxas inferiores, mesmo em culturas resistentes. Os efeitos do glyphosate sobre a fotossíntese pode ser resultando da menor síntese de clorofila, desvio ou acúmulo de carbono na rota do ácido chiquímico, aumento da concentração de açúcares e outros dependentes de metabólitos secundários.

Avaliando a taxa fotossintética entre cultivares de cafeeiro submetidos a subdoses de glyphosate o cultivar Acaiá foi o que teve sua fotossíntese menos afetada pelo glyphosate, podendo ser considerado o cultivar mais tolerante à deriva simulada do produto.

Quanto a avaliação da eficiência do uso da água, os cultivares de cafeeiro submetidos às subdoses de glyphosate apresentam reduções somente até os 15 DAA e em folhas que receberam o produto, mas os prejuízos são transitórios. Entretanto, comparando entre os cultivares, pode-se assumir que o cultivar mais eficiente no uso da água sob o efeito do herbicida é o cultivar Acaiá, por ter mantido mesmo valor de eficiência do uso da água em função da subdose pulverizada.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.