



unesp



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CÂMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS



**INTERFERÊNCIA DE *Digitaria insularis* EM *Coffea arabica* E
RESPOSTAS DESTAS ESPÉCIES AO GLYPHOSATE**

Leonardo Bianco de Carvalho

Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL, SP – BRASIL

2011

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**INTERFERÊNCIA DE *Digitaria insularis* EM *Coffea arabica* E RESPOSTAS DESTAS
ESPÉCIES AO GLYPHOSATE**

Leonardo Bianco de Carvalho

Orientador: Prof. Dr. Pedro Luis da Costa Aguiar Alves

Co-orientador: Prof. Dr. Rafael De Prado Amián

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL – SP – BRASIL

Janeiro de 2011

C331i Carvalho, Leonardo Bianco de
Interferência de *Digitaria insularis* em *Coffea arabica* e respostas destas espécies ao glyphosate / Leonardo Bianco de Carvalho. -- Jaboticabal, 2011
xii, 119 f. : il. ; 28 cm

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2011
Orientador: Pedro Luis da Costa Aguiar Alves
Co-orientador: Rafael De Prado Amián
Banca examinadora: Ribas Antonio Vidal, Edivaldo Domingues Velini, Ricardo Victoria Filho, Robinson Antonio Pitelli
Bibliografia

1. *Coffea arabica* – matointerferência. 2. Glyphosate – hormese. 3. *Digitaria insularis* – resistência. I. Título. II. Jaboticabal – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.73:632.51

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento de Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação – UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: INTERFERÊNCIA DE *Digitaria insularis* EM *Coffea arabica* E
RESPOSTAS DESTAS ESPÉCIES AO GLYPHOSATE

AUTOR: LEONARDO BIANCO DE CARVALHO

ORIENTADOR: Prof. Dr. PEDRO LUIS DA COSTA AGUIAR ALVES

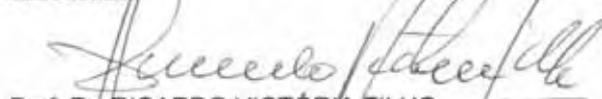
CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. RAFAEL DE PRADO AMÍAN

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA
(PRODUÇÃO VEGETAL) , pela Comissão Examinadora:



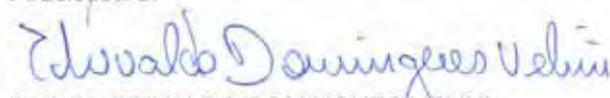
Prof. Dr. PEDRO LUIS DA COSTA AGUIAR ALVES

Departamento de Biol Aplicada A Agrop / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de
Jaboticabal



Prof. Dr. RICARDO VICTÓRIA FILHO

Departamento De Produção Vegetal / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - USP /
Piracicaba/SP



Prof. Dr. EDIVALDO DOMINGUES VELINI

Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agronomicas de Botucatu



Prof. Dr. RIBAS ANTONIO VIDAL

Departamento de Plantas de Lavoura / Universidade Federal do Rio Grande do Sul / Porto
Alegre/RS



Prof. Dr. ROBINSON ANTONIO PITELLI

Departamento de Biol Aplicada A Agrop / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de
Jaboticabal

Data da realização: 31 de janeiro de 2011.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

LEONARDO BIANCO DE CARVALHO – nascido em Ibirá, Estado de São Paulo, Brasil, aos 11 de setembro de 1981. Graduiu-se Engenheiro Agrônomo pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), no ano de 2005. Obteve o título de Mestre em Agronomia na área de Produção Vegetal, nessa mesma unidade Universitária, em 2008, onde, no mesmo ano, iniciou o doutoramento. Desde 2001, atua em pesquisa na área de Matologia, principalmente em biologia, ecologia e interferência de plantas daninhas, em que desenvolveu projetos de Iniciação Científica por dois anos. Publicou diversos artigos científicos em periódicos nacionais e internacionais no período de 2002 a 2010. Atualmente, é revisor de periódicos nacionais e internacionais importantes na área de Ciências Agrárias, dentre os quais se destacam Planta Daninha e Weed Science. Nos últimos anos, tem participado de eventos científicos nacionais e internacionais na sua área de atuação. Participou de bancas de elaboração de questões para concursos públicos no período de 2007 a 2009. Fez Estágio de Docência na disciplina de Ecologia na FCAV/UNESP, em 2007. Atuou como Professor Substituto na disciplina de Fisiologia Vegetal na FCAV/UNESP no ano de 2009. Em 2010, esteve em estágio de Doutorado Sandwich na Universidad de Córdoba, Espanha, pesquisando sobre resistência de plantas daninhas a herbicidas.

Saudade é a esperança chorando de ansiedade e alegria
(Madalena Vilamil – Emmanuel)

DEDICO

A minha esposa Mariana

Aos meus pais Carlos e Adolorata

Ao meu irmão Guilherme

Aos meus avós paternos Gil (*in memorian*) e Aracy (*in memorian*)

Aos meus avós maternos Valentino (*in memorian*) e Lucia

Aos meus tios, por parte de pai, Marco Aurélio (*in memorian*), Ana Maria (*in memorian*),
Gil e Paulo

Aos meus tios, por parte de mãe, Rodolfo, Tarcísio, Maria José e João Carlos

Ao meu sogro Toshihide e a minha sogra Yayeko e a todos os familiares de minha
esposa que tanto me prezam

A todos meus amigos

A todos meus professores

Ao meu orientador na graduação professor Silvano

Aos meus orientadores no mestrado professores Pitelli e Arthur

Aos meus orientadores no doutorado professores Pedro e Rafael

OFEREÇO

Al gran amigo el jefe Hugo

AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir que eu tivesse condições de realizar esta Tese e por todas as oportunidades concedidas durante o doutorado.

Ao CNPq pela concessão das bolsas de Doutorado e Doutorado Sandwich no Exterior.

À PROAP/PROPG por liberar recursos para a participação em dois congressos no exterior e um no Brasil.

A todos que me auxiliaram em algum momento na realização desta Tese: Antonia, Caio, Eduardo, Fidel, Hugo, Izabel, Javier, Kiko (el pajarito), Mariana (minha esposa), Mariana Parreira, Mariluce, Martins, Matheus, Micheli, Rafa, Silvano, e outros que, por ventura, tenha me esquecido de citar.

Ao amigo Devair e as Carmelitas, por orarem e pedirem por mim e minha esposa.

Ao amigo Alan pelos ensinamentos, aulas por e-mail e auxílio com as análises estatísticas.

Aos componentes das bancas de qualificação, professores Arthur Cecílio Filho, Leandro Lemos, Maria do Carmo Pavani e Robinson Pitelli da FCAV/UNESP, e de defesa, professores Ribas Vidal (UFRGS), Ricardo Victoria Filho (ESALQ/USP), Edivaldo Velini (FCA/UNESP) e Robinson Pitelli (FCAV/UNESP), pelas correções, sugestões e conselhos.

Aos meus orientadores os professores Pedro Luis Alves e Rafael De Prado.

Al amigo profesor Pita por los ensinamientos y consejos para la vida.

Al amigo Hugo por todos los momentos felizes que pasamos.

Se acaso me esqueci de agradecer a alguém, que me perdoe, por favor.

SUMÁRIO

	Página
CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
A cultura do café	1
A planta daninha capim-amargoso	2
A interferência das plantas daninhas	3
O herbicida glyphosate	7
A resistência de plantas daninhas	9
Objetivos gerais	11
Objetivos específicos	12
EFEITOS DA DENSIDADE DE PLANTAS DE CAPIM-AMARGOSO NO ESTABELECIMENTO INICIAL DO CAFEIEIRO	13
Resumo	13
Introdução	14
Material e métodos	15
Resultados	18
Processo fotossintético	18
Nutrição mineral	22
Crescimento	25
Discussão	31
Conclusões	39
EFEITOS CAUSADOS PELA EXPOSIÇÃO DE PLANTAS JOVENS DE CAFÉ AO HERBICIDA GLYPHOSATE	40
Resumo	40
Introdução	41
Material e Métodos	42
Resultados	44
Sintomas de intoxicação	44
Processo fotossintético	44
Nutrição mineral	51
Crescimento	54
Discussão	58
Conclusões	67
ABSORÇÃO, TRANSLOCAÇÃO E METABOLISMO DE GLYPHOSATE EM BIÓTIPOS SUSCEPTÍVEL E RESISTENTE DE CAPIM-AMARGOSO	68
Resumo	68
Introdução	69
Material e métodos	70
Resultados	77
Dose-resposta em plântulas e plantas jovens	77
Acúmulo de ácido chiquímico	79

Retenção foliar e ângulo de contato	79
Absorção	80
Translocação	81
Metabolismo	83
Discussão	84
Conclusões	89
REFERÊNCIAS	90
APÊNDICES	113
Apêndice A – Padronização das medidas para avaliação de características fotossintéticas do cafeeiro	114
Apêndice B – Imagens	118

INTERFERÊNCIA DE *Digitaria insularis* EM *Coffea arabica* E RESPOSTAS DESTAS ESPÉCIES AO GLYPHOSATE

RESUMO – O capim-amargoso (*Digitaria insularis*) é uma importante planta daninha na cultura do café, onde pode estar sendo selecionada devido à aplicação frequente de glyphosate. Os objetivos foram (i) estudar os efeitos da convivência do capim-amargoso sobre o processo fotossintético, a nutrição mineral e o crescimento inicial do cafeeiro; (ii) estudar os efeitos da aplicação de glyphosate sobre o processo fotossintético, a nutrição mineral e o crescimento inicial de plantas jovens de café; e (iii) detectar a resistência do capim-amargoso ao glyphosate e investigar mecanismos de resistência da planta daninha ao herbicida. Os experimentos com plantas de café foram realizados na Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Jaboticabal, SP, enquanto aqueles sobre resistência do capim-amargoso ao glyphosate foram desenvolvidos na Universidad de Córdoba, Espanha. Os tratamentos para o experimento de convivência constituíram-se de densidades crescentes de capim-amargoso convivendo com uma planta de café. Foram avaliadas características fotossintéticas e de crescimento, teores e acúmulos de macronutrientes. Os tratamentos para os experimentos de aplicação de glyphosate em cafeeiro constituíram-se de doses crescentes do herbicida, além de estágio da planta na aplicação e época de avaliação. Foram avaliadas características fotossintéticas e de crescimento e teores de macronutrientes. Nos estudos de resistência, os tratamentos constituíram-se de biótipos de capim-amargoso, doses crescentes de glyphosate, partes da planta e época de avaliação. Foram avaliados massa fresca e seca, concentração de ácido chiquímico, ângulo de contato, retenção foliar, absorção, translocação e metabolismo do glyphosate. A taxa fotossintética da unidade foliar pouco foi influenciada pela convivência com capim-amargoso, porém o processo fotossintético global do cafeeiro foi reduzido, influenciando assim no crescimento inicial da cultura. A nutrição mineral do cafeeiro foi afetada negativamente pela convivência com capim-amargoso, influenciando no crescimento inicial da cultura. O crescimento inicial do cafeeiro foi reduzido em virtude da convivência com capim-

amargoso. A densidade crítica para interferência de capim-amargoso em cafeeiro foi de uma planta por cova. O processo fotossintético do cafeeiro, no geral, foi estimulado com a aplicação de sub-doses de glyphosate e reduzido em doses mais altas, ao menos até duas semanas depois da aplicação. O efeito estimulante sobre a fotossíntese foi dependente do estágio da planta no momento da aplicação. Os teores de fósforo, magnésio e enxofre foram reduzidos em função da aplicação de doses crescentes de glyphosate. O efeito da aplicação do glyphosate sobre a nutrição mineral do cafeeiro foi pouco influenciado pelo estágio da planta no momento da aplicação. A resposta do crescimento inicial de plantas de café à aplicação de glyphosate foi dependente do estágio da planta no momento da aplicação. Plantas mais jovens não apresentaram estímulo no crescimento inicial quando expostas à sub-doses de glyphosate; porém, quando a aplicação foi feita em estágio mais avançado, houve estímulo do crescimento. Foi detectado biotipo de capim-amargoso resistente ao herbicida glyphosate por meio dos experimentos de dose-resposta e acúmulo de ácido chiquímico. Não houve relação da retenção foliar e do ângulo de contato com a resistência de capim-amargoso ao herbicida glyphosate. A absorção é mecanismo indireto de resistência do capim-amargoso ao herbicida glyphosate. A translocação é mecanismo de resistência de capim-amargoso ao herbicida glyphosate. O metabolismo é mecanismo de resistência do capim-amargoso ao glyphosate.

Palavras-chave: Café; planta daninha; competição; herbicida; resistência.

INTERFERENCE OF *Digitaria insularis* ON *Coffea arabica* AND RESPONSES OF THESE SPECIES TO GLYPHOSATE

SUMMARY – Sourgrass (*Digitaria insularis*) is an important weed in coffee plantations, where this species may be selected due to frequent glyphosate applications. The objectives were (i) to study the effects of sourgrass coexistence with coffee plants on crop photosynthetic process, mineral nutrition, and initial growth; (ii) to study the effects of glyphosate application on photosynthetic process, mineral nutrition, and initial growth of young coffee plants; and (iii) to detect sourgrass resistance to glyphosate and to investigate mechanisms of herbicide resistance in this species. The experiments with coffee plants were carried out in the São Paulo State University, Jaboticabal, SP, while those ones on sourgrass resistance to glyphosate were conducted in the University of Córdoba, Spain. Treatments for coexistence experiment were constituted by increased sourgrass density growing with one coffee plant. Photosynthetic and growth characteristics as well as rate and accumulation of macronutrients were evaluated. Treatments for experiments of glyphosate application on coffee plants were constituted by increased herbicide rates, plant growth stage in the time of exposure, and evaluation time. Photosynthetic and growth characteristics as well as rate of macronutrients were evaluated. For resistance studies, treatments were constituted by sourgrass biotypes, increased glyphosate rates, plant parts, and evaluation time. Fresh and dry mass, shikimic acid accumulation, contact angle, foliar retention, absorption, translocation, and metabolism of glyphosate were evaluated. Coffee leaf photosynthetic net was a little affected by coexistence with sourgrass, however global photosynthetic process was reduced, influencing on initial crop growth. Coffee mineral nutrition was negatively affected by coexistence with sourgrass, and thereby influencing on initial crop growth. Coffee initial growth was reduced due to coexistence with sourgrass. Critical density to sourgrass interference on coffee plantation was just one plant per hole. In general, coffee photosynthetic process was stimulated by application of sub-lethal rates of glyphosate, being reduced at high rates, at least until two weeks after application.

Stimulation effect on photosynthesis net was dependent of plant growth stage in the time of herbicide application. Rates of phosphorus, magnesium, and sulfur were reduced in function of application of increased glyphosate rates. The effect of glyphosate application on coffee mineral nutrition was a little influenced by plant growth stage in the time of herbicide application. Coffee initial growth response to glyphosate application was dependent of plant growth stage in the time of herbicide application. Younger coffee plants did not show initial growth stimulation when were exposed to glyphosate sub-lethal rates, however there was growth stimulation when herbicide was applied at more advanced crop stage. Sourgrass biotype resistant to glyphosate was detected by dose-response and shimikic acid accumulation experiments. Foliar retention and contact angle were not in relation with sourgrass resistance to glyphosate herbicide. Absorption was found as an indirect mechanism of glyphosate resistance in sourgrass species. Translocation was found as a mechanism of glyphosate resistance in sourgrass. Glyphosate metabolism could play an important role in sourgrass resistant to this herbicide.

Key-words: Coffee; weed; competition; herbicide; resistance.

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

A agricultura é, histórica e definitivamente, a base principal da economia do Brasil. Dentre as culturas de maior interesse econômico, pode-se destacar a do café. Porém, como toda cultura agrícola, o cafeeiro pode ser influenciado negativamente pela presença de plantas daninhas que crescem e se desenvolvem no mesmo ambiente. Para o controle dessas plantas, a estratégia mais utilizada tem sido a aplicação de herbicidas. Todavia, o uso inadequado desses produtos pode acarretar injúrias à cultura ou mesmo o desenvolvimento de resistência das plantas daninhas.

A cultura do café

O cafeeiro (*Coffea* spp.) pertence à família botânica Rubiaceae e é originário do continente africano (LEMES, 2005). O gênero *Coffea* compreende mais de cem espécies descritas, dentre as quais se destaca *Coffea arabica* L., considerada o padrão de qualidade na avaliação da bebida do café (LUNZ, 2006). Esta é uma das espécies com maior expressão econômica no mercado internacional, representando cerca de 70% da produção mundial do grão e 80% do café cultivado. Dentre as diversas cultivares existentes para esta espécie de cafeeiro, destaca-se a Catuaí Vermelho devido à ampla capacidade de adaptação e à alta produtividade, além da facilidade na colheita e nos tratamentos fitossanitários possibilitados em virtude da baixa estatura das plantas (PERRONE et al., 2008).

O café é uma planta arbustiva, de folhas opostas e elípticas (ABIC, 2010). As flores são pequenas, brancas ou bicolores, dependendo da espécie. Os frutos são geralmente vermelhos quando maduros, assemelhando-se a um rubi, e apresentam duas sementes. O café é uma planta de ciclo fotossintético C3, originário de ambiente sombreado (BRAUM et al., 2007). Apresenta baixa irradiância de saturação, uma adaptação fisiológica da planta ao ambiente de luz. Em função disto, a eficiência no crescimento e no desenvolvimento do cafeeiro pode estar relacionada com a habilidade

de adaptação das plantas e as condições de intensidade luminosa do ambiente (ENGEL, 1989; FAHL; CARELLI, 1994; BRAUM et al., 2007).

O cafeeiro foi introduzido no Brasil em 1727, no Estado do Pará, oriundo da Guiana Francesa (MATIELLO et al., 2002; ABIC, 2010). Rapidamente, o cultivo de café espalhou-se pelos Estados de Maranhão, Bahia, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná (ABIC, 2010). Devido a condições climáticas muito favoráveis ao desenvolvimento da planta, o cafeeiro começou a ser produzido no Vale do Rio Paraíba, iniciando, assim, em 1825, um novo ciclo econômico no país. Por quase um século, o café foi a principal riqueza brasileira, e as divisas geradas pela economia cafeeira aceleraram o desenvolvimento do país e o inseriram nas relações internacionais de comércio. Porém, após essa época áurea, houve um longo período de crise na cafeicultura brasileira. Mas, atualmente, o café voltou a ser uma cultura de grande importância econômica para o país.

Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café (FAULIN, 2010). A área cultivada, no país, totaliza 2,3 milhões de hectares, sendo que a previsão atual para a produção nacional de café beneficiado indica 47,2 milhões de sacas de 60 quilos (CONAB, 2010). O resultado representa um acréscimo de 19,6% ou 7,7 milhões de sacas, quando comparado com a produção de 39,5 milhões de sacas obtidas na safra 2009. Com previsão de produção de 24,7 milhões de sacas de café beneficiado, o Estado de Minas Gerais é o maior produtor do país, representando 52,3% do café produzido, seguido por Espírito Santo e São Paulo, com produção de 10,1 milhões (21,3%) e 4,6 milhões de sacas (9,7%), respectivamente.

A planta daninha capim-amargoso

O capim-amargoso [*Digitaria insularis* (L.) Fedde] é planta daninha nativa de regiões tropicais e sub-tropicais do Continente Americano (KISSMANN, 1997; LORENZI, 2000). Esta planta pode ser encontrada em todas as regiões brasileiras, tanto em áreas agrícolas (cultivos anuais e perenes) quanto em áreas não-agrícolas (terrenos baldios e áreas adjacentes a rodovias). Há também ocorrência de capim-

amargoso em áreas agrícolas em países da América do Sul (Argentina, Paraguai e Uruguai), América Central (Porto Rico) e América do Norte (EUA).

No Brasil, o capim-amargoso tem se tornado dominante em lavouras de café (MACHADO et al., 2006), como foi observado pelos autores Costa et al. (2001), Rodrigues et al. (2003), Dias et al. (2008) e Lemes et al. (2010). Tal fato pode gerar muitos problemas aos cafeicultores brasileiros devido à falta de informações a respeito da interferência desta planta no cafeeiro e das possíveis estratégias de controle a serem utilizadas.

O capim-amargoso é uma planta daninha de ciclo fotossintético C4 (KISSMANN, 1997), cujo aproveitamento da luz solar e resposta fotossintética são maiores em condições ambientais de alta irradiância e temperatura elevada (TAIZ; ZEIGER, 2006). A espécie é caracterizada por plantas perenes, com reprodução por rizomas e sementes (KISSMANN, 1997). Apresenta alto potencial de infestação por apresentar pequenas sementes pilosas, que podem ser carregadas facilmente pelo vento a longas distâncias, com alto poder germinativo. Além disso, as plantas desenvolvem-se bem em solos com alta ou baixa fertilidade, reproduzindo o ano todo. Morfologicamente, a espécie ainda pode ser caracterizada por apresentar colmos cilíndricos e entrenós longos. Os rizomas são curtos e ramificados. As folhas apresentam bainha longa e pilosa, com lígula membranácea. As lâminas foliares são lineares e acuminadas; as panículas são grandes com longas hastes. As espiguetas são lanceoladas a estreito-ovaladas com longos pêlos sedosos.

A interferência das plantas daninhas

As plantas daninhas que convivem com as culturas agrícolas podem competir diretamente por recursos limitados do meio, como água, luz, nutrientes e espaço (BLEASDALE, 1960; BLANCO, 1972; PITELLI, 1985; RADOSEVICH et al., 1997; ZIMDAHL, 2004). Além disso, essas plantas podem utilizar-se de outros processos biológicos, como a alelopatia (RICE, 1974; PUTNAM; TANG, 1986; ALMEIDA, 1988; DUKE et al., 2007) e o parasitismo (BEBAWI; FARAH, 1981; KROSCHEL, 2001), para

influenciar negativamente nas culturas. Aliada a esses processos, a alelomeiação também pode constituir um fator de influência negativa sobre as culturas (PUTNAM; TANG, 1986; ALMEIDA, 1988).

A competição pode ser definida como a redução na disponibilidade de água, luz, nutrientes e/ou espaço para a cultura de interesse, em decorrência da convivência com plantas daninhas em ambientes com recursos limitados. De acordo com Davies (1987), as plantas daninhas diminuem a disponibilidade de água no solo, aumentando a evapotranspiração, além de interceptarem parte da chuva, retendo-a acima da superfície do solo, perdendo-se por evaporação ou ficando retida no mesófilo foliar. Segundo Pitelli (1985), apesar de a luz ser um recurso inesgotável, portanto, à primeira vista, não passível de competição, o crescimento inicial diferenciado entre plantas pode permitir com que uma das espécies competidoras impeça que a outra tenha acesso a este recurso devido ao sombreamento. De acordo com Pitelli e Marchi (1991), em muitas situações, os teores de nutrientes nas culturas são pouco alterados devido à competição com as plantas daninhas; porém, deve considerar-se que a quantidade de nutrientes absorvida pela cultura é bastante reduzida, reflexo do menor acúmulo de biomassa.

A alelopatia, de maneira geral, pode ser definida como efeitos detrimenais (ou mesmo positivos) de plantas de uma espécie sobre outras plantas da mesma ou de outras espécies por meio da liberação de substâncias químicas no ambiente. O parasitismo pode ser definido como um efeito negativo causado por uma planta que se beneficia da outra por meio da sucção de sua seiva orgânica. A alelomeiação, por sua vez, pode ser definida como a modificação do ambiente físico ou biológico com reflexo nos seres vizinhos. No caso específico do capim-amargoso, não há relatos na literatura a respeito de efeito alelopático e/ou efeito alelomeiador da planta, tampouco parasítico.

O conjunto de ações negativas causadas pela presença de plantas daninhas, denominado de interferência, é um dos fatores mais importantes na limitação da produtividade e da qualidade do produto das culturas agrícolas (PITELLI, 1985). O grau da interferência imposta pelas plantas daninhas sobre as culturas de interesse agrícola

é definido por diversos fatores, que inicialmente foram esquematizados por Bleasdale (1960), com posterior modificação de Blanco (1972) e adaptação de Pitelli (1985). O grau de interferência depende de fatores ligados à cultura (cultivar, espaçamento e densidade de semeadura), à comunidade de plantas daninhas (composição específica, densidade e distribuição), ao ambiente (solo, clima e manejo cultural) e à época e extensão do período em que cultura e comunidade infestante convivem no mesmo ambiente.

O uso de cultivares com crescimento inicial mais rápido, espaçamentos mais estreitos e densidades mais altas de semeadura podem dar vantagem competitiva para as culturas em relação às plantas daninhas. Em contrapartida, uma comunidade infestante com plantas mais competitivas, em maior densidade e distribuídas por toda a área de produção tende a afetar mais a produtividade das culturas. Além disso, as condições ambientais são fundamentais nas relações de interferência entre culturas e plantas daninhas, sendo que o plantio de culturas em épocas adequadas também pode dar vantagem competitiva à cultura. Contudo, é evidente que sempre haverá plantas daninhas nas áreas produtivas, em maior ou menor diversidade e/ou riqueza. Assim, independentemente se a comunidade infestante é mais ou menos competitiva, a convivência com a cultura durante o período crítico de interferência pode acarretar redução de produção, desde que a densidade crítica para interferência seja alcançada.

Dentre os fatores que afetam o grau de interferência, um dos mais importantes é a densidade de ocorrência das plantas daninhas (JOLLIFFE et al., 1984; COUSENS, 1991; RADOSEVICH et al., 1997; ZIMDAHL, 2004; RONCHI; SILVA, 2006; SILVA et al., 2009). A densidade de infestação pode definir o crescimento de uma comunidade infestante, ou seja, o acúmulo de biomassa da comunidade está estreitamente ligado à densidade de plantas daninhas. Atingindo a densidade crítica, o acúmulo de biomassa da comunidade infestante é limitado, e, com isso, pode limitar também sua capacidade competitiva em decorrência de uma maior interferência entre os indivíduos da comunidade.

Há poucas informações referentes ao efeito da densidade de plantas daninhas sobre a cultura do café descritas na literatura. Segundo Oliveira et al. (2005),

Commelina spp. interferem no crescimento das mudas de café, retardando o desenvolvimento do diâmetro do caule e da altura de plantas, além de reduzir o número de folhas e a massa seca aérea e radicular do cafeeiro. Ronchi e Silva (2006) também observaram redução no diâmetro do caule de plantas jovens de café com o aumento da densidade de *Bidens pilosa* L., *Leonurus siribicus* L. e *Richardia brasiliensis* (Moq.) Gomez; ainda foram observadas reduções na altura de plantas e no número de folhas com o aumento na densidade de *B. pilosa* e *Commelina diffusa* Burm. f.; também foi verificada diminuição na massa seca da parte aérea com o aumento na densidade de *C. diffusa*, *L. siribicus* e *R. brasiliensis*.

Dias et al. (2005) observaram reduções no número de folhas, na área foliar e na massa seca das folhas do cafeeiro a medida que foi aumentada a densidade de convivência de *Brachiaria decumbens* Staff. com a cultura do café. Além disso, Marcolini et al. (2009) encontraram relação significativa do aumento na densidade e na distância das plantas de *B. decumbens* em relação às de café, com reduções na área foliar e na massa seca do caule e das folhas da cultura. Dias et al. (2004) também verificaram reduções no número de folhas, na área foliar e na massa seca das folhas, além de diminuição na massa seca do caule, na medida em que o período de convivência entre *Commelina benghalensis* L. e plantas de café foi aumentado.

Observou-se, também, que *B. pilosa*, *C. diffusa*, *L. sibiricus* e *R. brasiliensis*, mesmo em baixas densidades, acarretaram decréscimo consideráveis no acúmulo de macro e micronutrientes por plantas de café quando crescem em convivência com a cultura (RONCHI et al., 2003). Além disso, Ronchi et al. (2007) verificaram que a concentração de nutrientes no sistema radicular do cafeeiro foi reduzida com o aumento na densidade de plantas daninhas, cuja intensidade foi dependente da espécie e do nutriente analisado. Com isso, o cafeeiro teria seu crescimento inicial reduzido, retardando o estabelecimento da cultura e o tempo necessário para atingir a maturidade do grão (RONCHI et al., 2007). Como consequência final da interferência de plantas daninhas no cafeeiro ocorrem reduções de produtividade, como observado por Blanco et al. (1982), Friessleben et al. (1991), Alcântara e Ferreira (2000), Alcântara et al. (2007), Dias et al. (2008) e Lemes et al. (2010).

O herbicida glyphosate

O glyphosate [N-(fosfonometil) glicina] é um dos principais herbicidas comercializados no mundo, destacando-se em virtude da capacidade em controlar uma grande variedade de espécies vegetais anuais e perenes, além de apresentar rápida ligação às partículas do solo e biodegradação, bem como baixa toxicidade a mamíferos, aves e peixes (NEUMANN et al., 2006; PLINE-SRNIC, 2006; AHSAN et al., 2008; PRESTON; WAKELIN, 2008). Contudo, devido ao amplo espectro de ação do herbicida glyphosate, o uso desse produto para o controle de plantas daninhas em lavouras agrícolas pode acarretar alguns problemas ao desenvolvimento das culturas agrícolas, caso a aplicação não seja direcionada adequadamente para atingir somente as plantas daninhas.

O mecanismo de ação do herbicida glyphosate é atribuído à inibição da enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs) (SPURRIER, 1973; GROSSBARD; ATKINSON, 1985; FRANZ et al., 1997), que catalisa a reação na qual chiquimato-3-fosfato (S3P) reage com fosfoenolpiruvato (PEP), formando 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato (EPSP) e fósforo inorgânico (Pi) (GEIGER; FUCHS, 2002; KOGER et al., 2005; MARÍA et al., 2005; MOLDES et al., 2008; REDDY et al., 2008). Essa reação ocorre em duas etapas, iniciando pela ligação da enzima EPSPs ao S3P, formando o complexo EPSPs-S3P; em seguida, o PEP liga-se a esse complexo, permitindo o prosseguimento da reação, finalizando com a produção de EPSP; quando a planta é exposta ao produto herbicida, o glyphosate não irá se ligar à enzima EPSPs livre, mas sim ao complexo EPSPs-S3P, impedindo que ocorra a sua interação com PEP, ao formar o complexo inativo EPSPs-S3P-glyphosate (FRANZ et al., 1997; TAN et al., 2006).

Por apresentar esse mecanismo de ação, o glyphosate atua diretamente na via do chiquimato, inibindo a síntese de aminoácidos aromáticos essenciais, como fenilalanina, tirosina e triptofano, que são precursores de outros produtos, como lignina, alcalóides, flavonóides e ácidos benzóicos (TAN et al., 2006; REDDY et al., 2008), que são indispensáveis para a síntese de proteínas e o crescimento das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2006; NELSON, 2008). Assim, o efeito mais rápido e drástico da aplicação de

glyphosate em plantas sensíveis é o acúmulo de chiquimato (AMRHEIN et al., 1980; LYDON; DUKE, 1988).

O glyphosate pode ainda afetar diretamente a fotossíntese da planta, reduzindo a atividade da ribulose bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco), do ácido 3-fosfoglicérico (AHSAN et al., 2008), diminuindo a síntese de clorofila e interferindo na organização do aparelho fotossintético (MARÍA et al., 2005; AHSAN et al., 2008). Fuchs et al. (2002) e Nelson (2008) destacam outras consequências conhecidas da ação do glyphosate, tais como branqueamento, clorose e redução do crescimento, concentrados principalmente em tecidos metabolicamente ativos, tais como folhas imaturas, brotamentos, botões florais e raízes.

Efeitos causados pela aplicação acidental ou deriva de glyphosate têm sido estudados em culturas como algodão, beterraba, café, cevada, citros, eucalipto, maracujá, soja (GEIGER et al., 1986; TUFFI SANTOS et al., 2006; YAMASHITA; GUIMARÃES, 2006; WAGNER JÚNIOR et al., 2008; GRAVENA et al., 2009; FRANÇA, 2009; BELZ; CEDERGREEN, 2010; CEDERGREEN; OLESEN, 2010; FRANÇA et al., 2010; MACHADO et al., 2010; OLESEN; CEDERGREEN, 2010; ZOBIOLE et al., 2010a,b,c). A esse respeito, poucas informações foram encontradas referentes à cultura do café. Nelson (2008) relatou que aplicações de glyphosate em plantas de café podem causar injúrias severas às plantas, reduzindo o crescimento e o potencial produtivo da cultura por um longo período de tempo, além de predisposição das plantas a doenças e deficiências nutricionais. O autor ainda enfatizou que esses efeitos podem perdurar anos, dependendo da dose e do local de aplicação na planta. França (2009) verificou sintomas de intoxicação, como clorose e estreitamento do limbo foliar, em plantas de café, além de redução na área foliar, massa seca da planta, densidade de raízes e teor de nutrientes, mesmo submetendo as plantas a sub-doses de glyphosate.

Além das consequências detrimenais de se utilizar o glyphosate em culturas como soja, milho, eucalipto e na planta daninha *C. benghalensis*, foi observado que a aplicação de sub-doses de glyphosate pode estimular o crescimento da planta, enquanto as altas doses inibem seu crescimento (VELINI et al., 2008). Wagner et al. (2003) observaram esse comportamento em plantas de milho. Recentemente, em

cafeeiro, França et al. (2010) observaram aumento na altura de plantas quando submetidas à exposição de baixas doses de glyphosate.

Esse fenômeno é denominado de hormese e tem sido observado quando plantas são submetidas à exposição de doses sub-letais do herbicida glyphosate (DUKE et al., 2006; CEDERGREEN et al., 2007; VELINI et al., 2010). A esse respeito, Velini et al. (2008) afirmaram que a hormese está relacionada com o alvo molecular do glyphosate, a enzima EPSPs, uma vez que o efeito não foi observado em plantas resistentes ao herbicida. Contudo, o mecanismo pelo qual ocorre hormese não é claramente conhecido (VELINI et al., 2008; 2010).

A resistência de plantas daninhas

A resistência de plantas daninhas a herbicidas é definida como a capacidade natural e herdável de determinados biótipos, dentro de uma população, sobreviverem e reproduzirem-se após sua exposição a doses de herbicidas que seriam letais a indivíduos normais (suscetíveis) da mesma espécie (CHRISTOFFOLETI; LÓPEZ-OVEJERO, 2003; 2004; GAZZIERO et al., 2008).

O aparecimento de plantas daninhas resistentes a herbicidas pode ocorrer devido ao uso inadequado dos herbicidas (CHRISTOFFOLETI et al., 1994; HEAP, 1994; 1999; CHRISTOFFOLETI; LÓPEZ-OVEJERO, 2004). O principal problema é a pressão de seleção ocasionada pelo uso contínuo de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação, que, com o tempo, seleciona indivíduos resistentes dentro de uma população. Esse fato, associado à aplicação de doses sub-letais, ou seja, menores que a recomendada, também pode selecionar indivíduos que, naturalmente, são pouco mais tolerantes ao herbicida.

Plantas daninhas com maior predisposição para a seleção de biótipos resistentes são, normalmente, aquelas que apresentam ciclo anual e que ocorrem em altas densidades (SBCPD, 2000). Geralmente, estas espécies apresentam rápida taxa de retorno ao banco de sementes e curto período de germinação, alta porcentagem de sementes viáveis e várias gerações produtivas por estação de crescimento.

A resistência geralmente ocorre quando o herbicida é altamente eficiente sobre determinada espécie daninha e tem persistência prolongada (SBCPD, 2000). O emprego de herbicidas altamente eficazes garante o controle efetivo das populações susceptíveis e reduz a pressão de competição sobre os biótipos resistentes, favorecendo sua seleção. Além disso, caso utilizado continuamente, ano após ano ou em múltiplas aplicações, na mesma área, o herbicida de ação prolongada exerce maior pressão de seleção sobre as plantas daninhas do que um herbicida com atividade residual limitada.

O termo resistência é comumente apresentado tanto com referência ao comportamento de um indivíduo frente aos mecanismos de resistência que possui, quanto aos herbicidas aos quais o indivíduo é resistente (CHRISTOFFOLETI et al., 2008). Desta forma, surgem os conceitos de resistência cruzada e resistência múltipla. Quando um biótipo é resistente a mais de um herbicida com apenas um mecanismo de ação, denomina-se resistência cruzada; enquanto a resistência múltipla ocorre nas plantas que possuem dois ou mais mecanismos de resistência distintos, sendo, neste caso, resistentes a herbicidas de diferentes grupos químicos e com diferentes mecanismos de ação (AMARANTE JÚNIOR et al., 2002; CHRISTOFFOLETI; LÓPEZ-OVEJERO, 2004).

Existem pelo menos três mecanismos gerais que podem explicar o desenvolvimento da resistência a herbicidas e influenciar o modo de ação destes compostos: a) mutação no local de ação do herbicida na planta; b) metabolização ou desintoxicação do herbicida a substâncias menos fitotóxicas; c) redução da concentração do herbicida no local de ação, absorção foliar e/ou translocação do herbicida pelo biótipo resistente (sequestração ou compartimentalização) (CHRISTOFFOLETI et al., 2008). Diferenças na absorção e/ou translocação do glyphosate em plantas resistentes foram observadas por Koger e Reddy (2005) em *Conyza canadensis* (L.) Cronq., por Michitte et al. (2007), Perez-Jones et al. (2007) e Nandula et al. (2008) em *Lolium multiflorum* Lam. e por Dinelli et al. (2008) em *Conyza bonariensis* (L.) Cronq. Mutações da enzima EPSPs foi observada por Baerson et al. (2002a) em *Eleusine indica* (L.) Gaertn., por Baerson et al. (2002b), Wakelin e Preston

(2006) e Simarmata e Penner (2008) em *Lolium rigidum* Gaud. e por Jasieniuk et al. (2008) em *L. multiflorum*. Porém, no caso do glyphosate, ainda não foi comprovado que o metabolismo desempenhe função importante como mecanismo de resistência das plantas daninhas ao herbicida (POWLES; YU, 2010).

Atualmente existem relatos de vinte espécies de plantas daninhas com biótipos resistentes ao glyphosate: *Amaranthus palmeri* S.Wats., *Amaranthus rudis* Sauer, *Ambrosia artemisifolia* L., *Kochia scoparia* (L.) Schrad. e *Poa annua* L. (EUA), *Ambrosia trifida* L. (EUA e Canadá), *C. bonariensis* (África do Sul, Brasil, Colômbia, Espanha, EUA e Israel), *C. canadensis* (Brasil, China, Espanha, EUA e República Checa), *Conyza sumatrensis* (Retz.) Walker (Espanha), *D. insularis* (Brasil e Paraguai), *Echinochloa colona* (L.) Link. (Austrália), *E. indica* (Colômbia e Malásia), *Euphorbia heterophylla* L. (Brasil), *L. multiflorum* (Argentina, Brasil, Chile, Espanha e EUA), *Lolium perene* L. (Argentina), *L. rigidum* (África do Sul, Austrália, Espanha, EUA, França e Itália), *Parthenium hysterophorus* L. (Colômbia), *Plantago lanceolata* L. (África do Sul), *Sorghum halepense* (L.) Peerson. (Argentina e EUA), *Urochloa panicoides* P.Beauv. (Austrália) (HEAP, 2010).

No caso de capim-amargoso, no Brasil, há relato de biótipo resistente ao glyphosate na cultura da soja e em pomares (HEAP, 2010), onde havia uso contínuo do herbicida glyphosate para o controle de plantas daninhas. O glyphosate também é muito empregado, e de maneira inadequada, em lavouras de café no país. Este fato pode estar acarretando o aparecimento de biótipos de capim-amargoso resistentes ao glyphosate também em áreas de cultivo de café. Caso isso ocorra, maiores problemas serão gerados para o controle desta planta daninha e outros métodos e estratégias de controle deverão ser utilizados para manejar adequadamente o capim-amargoso em cafezal.

Objetivos Gerais

Os objetivos gerais com esta pesquisa foram estudar o comportamento do cafeeiro mantido em convivência com capim-amargoso, a resposta do cafeeiro à

exposição ao herbicida glyphosate e a resistência do capim-amargoso ao herbicida glyphosate.

Objetivos específicos

1. Avaliar os efeitos da densidade de capim-amargoso na fotossíntese, na nutrição mineral e no crescimento inicial do cafeeiro;
2. Determinar a densidade crítica para interferência da planta daninha na cultura do café;
3. Avaliar os efeitos na fotossíntese, na nutrição mineral e no crescimento inicial do cafeeiro submetido à exposição ao herbicida glyphosate;
4. Detectar biótipo de capim-amargoso resistente ao herbicida glyphosate;
5. Estudar a absorção, a translocação e o metabolismo do glyphosate em plantas de capim-amargoso.

CAPÍTULO 2 – EFEITOS DA DENSIDADE DE PLANTAS DE CAPIM-AMARGOSO NO ESTABELECIMENTO INICIAL DO CAFEIEIRO

RESUMO – Capim-amargoso é uma importante planta daninha na cultura do café. A densidade é um dos principais fatores que afetam o grau de interferência das plantas daninhas. Objetivou-se avaliar os efeitos do aumento da densidade de capim-amargoso na fotossíntese, na nutrição mineral e no crescimento inicial do cafeeiro, e determinar a densidade crítica para interferência. Os tratamentos constaram da convivência de uma planta de café com densidades de capim-amargoso (0, 1, 2, 4, 8 e 16 plantas), visando simular diferentes situações de infestação na cova do cafeeiro. O experimento foi conduzido em caixas de 0,84 m³ enterradas no solo, sendo os tratamentos distribuídos em delineamento inteiramente casualizado com sete repetições. O processo fotossintético da unidade foliar pouco foi influenciado pela convivência com capim-amargoso. Porém, as taxas de fotossíntese e transpiração, a condutância estomática, a concentração interna de CO₂ na folha, globais, e o teor relativo de clorofila total do cafeeiro foram reduzidos, apesar da eficiência quântica do fotossistema II e a eficiência no uso de água pela planta não o terem sido. Portanto, o processo fotossintético global do cafeeiro foi reduzido com o aumento na densidade do capim-amargoso. Os teores dos macronutrientes foram reduzidos com o aumento na densidade da planta daninha, à exceção do fósforo que aumentou. Os acúmulos dos macronutrientes, porém, foram todos reduzidos. Portanto, a nutrição mineral do cafeeiro foi afetada negativamente pela convivência com capim-amargoso. A altura de plantas, o diâmetro do caule, o número de folhas, a área foliar e as massas secas do caule, das folhas e da parte aérea do cafeeiro foram reduzidas com o aumento na densidade do capim-amargoso. Dessa maneira, o crescimento inicial do cafeeiro foi reduzido em virtude da convivência com capim-amargoso, sendo de uma planta por cova a densidade crítica para interferência.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, *Digitaria insularis*, competição, interferência, experimento aditivo, densidade crítica.

Introdução

Plantas jovens de café são altamente sensíveis à interferência de plantas daninhas após o transplante das mudas (RONCHI et al., 2001; SILVA; RONCHI, 2003). Entretanto, os efeitos da competição dessa vegetação em plantas jovens de café têm sido insuficientemente estudados. Nesse sentido, devido ao fato de o capim-amargoso estar tornando-se a espécie dominante em diferentes áreas de produção cafeeira, pouco foi estudado e, conseqüentemente, ainda não se conhece o potencial competitivo dessa planta daninha em relação à cultura do café.

Em virtude do momento do controle das plantas daninhas ainda ser determinado em função da vegetação emergida, destaca-se a importância de pesquisas que estimem sua densidade crítica para interferência. Embora haja estudos a respeito de períodos de interferência (DIAS et al., 2005), faixas de controle (DIAS et al., 2008) e manejo (ALCÂNTARA; FERREIRA, 2000; RONCHI; SILVA, 2004; ALCÂNTARA et al., 2009), pouco se conhece a respeito dos efeitos da densidade de plantas daninhas em cafeeiro, que, segundo Ronchi e Silva (2006), é um fator que influencia o grau de interferência dessa vegetação.

Muitos métodos foram desenvolvidos para estudar a interferência entre diferentes espécies de plantas. O método do experimento aditivo é o mais comumente usado no estudo de relações entre planta daninha e cultura (JOLLIFFE et al., 1984; RADOSEVICH, 1987; COUSENS, 1991; RADOSEVICH et al., 1997). Além disso, estimativas para decisões de controle são preferencialmente obtidas em experimentos aditivos (POOLE; GILL, 1987). Neste método, duas (ou mais) espécies de plantas (cultura e planta daninha) são deixadas para crescer juntas, sendo que a densidade da cultura é mantida constante, enquanto a densidade da planta daninha é variada. Com isso, a espécie cuja densidade é constante atua como indicador comparativo para a agressividade e competitividade da outra espécie (RONCHI; SILVA, 2006).

Devido à importância do capim-amargoso em cafeeiro e de estudos sobre densidade de plantas daninhas, a hipótese levantada neste capítulo foi que o aumento no número de plantas do capim-amargoso, convivendo com o cafeeiro em implantação,

afetaria negativamente o processo fotossintético e a absorção de nutrientes pela cultura, reduzindo assim seu crescimento inicial.

Objetivou-se, portanto, avaliar os efeitos do aumento da densidade de plantas de capim-amargoso no processo fotossintético, na nutrição mineral e no crescimento inicial do cafeeiro, e determinar a densidade crítica para interferência dessa planta daninha na cultura do café.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em caixas de fibra de vidro de dimensões 0,75 × 0,75 × 1,50 m (l/l/p), enterradas no solo, em área experimental do Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária (DBAA) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Jaboticabal, SP (FCAV/UNESP), Brasil, durante os meses de março a julho de 2009.

O substrato utilizado para o crescimento das plantas provinha de Latossolo Vermelho de textura argilosa, apresentando as seguintes características químicas: pH (CaCl₂) igual a 6,1; 20,0 g de MO; 176,0 mg dm⁻³ de P (resina); além de 1,9; 60,0; 26,0; 20,0; 87,9 e 107,9 mmol_c dm⁻³ de K, Ca, Mg, H+Al, SB e T, respectivamente; e V de 81%.

Não foi aplicado calcário, enquanto a adubação de plantio constou da aplicação de 2 L caixa⁻¹ de esterco bovino e 80 g caixa⁻¹ de NPK (Heringer, 4-14-8, Brasil). Uma adubação de cobertura também foi realizada aos 40 dias após o transplante das mudas do cafeeiro (DAT), utilizando-se de 20 g caixa⁻¹ de uréia (Heringer, CH₄N₂O, Brasil).

O transplante das mudas de cafeeiro (*C. arabica* cultivar Catuaí Vermelho IAC-144), formadas em sacos de plástico de 500 mL e sendo providas de viveiro certificado, ocorreu no dia 21 de março de 2009, utilizando mudas com 6-7 pares de folhas. Por outro lado, as mudas de capim-amargoso foram formadas em bandejas de poliestireno com 288 células (Termotécnica, 07836-0, Brasil), providas de sementes coletadas em terreno baldio, sendo transplantadas para as caixas quando apresentavam 4-5 folhas expandidas, no dia 17 de abril 2009.

Após o transplante das mudas de cafeeiro, tratamentos fitossanitários quinzenais foram feitos aplicando os fungicidas piraclostrobin + epoxiconazol (BASF, Opera[®], Brasil), na dose de 1,5 L ha⁻¹, e oxiclóreto de cobre (Atar, Recop[®], Brasil), na dose de 3 L ha⁻¹; e o inseticida thiamethoxan (Syngenta, Actara 250 WG[®], Brasil), na dose de 2 kg ha⁻¹. Além disso, diariamente foi fornecida água em quantidade suficiente para manter a umidade do substrato, à exceção de dias chuvosos.

Os tratamentos experimentais adotados na pesquisa constaram da convivência de uma planta de café com densidades crescentes de capim-amargoso, dispostas aleatoriamente em cada caixa, simulando diferentes situações de colonização na cova do cafeeiro. As densidades das plantas daninhas utilizadas foram: 0 (testemunha sem convivência), 1, 2, 4, 8 e 16 plantas cova⁻¹. Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado, utilizando-se de sete repetições.

Por ocasião do pleno florescimento do capim-amargoso, ocorrido no dia 07 de julho de 2009 (108 DAT), foram avaliadas características fotossintéticas (exceto para a planta daninha), nutricionais e de crescimento do capim-amargoso e do cafeeiro.

No cafeeiro foram avaliadas as características de crescimento: altura de plantas (da base do caule rente ao solo até a inserção do último par de folhas), diâmetro do caule (a 2 cm do solo), número de folhas, área foliar, acúmulo de massa seca do caule e acúmulo de massa seca de folhas; as características nutricionais: teores e acúmulos de macronutrientes na parte aérea; além das características fotossintéticas: teor relativo de clorofila total, relação fluorescência variável/fluorescência máxima da clorofila *a* (Fv/Fm) – denominada eficiência quântica do fotossistema II, taxa de fotossíntese (*A*), taxa de transpiração (*E*), condutância estomática (*g_s*), relação fotossíntese/transpiração (*A/E*) – denominada eficiência no uso da água pela planta e concentração interna de CO₂ na folha (*c_i*).

No capim-amargoso foram avaliadas a altura de plantas (da base até a inserção do limbo foliar da última folha), o número de perfilhos, o acúmulo de massa seca na parte aérea e os teores e acúmulos de macronutrientes na parte aérea das plantas.

A altura de plantas foi determinada usando régua de madeira graduada em milímetros (Souza-Stalo, 8287, Brasil). O diâmetro do caule foi medido usando

paquímetro digital graduado em milímetros (Zaas Precision, 150mm, Brasil). A área foliar foi mensurada usando medidor eletrônico de área foliar (Li-Cor Inc., LI3000A, EUA). A massa seca foi determinada por meio de pesagem do material vegetal seco em balança analítica com precisão de 0,01 g (Marte, AS2000C, Brasil), após secagem do material em estufa de renovação forçada de ar a 70 °C por 96 horas.

O material previamente seco foi moído em micro-moinho tipo Wiley (Marconi, TE-840, Brasil), equipado com peneira malha 60 mesh, e submetido a digestões úmidas para determinação dos teores de macronutrientes nas plantas. Os teores de nitrogênio (N) e fósforo (P) foram determinados pelos métodos semi micro Kjeldahl e colorimétrico do ácido fosfovanadato-molibdico, respectivamente, conforme descrito por Sarruge e Haag (1974); os teores de potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foram determinados por meio de espectrofotometria de absorção atômica, conforme descrito por Jorgensen (1977); o teor de enxofre (S) foi determinado pelo método turbidimétrico, conforme descrito por Vitti (1989). O acúmulo de macronutrientes foi calculado multiplicando-se o acúmulo de massa seca da parte aérea da planta pelo teor do nutriente.

As avaliações das características fotossintéticas foram realizadas no período da manhã, entre 8 e 10h. Avaliou-se uma folha do primeiro par de folhas após o primeiro ramo lateral emitido. A eficiência quântica do fotossistema II foi estimada usando fluorômetro (Hansatech, PEA-MK2, Inglaterra), utilizando-se da taxa de fluxo de fótons de $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e do tempo de adaptação ao escuro de 20 minutos (conforme padronização – Figuras 2A e 3A do Apêndice A). As taxas de fotossíntese e transpiração, além da condutância estomática e da concentração interna de CO_2 na folha, foram determinadas usando analisador de gás por sensor infravermelho – IRGA (Li-Cor, LI6400, EUA), utilizando-se da taxa de radiação fotossinteticamente ativa de $522 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (conforme padronização – Figura 4A do Apêndice A). Essas avaliações foram iniciadas quando a concentração de CO_2 de referência variava entre 360 e $380 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}$ e após a padronização da temperatura da folha no aparelho em 25 °C. O teor relativo de clorofila total do cafeeiro foi determinado utilizando clorofilômetro manual (Minolta, SPAD-502, Japão).

Os dados de todas as características avaliadas foram submetidos à análise de regressão em função da densidade de plantas do capim-amargoso. Além disso, foram também submetidos à análise de regressão os dados da taxa fotossintética unitária e global em função da taxa transpiratória, da condutância estomática e da concentração interna de CO₂ na folha do cafeeiro; além dos dados da área foliar específica em função da densidade do capim-amargoso e os dados da massa seca da parte aérea do cafeeiro em função da massa seca da parte aérea do capim-amargoso.

As análises de regressão foram processadas por meio do programa computacional SigmaPlot (Systat Software, versão 10.0, EUA).

Resultados

Processo fotossintético

A taxa fotossintética unitária do cafeeiro aumentou sigmoidalmente de 6,64 para 6,75 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 1), de acordo com a equação de regressão, comparando o cafeeiro que cresceu livre da convivência com aquele convivendo com 16 plantas cova⁻¹ de capim-amargoso, representando aumento de 1,7%. A taxa fotossintética global, por sua vez, foi reduzida exponencialmente de 0,50 para 0,31 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ planta}^{-1} \text{ s}^{-1}$, representando redução de 38,0%.

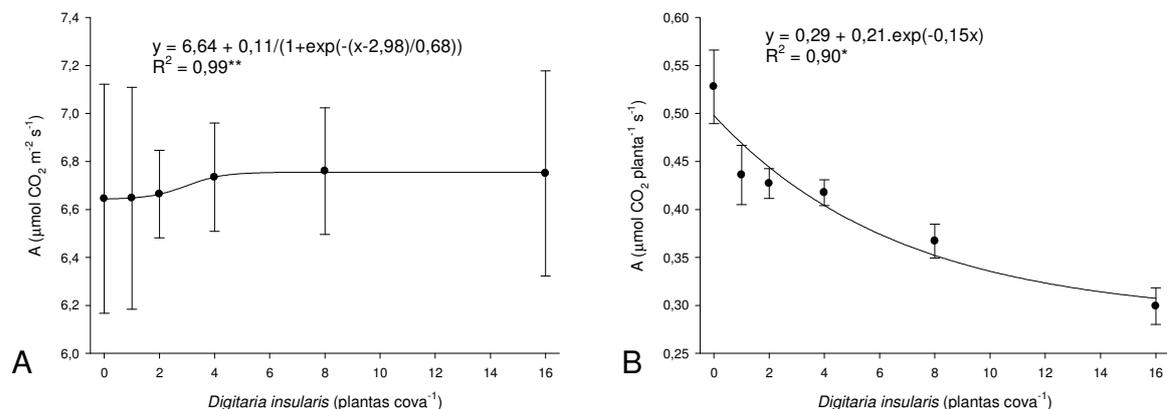


Figura 1. Relação da taxa fotossintética unitária (A) e da planta (B) de cafeeiro com a densidade de capim-amargoso. Barras verticais indicam \pm o erro padrão da média. Jaboticabal, 2009.

A taxa transpiratória unitária do cafeeiro aumentou sigmoidalmente de 1,47 para 1,50 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 2), de acordo com a equação de regressão, comparando o cafeeiro que cresceu livre da convivência com aquele convivendo com 16 plantas cova⁻¹ de capim-amargoso, representando aumento de 2,0%. A taxa transpiratória global, por sua vez, foi reduzida exponencialmente de 0,11 para 0,07 $\text{mmol H}_2\text{O planta}^{-1} \text{s}^{-1}$, representando redução de 36,4%.

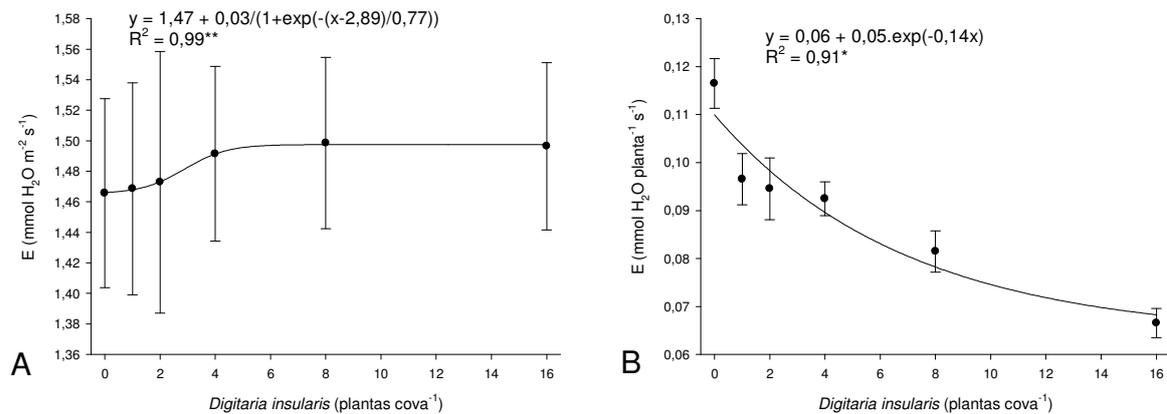


Figura 2. Relação da taxa transpiratória unitária (A) e da planta (B) de cafeeiro com a densidade de capim-amargoso. Barras verticais indicam \pm o erro padrão da média. Jaboticabal, 2009.

A condutância estomática unitária do cafeeiro aumentou sigmoidalmente de 1,100 para 1,106 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 3), de acordo com a equação de regressão, comparando o cafeeiro que cresceu livre da convivência com aquele convivendo com 16 plantas cova⁻¹ de capim-amargoso, representando aumento de 0,6%. A condutância estomática global, por sua vez, foi reduzida exponencialmente de 0,008 para 0,005 $\text{mol H}_2\text{O planta}^{-1} \text{s}^{-1}$, representando redução de 37,5%.

A concentração interna unitária de CO_2 na folha aumentou sigmoidalmente de 256 para 259 $\text{mmol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 4), de acordo com a equação de regressão, comparando o cafeeiro que cresceu livre da convivência com aquele convivendo com 16 plantas cova⁻¹ de capim-amargoso, representando aumento de 1,2%. A concentração interna global de CO_2 na folha, por sua vez, foi reduzida exponencialmente de 19 para 12 $\text{mmol CO}_2 \text{planta}^{-1} \text{s}^{-1}$, representando redução de 38,5%.

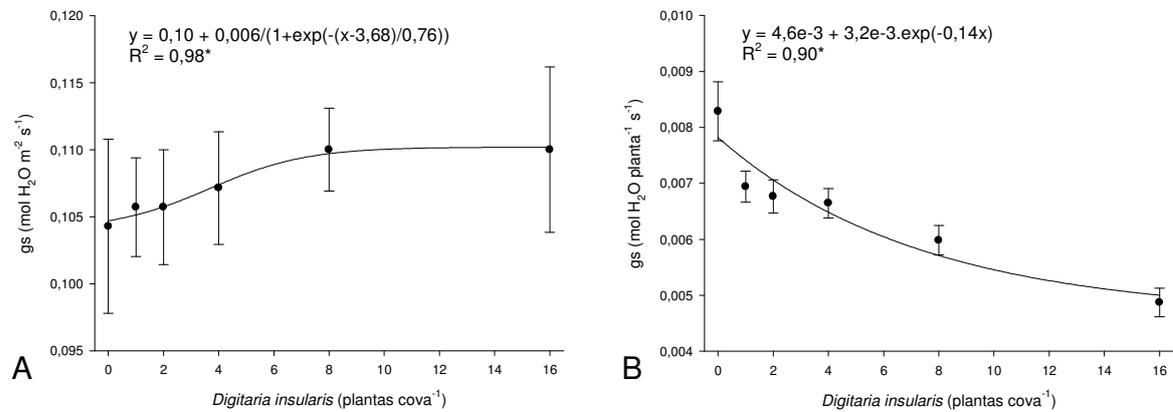


Figura 3. Relação da condutância estomática unitária (A) e da planta (B) de cafeeiro com a densidade de capim-amargoso. Barras verticais indicam \pm o erro padrão da média. Jaboticabal, 2009.

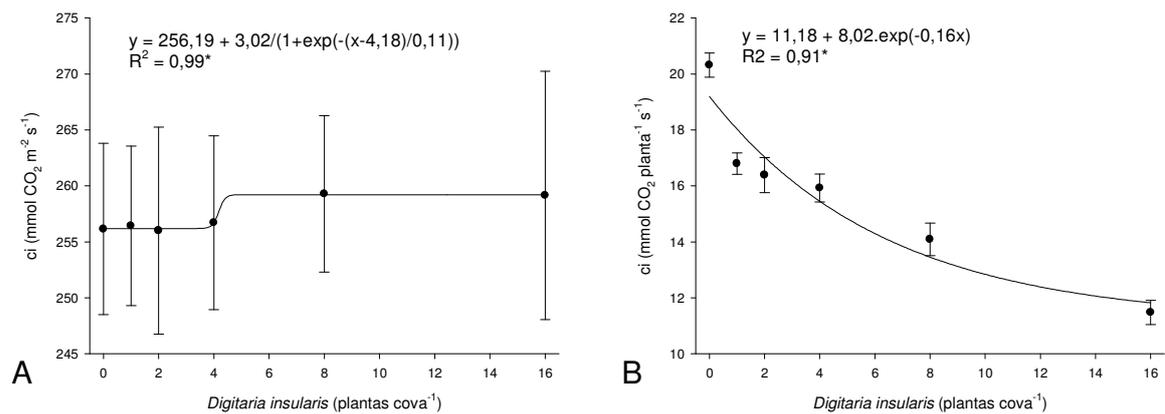


Figura 4. Relação da concentração interna unitária de CO₂ na folha (A) e da planta (B) de cafeeiro com a densidade de capim-amargoso. Barras verticais indicam \pm o erro padrão da média. Jaboticabal, 2009.

A eficiência no uso de água pela planta de café variou de 4,52 a 4,62 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$ (Figura 5), representando oscilação de 1,3%. Porém, não foi possível ajustar uma equação significativa para representar a variação da eficiência no uso da água pelo cafeeiro em relação ao aumento na densidade do capim-amargoso.

A eficiência quântica do fotossistema II do cafeeiro aumentou sigmoidalmente de 0,680 para 0,700 (Figura 5), de acordo com a equação de regressão, comparando o cafeeiro que cresceu livre da convivência com aquele convivendo com 16 plantas cova⁻¹ de capim-amargoso, representando aumento de 2,9%.

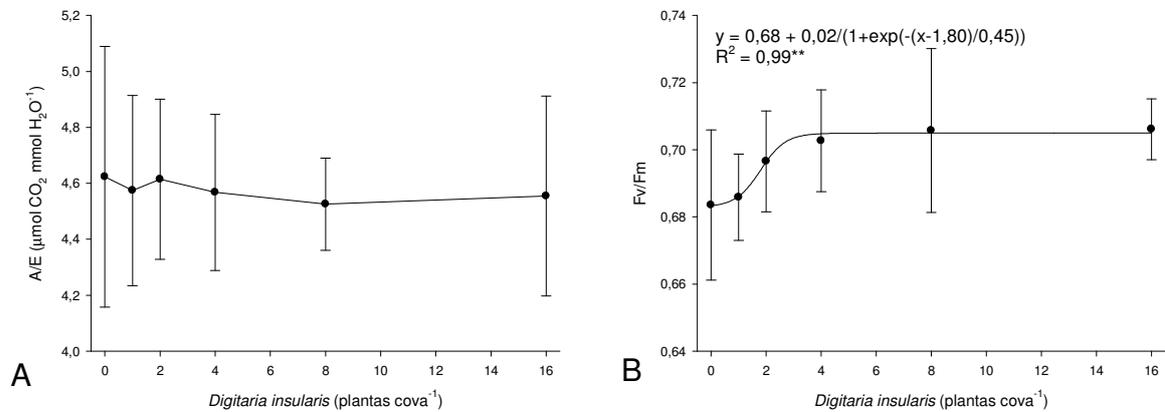


Figura 5. Relação da eficiência no uso de água pela planta (A) e da eficiência quântica do fotossistema II (B) de cafeeiro com a densidade de capim-amargoso. Barras verticais indicam \pm o erro padrão da média. Jaboticabal, 2009.

O teor relativo de clorofila total do cafeeiro foi reduzido exponencialmente de 64,0 para 54,5 UR (Figura 6), de acordo com a equação de regressão, comparando o cafeeiro que cresceu livre da convivência com aquele convivendo com 16 plantas cova⁻¹ de capim-amargoso, representando redução de 14,8%.

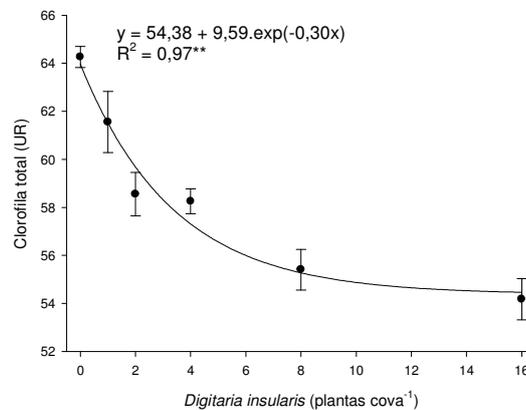


Figura 6. Relação do teor relativo de clorofila total na planta de cafeeiro com a densidade de capim-amargoso. Barras verticais indicam \pm o erro padrão da média. Jaboticabal, 2009.

Não foi determinada a relação entre a taxa fotossintética unitária e global com a eficiência no uso de água pela planta de café, pois não foi possível estabelecer uma equação que estimasse a variação dessa última característica com o aumento na densidade do capim-amargoso.

A taxa fotossintética unitária e global do cafeeiro relacionou-se de maneira linear positiva com a taxa transpiratória, a condutância estomática e a concentração interna de CO₂ na folha, unitária e global (Tabela 1).

Tabela 1. Relação linear da taxa de absorção de CO₂ unitária e global com a transpiração (E), a condutância estomática (gs) e a concentração interna de CO₂ na folha (ci) de café crescendo em convivência com capim-amargoso. Jaboticabal, 2009.

Característica	y0	a	R ²	p
E _{unit}	1,33	3,62	0,99	< 0,01
gS _{unit}	4,45	21,00	0,87	< 0,01
Ci _{unit}	-1,11	0,03	0,73	0,03
E _{global}	-5,70e ⁻³	4,58	1,00	< 0,01
gS _{global}	-0,03	67,48	0,99	< 0,01
Ci _{global}	3,20e ⁻³	0,03	0,99	< 0,01

Equação linear: $y = y_0 + ax$.

Nutrição mineral

Os teores de macronutrientes em capim-amargoso diminuíram exponencialmente com o aumento da densidade da planta daninha (Figura 7). De acordo com a equação de regressão, nas densidades de 1 e 16 plantas cova⁻¹, respectivamente, o teor de nitrogênio variou de 30,6 a 15,6 g kg⁻¹; o teor de fósforo, de 4,5 a 3,0 g kg⁻¹; o teor de potássio, de 37,0 a 27,7 g kg⁻¹; o teor de cálcio, de 3,3 a 2,7 g kg⁻¹; o teor de magnésio, de 5,2 a 3,3 g kg⁻¹; e o teor de enxofre, de 0,90 a 0,51 g kg⁻¹. Portanto, foi observada redução de 49,0%, 33,3%, 25,1%, 18,2%, 36,5% e 44,4%, para os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, respectivamente.

Os acúmulos de macronutrientes no capim-amargoso, por sua vez, aumentaram exponencialmente com o aumento da densidade da planta daninha (Figura 8). De acordo com a equação de regressão, nas densidades de 1 e 16 plantas cova⁻¹, respectivamente, o acúmulo de nitrogênio variou de 2.109,3 a 3.963,2 mg planta⁻¹; o acúmulo de fósforo, de 333,1 a 737,9 mg planta⁻¹; o acúmulo de potássio, de 2.662,4 a 6.923,1 mg planta⁻¹; o acúmulo de cálcio, de 236,1 a 672,1 mg planta⁻¹; o acúmulo de magnésio, de 332,4 a 749,6 mg planta⁻¹; e o acúmulo de enxofre, de 64,76 a

93,88 mg planta⁻¹. Portanto, foi observado aumento de 87,9%, 121,5%, 160,0%, 184,7%, 125,5% e 93,9%, para os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, respectivamente.

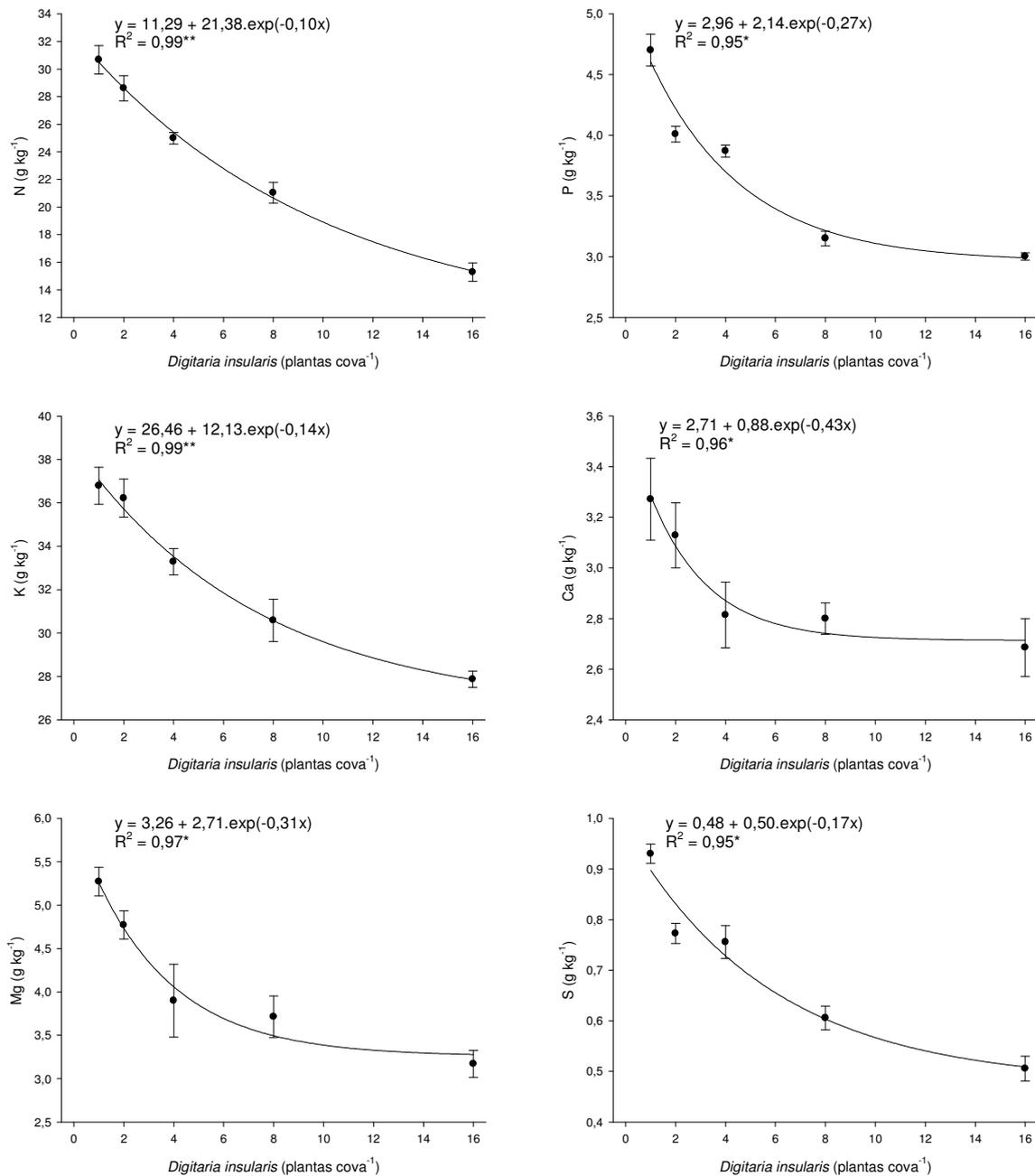


Figura 7. Relação do teor de nutrientes na parte aérea de capim-amargoso com a densidade da planta daninha crescendo em convivência com cafeeiro. Barras verticais indicam \pm o erro padrão da média. Jaboticabal, 2009.

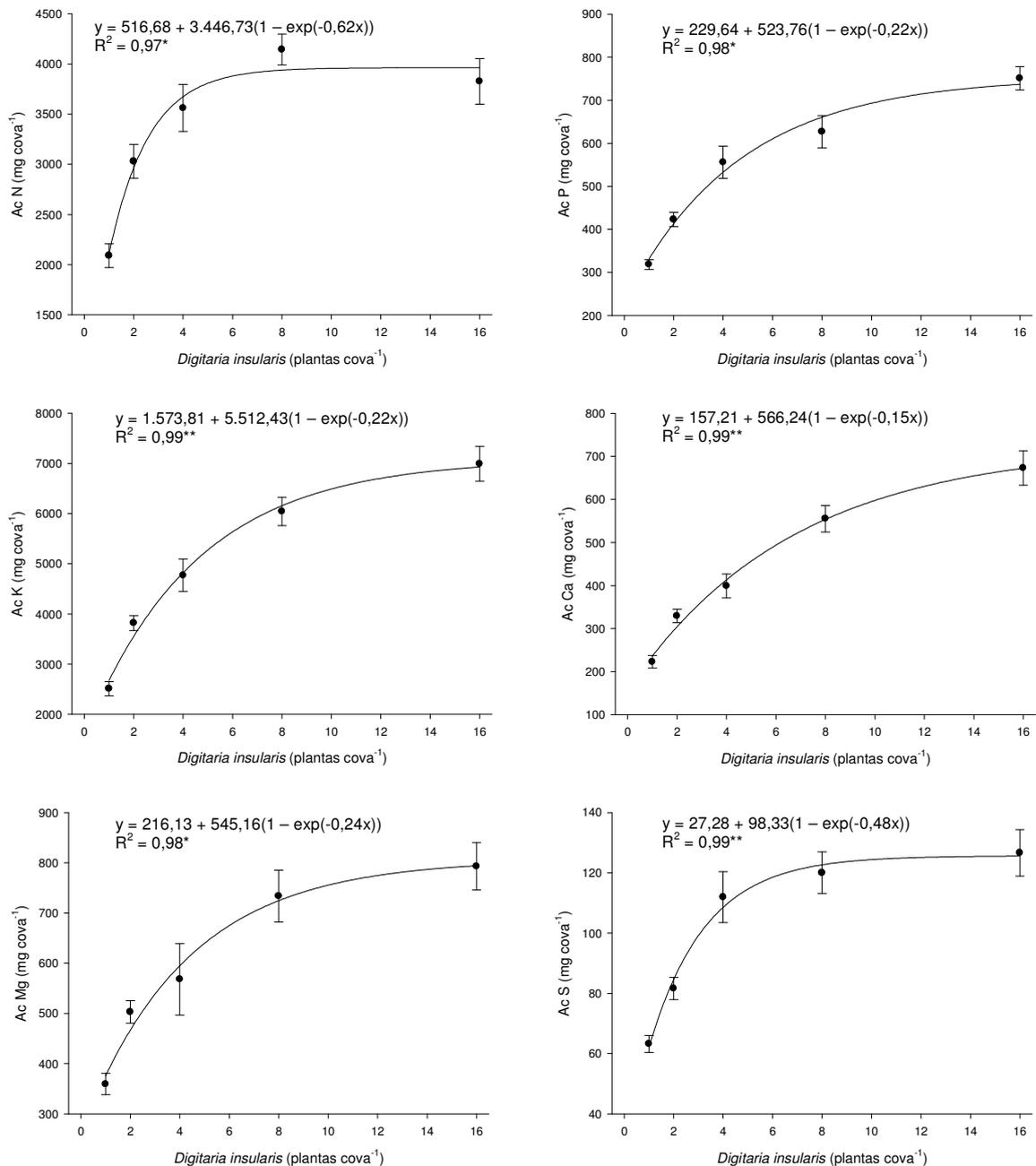


Figura 8. Relação do acúmulo total de nutrientes na parte aérea de capim-amargoso com a densidade da planta daninha crescendo em convivência com cafeeiro. Barras verticais indicam \pm o erro padrão da média. Jaboticabal, 2009.

Os teores de macronutrientes no cafeeiro diminuíram exponencialmente, à exceção do teor de fósforo que aumentou, com o aumento da densidade do

capim-amargoso (Figura 9). De acordo com a equação de regressão, nas densidades de 0 e 16 plantas cova^{-1} , respectivamente, o teor de nitrogênio variou de 23,5 a 17,8 g kg^{-1} ; o teor de potássio, de 21,2 a 19,5 g kg^{-1} ; o teor de cálcio, de 6,9 a 5,4 g kg^{-1} ; o teor de magnésio, de 2,9 a 2,4 g kg^{-1} ; e o teor de enxofre, de 0,64 a 0,55 g kg^{-1} . Portanto, foi observada redução de 24,3%, 8,0%, 21,7%, 17,2% e 14,1%, para os teores de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, respectivamente. Já o teor de fósforo variou de 2,4 a 2,7 g kg^{-1} , representando aumento de 10,8%.

Os acúmulos de macronutrientes no cafeeiro diminuíram exponencialmente com o aumento da densidade do capim-amargoso (Figura 10). De acordo com a equação de regressão, nas densidades de 0 e 16 plantas cova^{-1} , respectivamente, o acúmulo de nitrogênio variou de 293,9 a 150,5 mg planta^{-1} ; o acúmulo de fósforo, de 29,6 a 22,4 mg planta^{-1} ; o acúmulo de potássio, de 262,2 a 166,8 mg planta^{-1} ; o acúmulo de cálcio, de 86,2 a 47,3 mg planta^{-1} ; o acúmulo de magnésio, de 42,2 a 26,8 mg planta^{-1} ; e o acúmulo de enxofre, de 7,98 a 4,91 mg planta^{-1} . Portanto, foi observada redução de 48,8%, 24,3%, 36,4%, 45,2%, 36,6% e 38,4%, para os acúmulos de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, respectivamente.

Crescimento

A altura de plantas, o número de perfilhos e a massa seca individual do capim-amargoso diminuíram exponencialmente com o aumento da densidade da planta daninha (Figura 11). De acordo com a equação de regressão, nas densidades de 1 e 16 plantas cova^{-1} , respectivamente, a altura de plantas variou de 66,1 a 61,4 cm, o número de perfilhos, de 42 a 14 unidades e a massa seca individual, de 67,16 a 17,00 g planta^{-1} . Portanto, foi observada redução de 7,1%, 66,7% e 74,7% na altura de plantas, no número de perfilhos e na massa seca individual, respectivamente.

A massa seca da parte aérea do capim-amargoso foi aumentada exponencialmente com o aumento da densidade da planta daninha (Figura 11). De acordo com a equação de regressão, nas densidades de 1 e 16 plantas cova^{-1} , respectivamente, a massa seca da parte aérea variou de 72,36 a 249,93 g cova^{-1} .

Portanto, foi observado aumento de 245,4% na massa seca da parte aérea do capim-amargoso.

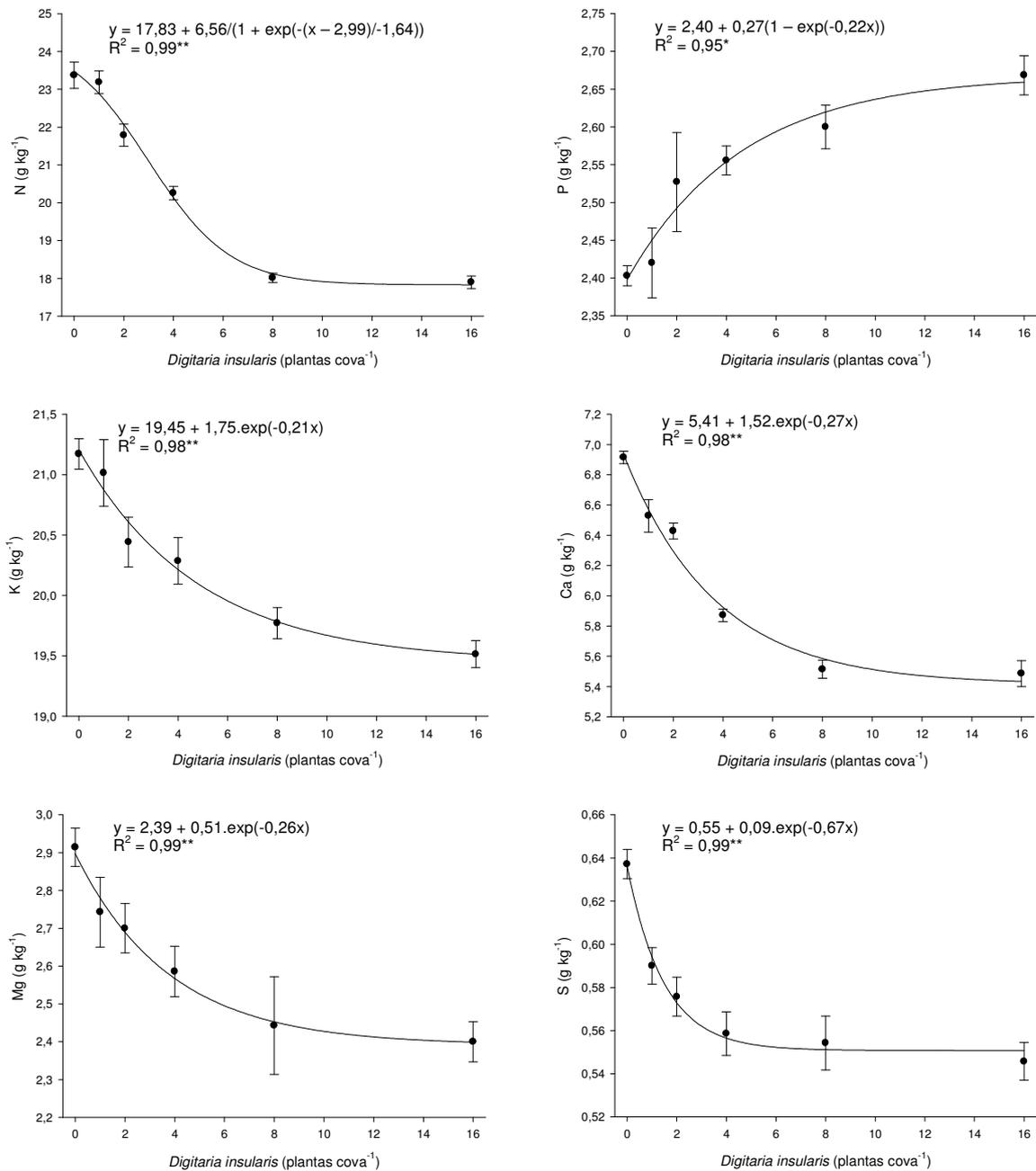


Figura 9. Relação do teor de nutrientes na parte aérea do cafeeiro com a densidade de capim-amargoso. Barras verticais indicam \pm o erro padrão da média. Jaboticabal, 2009.

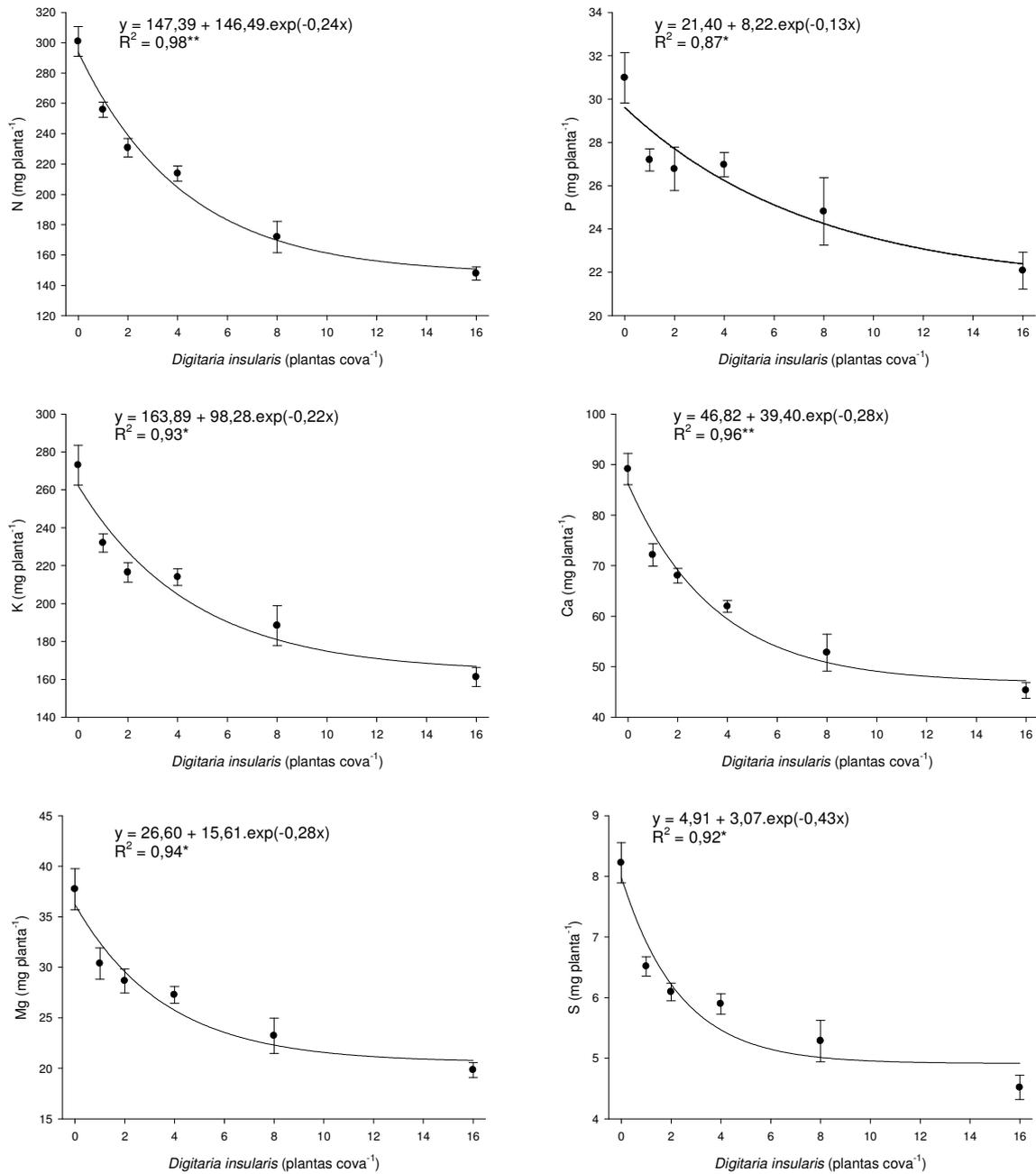


Figura 10. Relação do acúmulo de nutrientes na parte aérea do cafeeiro com a densidade de capim-amargoso. Barras verticais indicam \pm o erro padrão da média. Jaboticabal, 2009.

A altura, o diâmetro do caule, o número de folhas e a área foliar do cafeeiro diminuíram exponencialmente com o aumento da densidade do capim-amargoso (Figura 12). De acordo com a equação de regressão, nas densidades de 0 e 16 plantas

cova⁻¹, respectivamente, a altura de plantas variou de 47,9 a 43,5 cm; o diâmetro do caule, de 82,5 a 74,7 mm; o número de folhas, de 30 a 17 unidades; e a área foliar, de 752,0 a 458,1 cm². Portanto, foi observada redução de 9,2; 9,4; 43,3 e 39,1% na altura, no diâmetro do caule, no número de folhas e na área foliar, respectivamente.

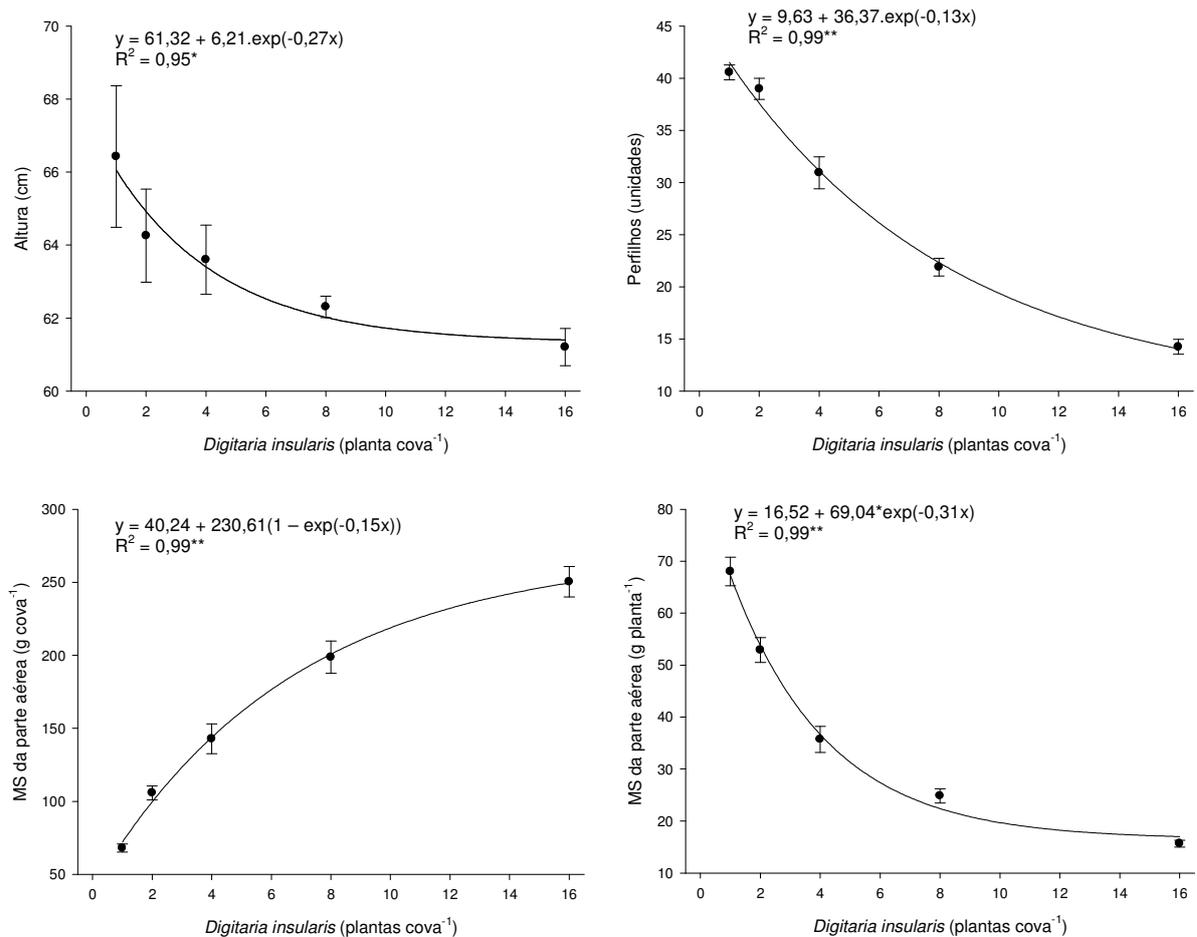


Figura 11. Relação da altura, do número médio de perfilhos por planta, da massa seca da parte aérea e da massa seca unitária de capim-amargoso com a densidade da planta daninha crescendo em convivência com cafeeiro. Barras verticais indicam \pm o erro padrão da média. Jaboticabal, 2009.

A massa seca do caule, a massa seca das folhas e a massa seca da parte aérea do cafeeiro diminuiram exponencialmente com o aumento da densidade do capim-amargoso (Figura 13). De acordo com a equação de regressão, nas densidades de 0 e 16 plantas cova⁻¹, respectivamente, a massa seca do caule variou de 6,14 a

4,88 g planta⁻¹; a massa seca das folhas, de 6,23 a 3,67 g planta⁻¹; e a massa seca da parte aérea, de 12,33 a 8,50 g planta⁻¹. Portanto, foi observada redução de 20,6; 41,0 e 31,0% na massa seca do caule, na massa das folhas e na massa seca da parte aérea, respectivamente.

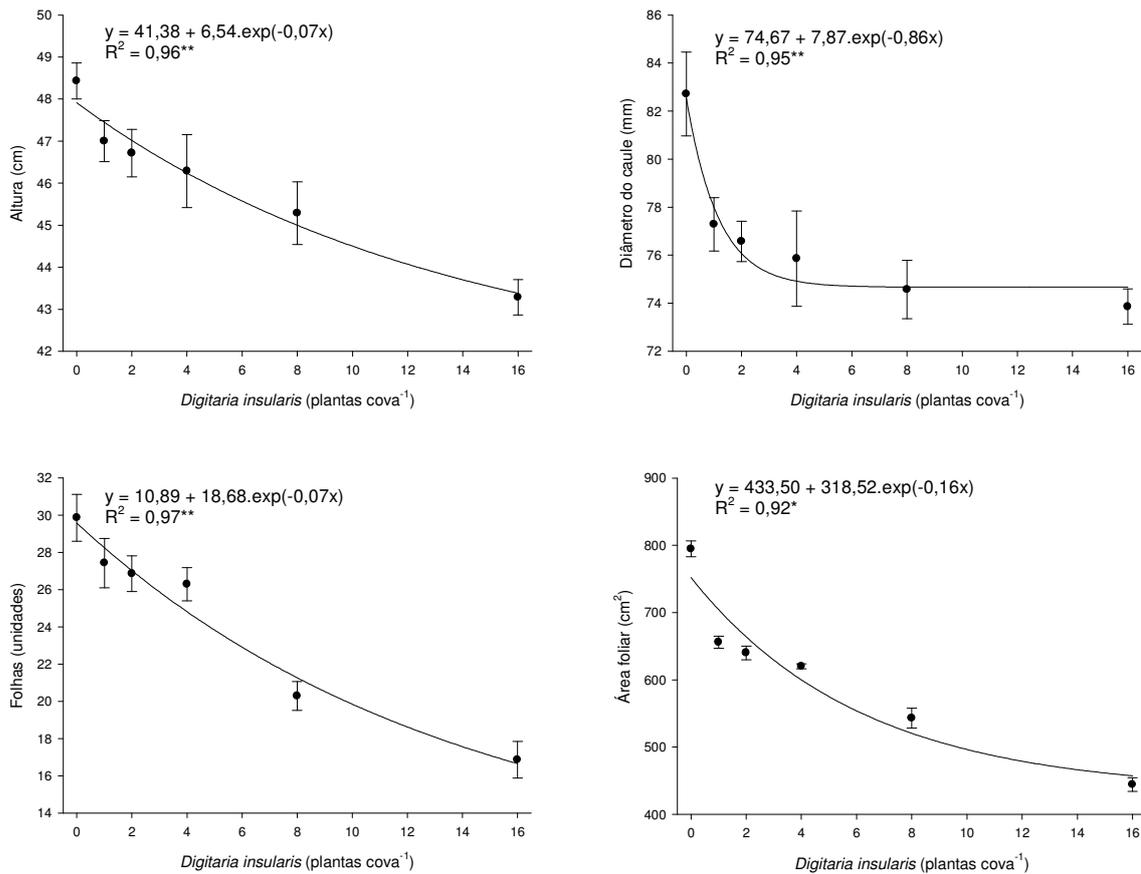


Figura 12. Relação da altura, do diâmetro do caule, do número de folhas e da área foliar do cafeeiro com a densidade de capim-amargoso. Barras verticais indicam \pm o erro padrão da média. Jaboticabal, 2009.

O quociente da área foliar com a massa seca de folhas do cafeeiro, denominada área foliar específica, relacionou-se com a densidade de capim-amargoso de maneira linear positiva (Figura 14). De acordo com a equação, com o aumento da densidade da planta daninha em 1 planta cova⁻¹ a área foliar específica aumenta em 0,2 cm² g⁻¹.

A massa seca da parte aérea do cafeeiro relacionou-se com a massa seca da parte aérea do capim-amargoso de maneira linear negativa (Figura 15). De acordo com

a equação de regressão, cada 1 g de ganho de massa seca pela planta daninha reduz a massa seca do cafeeiro em 0,02 g.

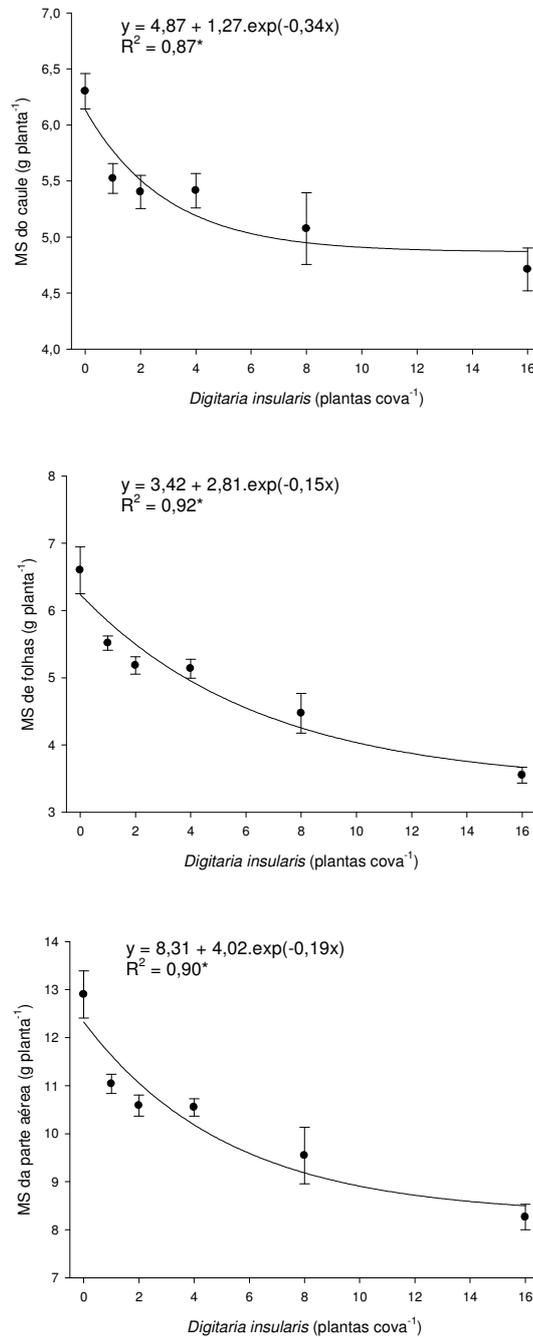


Figura 13. Relação da massa seca do caule, da massa seca de folhas e da massa seca da parte aérea do cafeeiro com a densidade de capim-amargoso. Barras verticais indicam \pm o erro padrão da média. Jaboticabal, 2009.

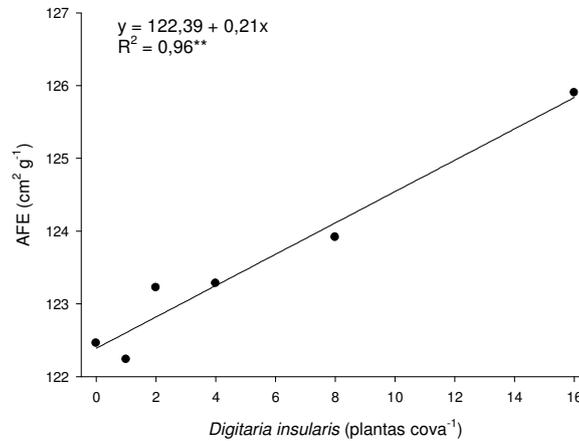


Figura 14. Relação da área foliar específica do cafeeiro com a densidade do capim-amargoso. Jaboticabal, 2009.

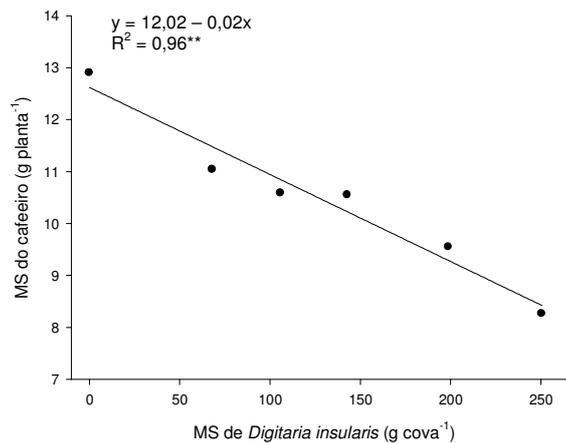


Figura 15. Relação entre os acúmulos de massa seca da parte aérea do cafeeiro e de capim-amargoso. Jaboticabal, 2009.

Discussão

Para o capim-amargoso, o fato de a altura de plantas e o número de perfilhos terem sido reduzidos com o aumento na densidade da planta daninha indica que a interferência intra-específica afetou seu crescimento. Essa redução esteve condicionada, individualmente, a cada planta de capim-amargoso, como pode ser comprovado pela redução na massa seca unitária da planta daninha. Isto, porque, considerando a população de capim-amargoso, houve aumento na massa seca da

parte aérea com o aumento na densidade da planta daninha. Portanto, mesmo com a interferência intra-específica do capim-amargoso, a população dessa planta daninha acumulou mais massa seca quanto maior foi sua densidade, até atingir a densidade de 16 plantas cova^{-1} .

Em um experimento aditivo, a massa seca acumulada de uma espécie passa a ser constante a partir do momento em que sua densidade torna-se crítica (JOLLIFFE et al., 1984; RADOSEVICH, 1987; COUSENS, 1991; RADOSEVICH et al., 1997), ou seja, mesmo com o aumento na densidade não há aumento do acúmulo de massa seca pela espécie. Assim, pode-se afirmar que a partir da densidade de 1 planta cova^{-1} até a densidade de 16 plantas cova^{-1} , o capim-amargoso aumentou seu potencial de interferência sobre a cultura do café.

Com o aumento na densidade ocorre diminuição no acúmulo individual de massa seca da espécie, pois há menor alocação de recursos para o crescimento da planta (RADOSEVICH et al., 1997). Pode-se considerar, portanto, que esse é o motivo pelo qual o número de perfilhos foi reduzido com o aumento na densidade da planta daninha. Esse fato foi observado em trigo, constatando-se, além disso, que há influência de características genéticas no perfilhamento (VALÉRIO et al., 2008). Isso permite afirmar que, possivelmente, biótipos de capim-amargoso oriundos de regiões distintas, submetidos a diferentes tipos de manejo, possam apresentar comportamento diferenciado quanto ao perfilhamento.

Estes comentários podem ser extrapolados para as características nutricionais avaliadas no capim-amargoso, pois os teores dos macronutrientes foram reduzidos, enquanto os acúmulos dos macronutrientes aumentaram. Assim, individualmente, a planta de capim-amargoso apresentou menor teor de macronutrientes nas densidades mais altas da planta daninha, indicando que a interferência intra-específica afetou a nutrição mineral da planta. Porém, o potencial de competição por nutrientes do capim-amargoso aumentou quando sua densidade foi maior, uma vez que o acúmulo de macronutrientes foi maior na densidade de 16 plantas cova^{-1} .

O processo fotossintético unitário do cafeeiro pouco foi influenciado pela convivência com diferentes densidades de capim-amargoso. Observou-se que a

eficiência quântica do fotossistema II pouco variou mesmo com grande redução do teor relativo de clorofila total. Nesse sentido, mesmo em se tratando de teores totais, apesar da diminuição do teor de clorofila, o cafeeiro praticamente manteve a eficiência quântica no fotossistema II quando em convivência com a planta daninha. Isso denota que a competição por luz pode não ter sido limitante, ao menos quantitativamente, para o crescimento da planta. Isso pode ter ocorrido em virtude de o cafeeiro ser uma espécie de ciclo C3 adaptada à ambiente sombreado (BRAUN et al., 2007), pois, segundo Engel e Poggiani (1990), a adaptação das plantas ao ambiente de luz depende do ajuste de seu aparelho fotossintético, de modo que a luminosidade ambiental seja utilizada de maneira mais eficiente possível.

Plantas de café crescendo sob irradiância moderada não sofreram perdas na atividade fotossintética (KUMAR; TIESZEN, 1980), enquanto aquelas sob alta irradiância, comum em dias ensolarados, podem sofrer fotoinibição (NUNES et al., 1993). Komar e Tieszen (1980) observaram, ainda, que a fotossíntese em plantas de café sombreado foi substancialmente maior que naquelas a pleno sol. Porém, o excesso de sombra pode reduzir a atividade fotossintética, afetando a fisiologia e a morfologia do cafeeiro (FAHL et al., 1994; CARELLI et al., 1999; MORAIS et al., 2003). Segundo Concenço et al. (2009), quando em competição, uma espécie pode aumentar sua capacidade fotossintética e transpiratória como forma de adquirir vantagem competitiva em relação a outra espécie com a qual esteja competindo. Nesse sentido, supõe-se que, quando em convivência com o capim-amargoso, a planta de café foi parcialmente sombreada pela planta daninha, o que pode ter criado um ambiente de luz pouco mais favorável à cultura, suficiente para melhorar, mas não substancialmente, o rendimento fotossintético do cafeeiro.

Convém salientar que quando se compara a variável fotossíntese entre trabalhos realizados, devem-se considerar alguns fatores que afetam os processos fisiológicos dos cafeeiros, tais como condições do clima (temperatura e radiação), condições do experimento (vaso ou campo), idade da planta, genótipo e sua adaptabilidade ao clima local, tipo de sombreamento (natural ou artificial), espécie utilizada e densidade de sombreamento (CARELLI et al., 1999; MORAIS et al., 2003), entre outros. Alfonsi et al.

(2005), estudando a mesma cultivar de café crescendo em tubos de PVC sob sombrite com sombreamento de 50%, observaram taxa fotossintética variando de 5,0 a 6,0 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; condutância estomática, de 0,07 a 0,08 $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; e transpiração, de 2,2 a 3,1 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente no período da manhã e da tarde. Esses valores estiveram próximos àqueles observados nesta pesquisa, estando dentro da média verificada para esta e outras cultivares de cafeeiro (ALFONSI, 2003; ALFONSI et al., 2005).

A convivência das culturas agrícolas com as plantas daninhas pode influenciar na qualidade da luz (relação vermelho/vermelho distante) disponível para a fotossíntese (MEROTTO JÚNIOR et al., 2009). A qualidade da luz tem efeito direto na ontogenia vegetal (JIAO et al., 2007), afetando desde a germinação da semente até a senescência da planta (BALLARÉ; CASAL, 2000; TAKANO et al., 2001; RAJCAN et al., 2004). Com isso, além de afetar o processo fotossintético, pode influenciar no desenvolvimento vegetal, incluindo emissão de folhas.

A relação vermelho/vermelho distante influencia na atividade do fitocromo (TAIZ; ZIEGER, 2006), uma proteína conjugada cuja relação entre a quantidade existente na forma ativa e na forma inativa controla a formação dos primórdios foliares, o desenvolvimento de folhas primárias, abertura e fechamento dos folíolos, etc.

Casal et al. (1985) observaram influência da qualidade da luz na morfologia e na dinâmica do perfilhamento de *L. multiflorum*. Alta relação vermelho/vermelho distante acarretou maior número de perfilhos jovens, enquanto a redução na relação vermelho/vermelho distante reduziu a partição de assimilados para os novos perfilhos, aumentando este investimento para o alongamento dos perfilhos já formados. Segundo Frank e Hofman (1994), a ativação das gemas que constituirão novos perfilhos está relacionada com a quantidade e qualidade da luz. A quantidade pode ser baixa ao atravessar o perfil vegetal, chegando à base das hastes, sendo responsável pela não ativação destas gemas. Da mesma forma, a qualidade desta luz também irá afetar o desenvolvimento das gemas se esta relação for alta. Assim, quanto mais densa a população de plantas, maior é a quantidade de gemas que permanecem dormentes. Portanto, pode-se afirmar que, possivelmente, o efeito da qualidade da luz pode ter

influenciado no número de folhas do cafeeiro, o que diretamente afetou sua área foliar, reduzindo, assim, o processo fotossintético global das plantas de café.

Ainda é importante ressaltar que, possivelmente, a competição por água não foi limitante para a cultura do café, uma vez que a condutância estomática unitária foi pouco aumentada em virtude da convivência com a planta daninha. Plantas em competição tendem a reduzir a condutância estomática quando submetidas a situações limitantes de água (CONCENÇO et al., 2009), fato este que não ocorreu no presente estudo. Além disso, Moraes et al. (2008) observaram que plantas de café reduziram a taxa fotossintética em condições de déficit hídrico. Portanto, caso houvesse limitação desse recurso, o cafeeiro deveria limitar a abertura estomática para diminuir a perda d'água, resultando em valores menores de condutância estomática nas densidades mais altas de capim-amargoso, além de diminuição na taxa fotossintética.

Segundo Schulze e Hall (1982), a forma como a taxa de fotossíntese relaciona-se com a condutância estomática tem importância ecológica, pois se variarem proporcionalmente, numa relação linear, é possível que a concentração interna de CO_2 e a eficiência do uso da água se mantenham constantes, ou mesmo sejam aumentadas, no sentido de otimização das trocas gasosas pela planta. Nesse sentido, observou-se que a taxa de fotossíntese relacionou-se com todas as características fotossintéticas unitárias e globais do cafeeiro linear e positivamente, ou seja, os maiores valores de fotossíntese foram observados quando os valores das demais características fotossintéticas também eram mais altos. No caso do processo fotossintético unitário, pode-se perceber que quando o cafeeiro cresceu com as densidades mais altas de capim-amargoso houve pequeno estímulo na fotossíntese, que pode ter sido possível pelo fato do café ser uma planta de ambiente sombreado. Já no processo fotossintético global, as características fotossintéticas foram exponencialmente reduzidas com o aumento na densidade da planta daninha, observando maiores valores dessas características quando a cultura cresceu livre da convivência com o capim-amargoso. Portanto, isto indica que, embora tenha o cafeeiro otimizado suas trocas gasosas quando em convivência com densidades mais altas de capim-amargoso, a redução na área foliar permitiu que o cafeeiro

tivesse seu processo fotossintético global reduzido pela convivência com a planta daninha.

Dessa maneira, como o processo fotossintético global do cafeeiro foi reduzido, houve influência no crescimento vegetal, afetando características como altura de plantas, diâmetro do caule e massa seca do caule, das folhas e da parte aérea das plantas de café, além daquelas já descritas.

Outro ponto a considerar é a competição por nutrientes. Observaram-se reduções nos teores de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e enxofre do cafeeiro em função do aumento na densidade de capim-amargoso, caracterizando a competição por elementos essenciais ao crescimento vegetal. Além disso, os acúmulos de todos os macronutrientes do cafeeiro foram reduzidos com o aumento na densidade da planta daninha.

O teor de fósforo, contrariamente aos demais macronutrientes, aumentou quando o cafeeiro foi mantido em convivência com densidades crescentes de capim-amargoso. Plantas de café formam associações micorrízicas com fungos do solo (COLOZZI FILHO; CARDOSO, 2000; TRISTÃO et al., 2006; COCHETO JÚNIOR et al., 2010). Além disso, sabe-se que gramíneas também podem formar associações micorrízicas com fungos do solo (SMITH; READ, 1997), resultando em possível aumento na absorção de minerais do solo, como observado por Soares (2004) e Silva et al. (2006) em *B. decumbens*, sugerindo que essa associação possa também ocorrer em capim-amargoso. O efeito benéfico mais marcante dessa associação é o aumento da absorção de nutrientes menos solúveis, como fósforo, zinco e cobre (CHU, 2005). Foi comprovado que micorrizas são capazes de aumentar a solubilização de fosfato mineral no solo (COLOZZI FILHO; NOGUEIRA, 2007). Dessa maneira, o teor de fósforo pode ter sido aumentado em função de uma maior disponibilidade deste nutriente para a absorção por plantas de café, propiciada pela solubilização do fósforo no solo.

De maneira geral, com exceção do cálcio, o capim-amargoso apresentou maiores teores de macronutrientes que o cafeeiro. Porém, de acordo com Pitelli (1985), o acúmulo do nutriente expressa de maneira mais adequada a competição por nutrientes do que a concentração do elemento mineral. Nesse sentido, observou-se que

uma planta de capim-amargoso acumulou 7,9%; 10,3%; 9,2%; 2,5%; 9,5% e 7,7% mais nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, respectivamente, que o cafeeiro. Segundo Ronchi et al. (2007), esse fato é indicador de maior habilidade competitiva por nutrientes apresentado pelas plantas daninhas.

Foi relatado que as plantas daninhas acumulam mais nutrientes que as culturas agrícolas, sendo, portanto, melhores competidoras (SINGH; SINGH, 1939; GALLO et al., 1958; QASEM, 1992; RONCHI et al., 2003; 2007). No caso do cafeeiro, Ronchi et al. (2003; 2007) observaram que o grau de interferência variou em função da espécie e da densidade de colonização. Além disso, Ronchi et al. (2007) concluíram que a competição por nutrientes reduz o crescimento inicial do cafeeiro, atrasando o estabelecimento da cultura e retardando a maturidade das plantas de café.

É possível inferir que as folhas foram mais sensíveis à interferência do capim-amargoso que o caule do cafeeiro, uma vez que as características que se referem ao crescimento do caule do cafeeiro, como altura da planta e diâmetro do caule, foram reduzidas em menos de dez por cento, enquanto a redução das características que se referem às folhas, como número de folhas e área foliar, foi em cerca de quarenta por cento. Essa inferência corrobora as observações feitas por Dias et al. (2004; 2005) e Marcolini et al. (2009) em cafeeiro. Esse fato pode ser evidenciado ainda pela redução em dobro da massa seca das folhas em relação à massa seca do caule. Toledo et al. (2001), Hernandez et al. (2002) e Dinardo et al. (2003) constataram que as folhas são os órgãos das plantas mais sensíveis aos efeitos do aumento na densidade de plantas daninhas. Isso ocorre devido à menor emissão e/ou à queda prematura das folhas, como evidenciado pela redução do número de folhas quando se aumentou a densidade de capim-amargoso.

A redução no número de folhas do cafeeiro com o aumento na densidade de capim-amargoso permite ainda uma inferência importante no que se refere à fotossíntese global da planta, uma vez que esses órgãos são os mais fotossinteticamente ativos da planta. Assim, apesar de a assimilação de CO₂, a taxa transpiratória e a condutância estomática da unidade foliar terem sido pouco afetadas pela convivência com a planta daninha, pode-se afirmar que a taxa fotossintética global

da planta, por sua vez, foi reduzida em função do menor número de folhas observado. Esse fato pode ser ainda evidenciado pela redução no acúmulo de massa seca da parte aérea do cafeeiro, mesmo havendo pouca influência no processo fotossintético unitário do cafeeiro.

A interferência do capim-amargoso proporcionou aumento linear da área foliar específica do cafeeiro de acordo com o aumento na densidade de colonização da planta daninha. A área foliar específica expressa, de maneira indireta, a espessura da folha (BENINCASA, 2003). Nesse sentido, as folhas do cafeeiro tornaram-se maiores e mais finas na medida em que se aumentou a densidade da planta daninha. Esse comportamento foi semelhante ao observado em plantas cultivadas a pleno sol (DICKISON, 2000; MORAIS et al., 2003).

Plantas de café crescendo sem convivência com a planta daninha, situação semelhante a pleno sol, apresentaram folhas mais espessas. Esse fato pode ser atribuído a maior espessura da parede celular, da cutícula e do mesófilo foliar, caracterizando o desenvolvimento de reforços mecânicos para evitar a perda de água (MORAIS et al., 2003). Essas folhas são também mais rústicas, apresentando forte compactação mesofílica, com abundante parênquima paliçádico em relação ao lacunoso, muitos tecidos mecânicos como colênquima e esclerênquima, além de grande espessamento cuticular (MEDRI; PEREZ, 1980).

Além disso, o aumento na área foliar específica pode proporcionar maior e melhor interceptação da energia solar (MORAIS et al., 2003). Neste experimento, a convivência do capim-amargoso acarretou maior área foliar específica do cafeeiro, induzindo, no entanto, ao aumento pouco significativo na atividade fotossintética unitária. Assim, o processo fotossintético global foi reduzido em função da limitação de outros recursos do meio e da redução na área foliar total da planta.

A quantidade total de massa seca acumulada pela planta é reflexo direto da produção fotossintética líquida global da planta somada à quantidade de nutrientes minerais absorvidos (ENGEL; POGGIANI, 1990). Como se relatou anteriormente, a competição por quantidade de luz absorvida (não a qualidade) e a competição por água podem não ter sido limitantes ao desenvolvimento do cafeeiro. Assim, infere-se que a

competição por nutrientes tenha sido o fator mais limitante para o crescimento do cafeeiro, uma vez que houve redução nos teores de quase todos os macronutrientes e no acúmulo dos macronutrientes.

Por fim, a densidade crítica para interferência de capim-amargoso foi determinada em função do acúmulo da massa seca na parte aérea do cafeeiro, uma vez que expressa a consequência final da interferência das plantas daninhas no crescimento inicial da cultura. Sendo assim, como o acúmulo de massa seca do cafeeiro foi reduzido exponencialmente com o aumento na densidade da planta daninha, ressalta-se que a presença de apenas uma planta de capim-amargoso convivendo com o cafeeiro é capaz de reduzir seu crescimento inicial.

Não foram encontrados trabalhos a respeito da densidade crítica de capim-amargoso em cafezal, porém Dias et al. (2004) e Marcolini et al. (2009) concluíram que a partir da densidade de oito plantas de *B. decumbens* por metro quadrado, equivalente aproximadamente a 4 plantas cova⁻¹ de capim-amargoso, as características de crescimento, número de folhas, área foliar e massa seca de caule e folhas, foram reduzidas significativamente. Ronchi et al. (2006; 2007) relataram reduções maiores de 70% na área foliar e na massa seca da parte aérea do cafeeiro convivendo com cerca de 77 plantas m⁻² de *B. decumbens*, *B. pilosa*, *C. diffusa* e *R. brasiliensis*.

Conclusões

- 1) A taxa fotossintética da unidade foliar pouco foi afetada pela convivência com capim-amargoso, mas o processo fotossintético global do cafeeiro foi reduzido, influenciando no crescimento inicial da cultura.
- 2) A nutrição mineral do cafeeiro foi afetada negativamente pela convivência com capim-amargoso, influenciando no crescimento inicial da cultura.
- 3) O crescimento inicial do cafeeiro foi reduzido em virtude da convivência com capim-amargoso.
- 4) A densidade crítica para interferência de capim-amargoso em cafeeiro foi de uma planta por cova.

CAPÍTULO 3 – EFEITOS CAUSADOS PELA EXPOSIÇÃO DE PLANTAS JOVENS DE CAFÉ AO HERBICIDA GLYPHOSATE

RESUMO – O glyphosate é o herbicida mais utilizado para controle de plantas daninhas na cultura do café. Porém, devido à não-adequação das tecnologias de aplicação, podem surgir problemas de deriva, afetando, assim, a cultura do café. Objetivou-se avaliar os efeitos da aplicação de doses crescentes de glyphosate na fotossíntese, na nutrição mineral e no crescimento inicial do cafeeiro. Os tratamentos constaram da aplicação de glyphosate nas doses de 0, 180, 360, 720, 1.440 e 2.880 g e.a. ha⁻¹, diretamente sobre plantas de café com 10 e 45 dias após o transplante (DAT), visando simular situações de deriva ou aplicação acidental. O experimento foi conduzido em vasos, sendo os tratamentos distribuídos em delineamento inteiramente casualizado com seis (fotossíntese) e três (nutrição e crescimento) repetições. O processo fotossintético do cafeeiro, no geral, foi estimulado com a aplicação de sub-doses de glyphosate e reduzido em doses mais altas, ao menos até duas semanas depois da aplicação, em plantas com 10 e 45 DAT. Porém, o efeito estimulante sobre a fotossíntese foi dependente do estágio da planta no momento da aplicação, sendo maior em plantas com 45 DAT. Os teores de fósforo, magnésio e enxofre foram reduzidos em função da aplicação de doses crescentes de glyphosate. Porém, o efeito da aplicação do glyphosate sobre a nutrição mineral do cafeeiro foi pouco influenciado pelo estágio da planta no momento da aplicação. A resposta do crescimento inicial de plantas de café à aplicação de glyphosate foi dependente do estágio da planta no momento da aplicação. Plantas mais jovens, com 10 DAT, não apresentaram estímulo no crescimento inicial quando expostas à sub-doses de glyphosate, porém, quando a aplicação foi feita em estágio mais avançado, 45 DAT, houve estímulo do crescimento.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, glyphosate, deriva, fotossíntese, nutrição mineral, crescimento.

Introdução

O glyphosate é um dos principais herbicidas utilizados em lavouras de café no Brasil. Contudo, seu uso nem sempre obedece às recomendações de aplicação e às normas de segurança. Em virtude disso, aplicações acidentais ou deriva podem ocorrer, expondo a cultura, e mesmo as culturas vizinhas, ao risco de danos causados pela intoxicação com o herbicida, dependendo da concentração e da quantidade de princípio ativo que atinge as plantas (ROIDER et al., 2007; 2008; SANTOS et al., 2007).

Plantas jovens de café são muito sensíveis à interferência de plantas daninhas que ocorrem na linha de plantio, podendo ter seu crescimento e ciclo reprodutivo comprometidos caso o controle não seja efetuado em tempo hábil (RONCHI; SILVA, 2003). No entanto, o manejo das plantas daninhas na linha de plantio do café torna-se dispendioso quando se usa o controle manual, pelo baixo rendimento operacional e alto custo por área (FRANÇA et al., 2010). Uma alternativa a esse problema é o controle químico, mas poucos são os produtos registrados com comprovada seletividade à cultura (RONCHI; SILVA, 2003).

A aplicação de herbicidas não-seletivos, caso do glyphosate, é uma opção no manejo das plantas daninhas na linha de plantio, porém há necessidade de se utilizar proteção, como barreiras físicas, evitando o contato das gotas aspergidas com a planta da cultura e pontas com indução de ar (FRANÇA et al., 2010). Também devem ser tomados cuidados com a pressão de trabalho do pulverizador, bem como com a altura da barra, velocidade de operação e do vento na hora da aplicação (FREITAS et al., 2005; COSTA et al., 2007; FERREIRA et al., 2007). Todavia, apesar de vários estudos sobre essa tecnologia de aplicação, são constatados muitos casos de intoxicação de plantas devido à deriva (RODRIGUES et al., 2003; RONCHI; SILVA, 2004).

Como há poucas informações a respeito da aplicação de glyphosate em cafeeiro, a hipótese levantada neste capítulo foi que plantas jovens de café apresentariam comportamento fotossintético, nutricional e de crescimento diferenciado quanto à deriva ou aplicação acidental simulada de glyphosate, dependendo do estágio em que as plantas fossem expostas ao herbicida.

Objetivou-se avaliar os efeitos da aplicação de doses crescentes de glyphosate no processo fotossintético, no teor de nutrientes e no crescimento inicial do cafeeiro, para estudar o comportamento de plantas de café submetidas à exposição ao herbicida em dois estádios de crescimento.

Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos no DBAA, da FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal, SP, Brasil, durante o período de outubro de 2009 a fevereiro de 2010.

Em todos os experimentos, foram utilizadas mudas de cafeeiro *C. arabica* cv. Catuaí Vermelho IAC-144, as quais foram obtidas em viveiros certificados e transplantadas quando apresentavam de 4 a 5 pares de folhas totalmente expandidas. O crescimento das plantas ocorreu sob condições ambientais em área experimental da referida instituição de ensino e pesquisa.

Como unidade experimental, foram utilizados vasos de plástico com capacidade para 7 L, preenchidos com uma mistura de terra e esterco bovino na proporção 3:1 (v:v). A terra utilizada provinha de Latossolo Vermelho de textura argilosa. Para todos os experimentos, as características químicas da terra utilizada eram: pH (CaCl₂) igual a 5,1; 20,0 g dm⁻³ de MO; 26,0 mg dm⁻³ de P (resina); além de 1,9; 23,0; 14,0; 25,0; 38,9 e 63,9 mmol_c dm⁻³ de K, Ca, Mg, H+Al, SB e T, respectivamente; e V de 61%.

O substrato foi fertilizado com 3 g vaso⁻¹ da formulação NPK (Heringer, 4-14-8, Brasil), após o transplante das mudas, e foi periodicamente regado duas a três vezes ao dia, ou quando necessário, exceto em dias chuvosos. Tratamentos fitossanitários também foram feitos, preventivamente, utilizando os mesmos produtos descritos no item Material e Métodos do Capítulo 2.

Em todos os experimentos, os tratamentos experimentais referiram-se a doses de glyphosate aplicadas diretamente sobre as plantas jovens de café. Utilizou-se da formulação comercial de glyphosate (Monsanto, Roundup Original[®], Brasil), com 48% (m/v) de ingrediente ativo [sal de isopropilamina de N-(fosfometil)-glicina] e 36% do equivalente ácido de N-(fosfometil)-glicina. As doses utilizadas foram de 0, 180, 360,

720, 1.440 e 2.880 g e.a ha⁻¹, simulando situações de deriva e/ou aplicação acidental do herbicida. O glyphosate foi aplicado com pulverizador costal, à pressão constante (mantida por CO₂ comprimido) de 1,90 kgf cm⁻², munido de barra com dois bicos de jato plano (TeeJet, 80.02, EUA), mantido a 50 cm de distância do alvo, com consumo de calda equivalente a 200 L ha⁻¹.

Para a avaliação do comportamento fotossintético do cafeeiro submetido à aplicação de glyphosate, dois experimentos foram realizados. No primeiro, o herbicida foi aplicado sobre plantas com 10 DAT e no segundo, sobre plantas com 45 DAT. Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado com seis repetições para cada experimento. As avaliações ocorreram aos 2 e 14 dias após a aplicação do herbicida (DAA). Em cada época de avaliação, foi feita medida em uma folha do segundo par de folhas totalmente expandidas (plantas com 10 DAT) ou em uma folha do primeiro par de folhas após o primeiro ramo lateral emitido (plantas com 45 DAT).

Para a avaliação do crescimento e da nutrição mineral do cafeeiro submetido à aplicação de glyphosate, dois experimentos foram realizados. Em um primeiro experimento, o herbicida foi aplicado sobre plantas com 10 DAT e no segundo experimento, sobre plantas com 45 DAT. Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado com três repetições. As avaliações ocorreram aos 60 DAA.

As avaliações das características fotossintéticas, de crescimento e de nutrição mineral foram semelhantes às realizadas no Capítulo 2 para o cafeeiro, descrita no item Material e Métodos do referido capítulo.

Os dados de todas as características avaliadas foram submetidos à análise de regressão em função da dose aplicada do herbicida glyphosate. Além disso, foram também submetidos à análise de regressão os dados da taxa fotossintética em função da taxa transpiratória, da condutância estomática e da concentração interna de CO₂ na folha do cafeeiro.

As análises de regressão foram processadas por meio do programa computacional SigmaPlot (Systat Software, versão 10.0, EUA).

Resultados

Sintomas de intoxicação

Sintomas visuais de intoxicação por glyphosate não foram observados aos 2 DAA e 14 DAA, em nenhuma dose aplicada, tanto em plantas de café com 10 DAT quanto com 45 DAT no momento da aplicação. Contudo, a 30 DAT, plantas submetidas à aplicação de doses de 1.440 e 2.880 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate apresentaram sintomas de intoxicação apenas nas folhas mais novas, caracterizados por clorose severa, crescimento reduzido, deformação e espessamento foliar (Figura 1B do Apêndice B). Nas doses mais baixas, entretanto, tanto plantas com 10 DAT quanto com 45 DAT, não apresentaram sintomas de intoxicação por glyphosate. Esses sintomas corroboraram aqueles descritos por Nelson (2008).

Processo fotossintético

Aos 2 DAA, plantas expostas ao glyphosate aos 10 DAT apresentaram maior taxa de fotossíntese (6,86 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) na dose de 301 g e.a. ha⁻¹, enquanto a menor taxa fotossintética (4,74 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi observada a partir da dose de 752 g e.a. ha⁻¹ (Figura 16). Já plantas com 45 DAT apresentaram maior taxa de fotossíntese (8,16 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) na dose de 443 g e.a. ha⁻¹, enquanto a menor taxa fotossintética (5,21 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi observada a partir da dose de 1.317 g e.a. ha⁻¹. Portanto, para atingir o máximo estímulo na taxa de fotossíntese, plantas com 45 DAT tiveram que receber dose de glyphosate 1,5 vezes maior que aquelas com 10 DAT. Já a menor taxa fotossintética foi atingida com dose 1,8 vezes menor em plantas com 10 DAT.

Aos 14 DAA, plantas expostas ao glyphosate aos 10 DAT apresentaram maior taxa de fotossíntese (6,90 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) na dose de 266 g e.a. ha⁻¹, enquanto a menor taxa fotossintética (4,42 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi observada a partir da dose de 687 g e.a. ha⁻¹ (Figura 16). Já plantas com 45 DAT apresentaram maior taxa de

fotossíntese ($8,29 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) na dose de $407 \text{ g e.a. ha}^{-1}$, enquanto a menor taxa fotossintética ($6,04 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi observada a partir da dose de $1.172 \text{ g e.a. ha}^{-1}$. Portanto, para atingir o máximo estímulo na taxa de fotossíntese, plantas com 45 DAT tiveram que receber dose de glyphosate 1,5 vezes maior que aquelas com 10 DAT. Já a menor taxa fotossintética foi atingida com dose 1,7 vezes menor em plantas com 10 DAT.

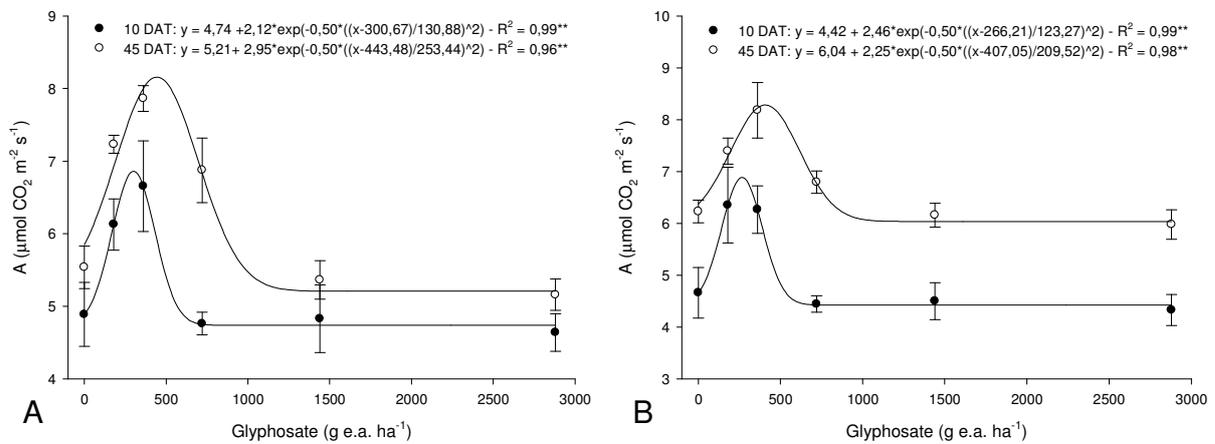


Figura 16. Fotossíntese do cafeeiro submetido à aplicação de glyphosate aos 10 e 45 dias após o transplante, avaliado aos 2 (A) e 14 (B) dias após a aplicação. Jaboticabal, 2009-10.

Aos 2 DAA, plantas expostas ao glyphosate aos 10 DAT apresentaram maior taxa de transpiração ($1,56 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) na dose de $232 \text{ g e.a. ha}^{-1}$, enquanto a menor taxa ($1,33 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi observada a partir da dose de $575 \text{ g e.a. ha}^{-1}$ (Figura 17). Já plantas com 45 DAT apresentaram maior taxa de transpiração ($1,71 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) na dose de $443 \text{ g e.a. ha}^{-1}$, enquanto a menor taxa transpiratória ($1,42 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi observada a partir da dose de $1.205 \text{ g e.a. ha}^{-1}$. Portanto, para atingir o máximo estímulo na transpiração, plantas com 45 DAT tiveram que receber dose de glyphosate 1,9 vezes maior que aquelas com 10 DAT. Já a menor taxa transpiratória foi atingida com dose 2,1 vezes menor em plantas com 10 DAT.

Aos 14 DAA, plantas expostas ao glyphosate aos 10 DAT apresentaram maior taxa de transpiração ($1,52 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) na dose de $277 \text{ g e.a. ha}^{-1}$, enquanto a menor taxa transpiratória ($1,25 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi observada a partir da dose de $752 \text{ g e.a. ha}^{-1}$ (Figura 17). Já plantas com 45 DAT apresentaram maior taxa de

transpiração ($1,56 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) na dose de $428 \text{ g e.a. ha}^{-1}$, enquanto a menor taxa transpiratória ($1,36 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi observada a partir da dose de $1.297 \text{ g e.a. ha}^{-1}$. Portanto, para atingir o máximo estímulo na taxa de transpiração, plantas com 45 DAT tiveram que receber dose de glyphosate 1,5 vezes maior que aquelas com 10 DAT. Já a menor taxa transpiratória foi atingida com dose 1,7 vezes menor em plantas com 10 DAT.

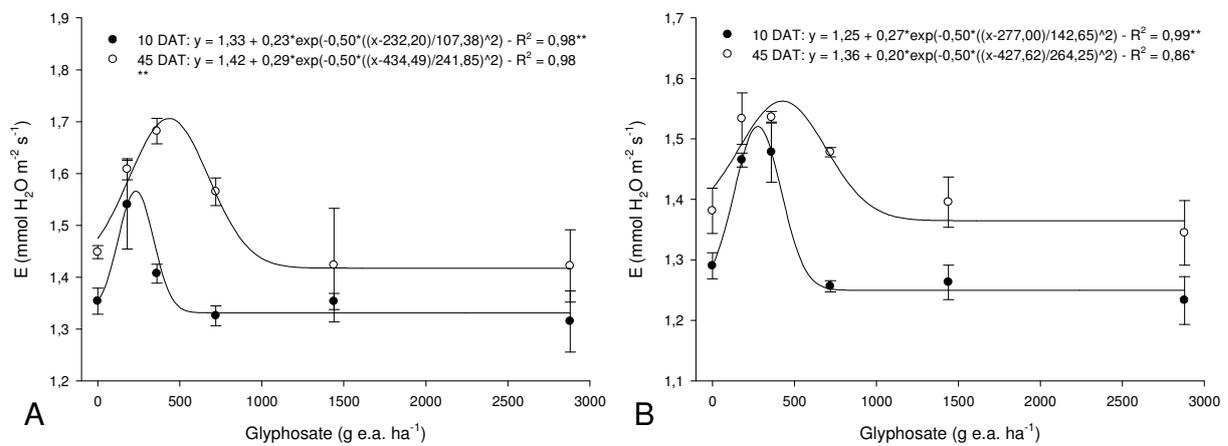


Figura 17. Transpiração do cafeeiro submetido à aplicação de glyphosate aos 10 e 45 dias após o transplante, avaliado aos 2 (A) e 14 (B) dias após a aplicação. Jaboticabal, 2009-10.

Aos 2 DAA, plantas expostas ao glyphosate aos 10 DAT apresentaram maior condutância estomática ($0,32 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) na dose de $262 \text{ g e.a. ha}^{-1}$, enquanto a menor condutância estomática ($0,22 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi observada a partir da dose de $699 \text{ g e.a. ha}^{-1}$ (Figura 18). Já plantas com 45 DAT apresentaram maior condutância estomática ($0,37 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) na dose de $441 \text{ g e.a. ha}^{-1}$, enquanto a menor condutância estomática ($0,24 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi observada a partir da dose de $1.350 \text{ g e.a. ha}^{-1}$. Portanto, para atingir o máximo estímulo na condutância estomática, plantas com 45 DAT tiveram que receber dose de glyphosate 1,7 vezes maior que aquelas com 10 DAT. Já a menor condutância estomática foi atingida com dose 1,9 vezes menor em plantas com 10 DAT.

Aos 14 DAA, plantas expostas ao glyphosate aos 10 DAT apresentaram maior condutância estomática ($0,21 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) na dose de $185 \text{ g e.a. ha}^{-1}$, enquanto a menor condutância estomática ($0,17 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi observada a partir da dose de

628 g e.a. ha⁻¹ (Figura 18). Já plantas com 45 DAT apresentaram maior condutância estomática (0,26 mol H₂O m⁻² s⁻¹) na dose de 447 g e.a. ha⁻¹, enquanto a menor condutância estomática (0,20 mol H₂O m⁻² s⁻¹) foi observada a partir da dose de 1.573 g e.a. ha⁻¹. Portanto, para atingir o máximo estímulo na condutância estomática, plantas com 45 DAT tiveram que receber dose de glyphosate 2,4 vezes maior que aquelas com 10 DAT. Já a menor condutância estomática foi atingida com dose 2,5 vezes menor em plantas com 10 DAT.

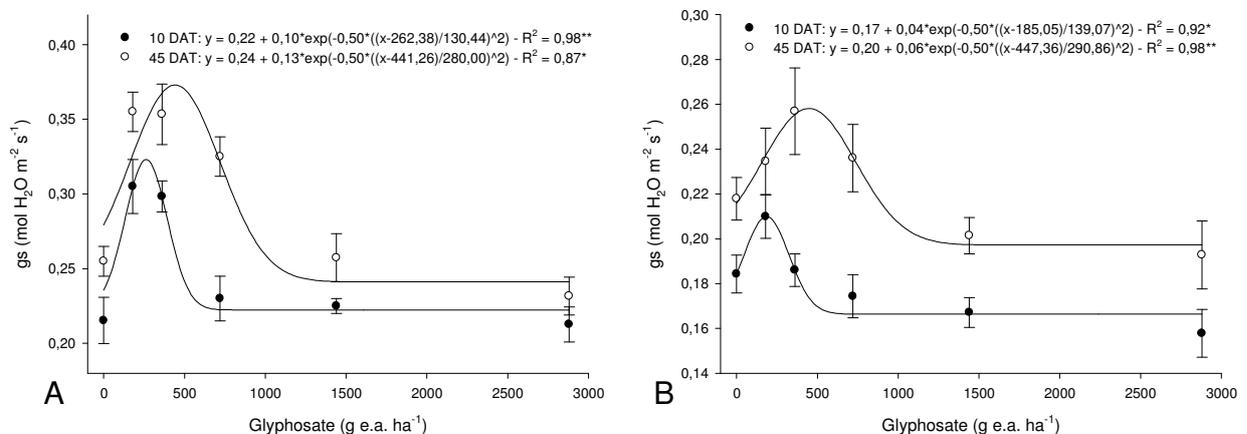


Figura 18. Condutância estomática do cafeeiro submetido à aplicação de glyphosate aos 10 e 45 dias após o transplante, avaliado aos 2 (A) e 14 (B) dias após a aplicação. Jaboticabal, 2009-10.

Aos 2 DAA, plantas expostas ao glyphosate aos 10 DAT apresentaram maior concentração interna de CO₂ na folha (312 mol CO₂ m⁻² s⁻¹) na dose de 347 g e.a. ha⁻¹, enquanto a menor concentração interna de CO₂ na folha (249 mol CO₂ m⁻² s⁻¹) foi observada a partir da dose de 1.021 g e.a. ha⁻¹ (Figura 19). Já plantas com 45 DAT apresentaram maior concentração interna de CO₂ na folha (336 mol CO₂ m⁻² s⁻¹) na dose de 445 g e.a. ha⁻¹, enquanto a menor concentração interna de CO₂ na folha (249 mol CO₂ m⁻² s⁻¹) foi observada a partir da dose de 1.363 g e.a. ha⁻¹. Portanto, para atingir o máximo estímulo na concentração interna de CO₂ na folha, plantas com 45 DAT tiveram que receber dose de glyphosate 1,3 vezes maior que aquelas com 10 DAT. Do mesmo modo, a menor concentração interna de CO₂ na folha foi atingida com dose 1,3 vezes menor em plantas com 10 DAT.

Aos 14 DAA, plantas expostas ao glyphosate aos 10 DAT apresentaram maior concentração interna de CO_2 na folha ($297 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) na dose de $282 \text{ g e.a. ha}^{-1}$, enquanto a menor concentração interna de CO_2 na folha ($234 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi observada a partir da dose de $778 \text{ g e.a. ha}^{-1}$ (Figura 19). Já plantas com 45 DAT apresentaram maior concentração interna de CO_2 na folha ($318 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) na dose de $416 \text{ g e.a. ha}^{-1}$, enquanto a menor concentração interna de CO_2 na folha ($274 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi observada a partir da dose de $1.408 \text{ g e.a. ha}^{-1}$. Portanto, para atingir o máximo estímulo na concentração interna de CO_2 na folha, plantas com 45 DAT tiveram que receber dose de glyphosate 1,5 vezes maior que aquelas com 10 DAT. Já a menor concentração interna de CO_2 na folha foi atingida com dose 1,8 vezes menor em plantas com 10 DAT.

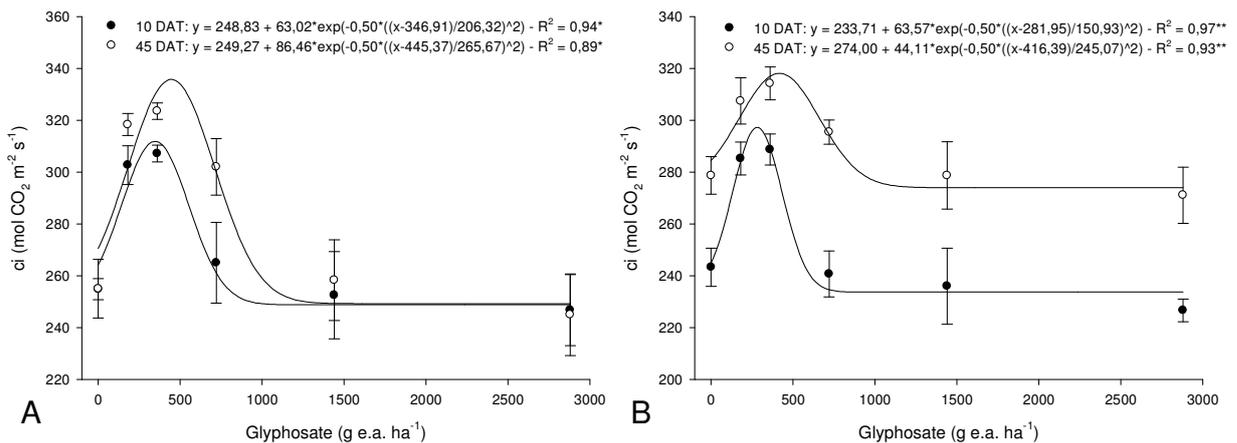


Figura 19. Concentração interna de CO_2 na folha do cafeeiro submetido à aplicação de glyphosate aos 10 e 45 dias após o transplante, avaliado aos 2 (A) e 14 (B) dias após a aplicação. Jaboticabal, 2009-10.

Aos 2 DAA, plantas expostas ao glyphosate aos 10 DAT apresentaram maior eficiência no uso de água pela planta ($4,60 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$) na dose de $364 \text{ g e.a. ha}^{-1}$, enquanto a menor eficiência no uso de água pela planta ($3,56 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$) foi observada a partir da dose de $812 \text{ g e.a. ha}^{-1}$ (Figura 20). Já plantas com 45 DAT apresentaram maior eficiência no uso de água pela planta ($4,91 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$) na dose de $377 \text{ g e.a. ha}^{-1}$, enquanto a menor eficiência no uso de água pela planta ($3,71 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$) foi observada a partir

da dose de 1.067 g e.a. ha⁻¹. Portanto, para atingir o máximo estímulo na eficiência no uso de água pela planta, plantas com 45 DAT tiveram que receber dose de glyphosate 1,04 vezes maior que aquelas com 10 DAT. Já a menor eficiência no uso de água pela planta foi atingida com dose 1,3 vezes menor em plantas com 10 DAT.

Aos 14 DAA, plantas expostas ao glyphosate aos 10 DAT apresentaram maior eficiência no uso de água pela planta (4,60 μmol CO₂ mmol H₂O⁻¹) na dose de 261 g e.a. ha⁻¹, enquanto a menor eficiência no uso de água pela planta (3,56 μmol CO₂ mmol H₂O⁻¹) foi observada a partir da dose de 621 g e.a. ha⁻¹ (Figura 20). Já plantas com 45 DAT apresentaram maior eficiência no uso de água pela planta (6,84 μmol CO₂ mmol H₂O⁻¹) na dose de 429 g e.a. ha⁻¹, enquanto a menor eficiência no uso de água pela planta (4,42 μmol CO₂ mmol H₂O⁻¹) foi observada a partir da dose de 1.218 g e.a. ha⁻¹. Portanto, para atingir o máximo estímulo na eficiência no uso de água pela planta, plantas com 45 DAT tiveram que receber dose de glyphosate 1,6 vezes maior que aquelas com 10 DAT. Já a menor eficiência no uso de água pela planta foi atingida com dose aproximadamente 2 vezes menor em plantas com 10 DAT.

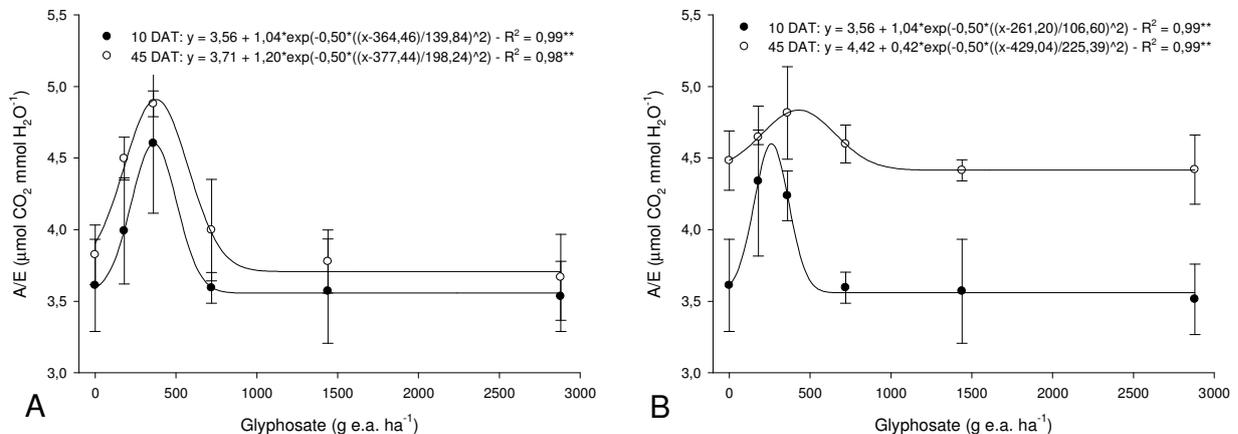


Figura 20. Eficiência no uso de água pela planta de café submetida à aplicação de glyphosate aos 10 e 45 dias após o transplante, avaliado aos 2 (A) e 14 (B) dias após a aplicação. Jaboticabal, 2009-10.

Tanto na avaliação aos 2 DAA quanto aos 14 DAA, a taxa de fotossíntese do cafeeiro relacionou-se de maneira linear positiva com a taxa transpiratória, a condutância estomática e a concentração interna de CO₂ na folha (Tabela 2 e 3).

Tabela 2. Relação linear da taxa de absorção de CO₂ global com a transpiração (E), a condutância estomática (gs), a concentração interna de CO₂ na folha (ci) e a eficiência no uso de água pela planta (A/E) de café submetido à aplicação de glyphosate aos 10 e 45 dias após o transplante (DAT), na avaliação feita aos 2 dias após a aplicação. Jaboticabal, 2009-10.

Característica	y0	a	R ²	p
10 DAT				
E	-4,02	6,59	0,99	< 0,01
gs	0,54	19,29	0,92	< 0,01
ci	-3,11	0,03	0,94	< 0,01
45 DAT				
E	-9,35	10,29	0,99	< 0,01
gs	0,34	20,24	0,96	< 0,01
ci	-2,74	0,03	0,98	< 0,01

Equação linear: $y = y_0 + ax$.

Tabela 3. Relação linear da taxa de absorção de CO₂ global com a transpiração (E), a condutância estomática (gs), a concentração interna de CO₂ na folha (ci) e a eficiência no uso de água pela planta (A/E) de café submetido à aplicação de glyphosate aos 10 e 45 dias após o transplante (DAT), na avaliação feita aos 14 dias após a aplicação. Jaboticabal, 2009-10.

Característica	y0	a	R ²	p
10 DAT				
E	-6,30	8,56	0,99	< 0,01
gs	-2,14	39,15	0,86	0,02
ci	-3,84	0,04	0,98	< 0,01
45 DAT				
E	-4,07	7,42	0,97	< 0,01
gs	-0,66	33,37	0,86	< 0,01
ci	-7,13	0,05	0,95	< 0,01

Equação linear: $y = y_0 + ax$.

Aos 2 DAA, a eficiência quântica do fotossistema II do cafeeiro variou de 0,736 a 0,751 (plantas com 10 DAT) e de 0,741 a 0,764 (plantas com 45 DAT) (Figura 21), porém não foi possível ajustar uma equação de regressão significativa para essa característica. A eficiência quântica do fotossistema II do cafeeiro, avaliada aos 14 DAA, variou de 0,677 a 0,740 (plantas com 10 DAT) e de 0,664 a 0,730 (plantas com 45 DAT) (Figura 21), porém também não foi possível ajustar uma equação de regressão significativa.

O teor relativo de clorofila total do cafeeiro, avaliado aos 2 DAA, variou de 46,9 a 47,6 UR (10 DAT) e de 49,8 a 50,5 UR (45 DAT) (Figura 22), porém não foi possível

ajustar uma equação de regressão para essa característica. O teor relativo de clorofila total do cafeeiro, avaliado aos 14 DAA, variou de 47,3 a 47,8 UR (plantas com 10 DAT) e de 49,6 a 50,3 (plantas com 45 DAT), não sendo também possível ajustar uma equação de regressão.

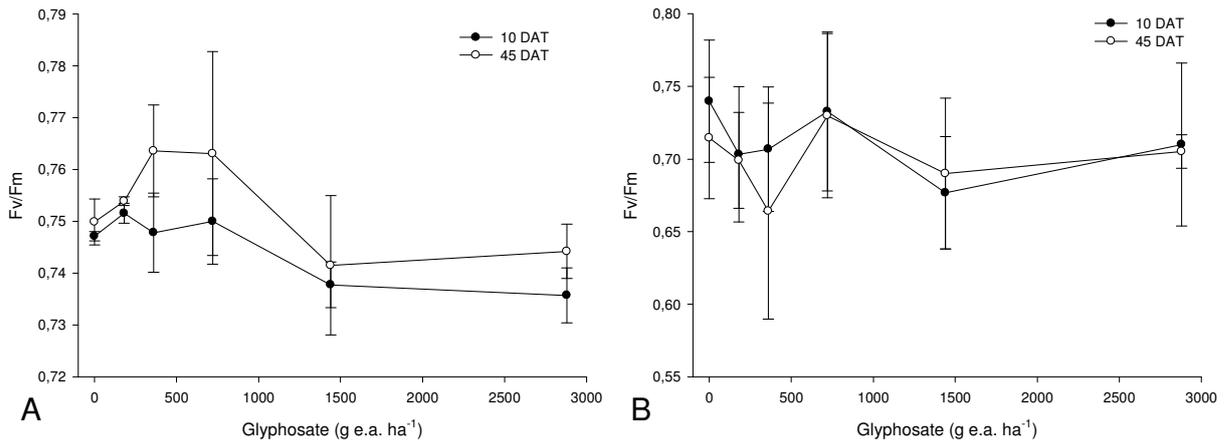


Figura 21. Eficiência quântica do fotossistema II do cafeeiro submetido à aplicação de glyphosate aos 10 e 45 dias após o transplante, avaliada aos 2 (A) e 14 (B) dias após a aplicação. Jaboticabal, 2009-10.

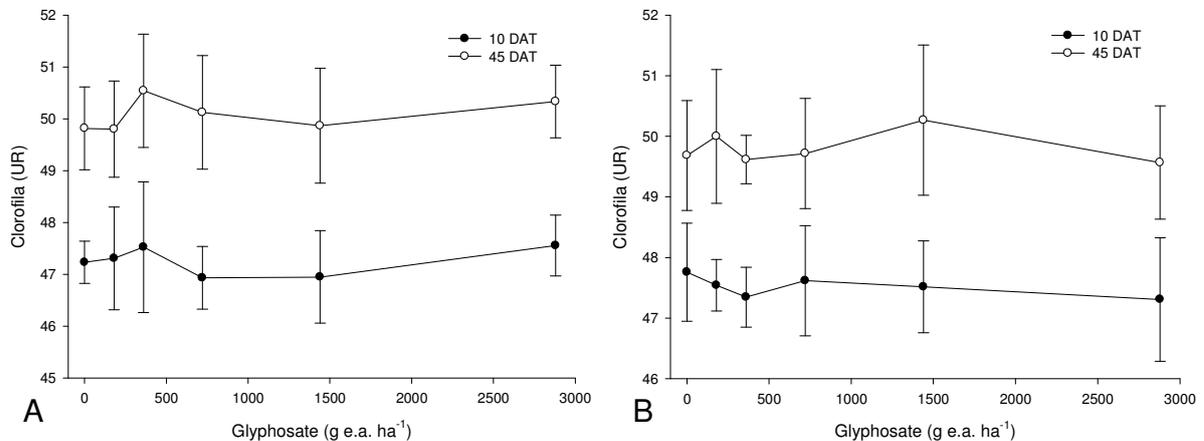


Figura 22. Teor relativo de clorofila total do cafeeiro submetido à aplicação de glyphosate aos 10 e 45 dias após o transplante, avaliada aos 2 (A) e 14 (B) dias após a aplicação. Jaboticabal, 2009-10.

Nutrição mineral

O teor de nitrogênio variou de 19,0 a 20,0 g kg⁻¹ em plantas com 10 DAT e de 19,0 a 20,3 em plantas com 45 DAT (Figura 23), porém não foi possível ajustar uma

equação de regressão para a variação dessa característica em função do aumento na dose do glyphosate.

O teor de fósforo apresentou redução sigmoidal em função do aumento na dose do glyphosate (Figura 23). De acordo com a equação de regressão, o teor de fósforo em plantas de café submetidas à aplicação de glyphosate foi reduzido de 1,9 para 1,6 g kg⁻¹, tanto em plantas com 10 DAT e 45 DAT, nas doses de 0 e 2.880 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate. Isso indicou redução de 15,8% no teor de fósforo devido à aplicação de 2.880 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate tanto em plantas de café com 10 DAT e 45 DAT.

O teor de potássio variou de 16,6 a 17,5 g kg⁻¹ (10 DAT) e de 16,6 a 17,48 g kg⁻¹ (45 DAT) (Figura 23), também não sendo possível ajustar uma equação de regressão para essa característica.

O teor de cálcio variou de 9,4 a 10,8 g kg⁻¹ (10 DAT) e de 9,47 a 11,58 g kg⁻¹ (45 DAT) (Figura 23), também não sendo possível ajustar uma equação de regressão para essa característica.

O teor de magnésio apresentou redução sigmoidal em função do aumento na dose do glyphosate (Figura 23). De acordo com a equação de regressão, o teor de magnésio em plantas de café submetidas à aplicação de glyphosate foi reduzido de 2,7 para 1,7 g kg⁻¹ (10 DAT) e de 2,8 para 1,9 g kg⁻¹ (45 DAT), nas doses de 0 e 2.880 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate. Isso indicou redução de 37,0% e 32,1% no teor de fósforo devido à aplicação de 2.880 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate em plantas com 10 DAT e 45 DAT, respectivamente.

O teor de enxofre apresentou redução sigmoidal em função do aumento na dose do glyphosate em plantas com 10 DAT e exponencial em plantas com 45 DAT (Figura 23). De acordo com a equação de regressão, o teor de enxofre em plantas de café submetidas à aplicação de glyphosate foi reduzido de 0,40 para 0,34 g kg⁻¹ (10 DAT) e de 0,43 para 0,37 g kg⁻¹ (45 DAT), nas doses de 0 e 2.880 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate. Isso indicou redução de 15,0% e 14,0% no teor de enxofre devido à aplicação de 2.880 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate em plantas com 10 DAT e 45 DAT, respectivamente.

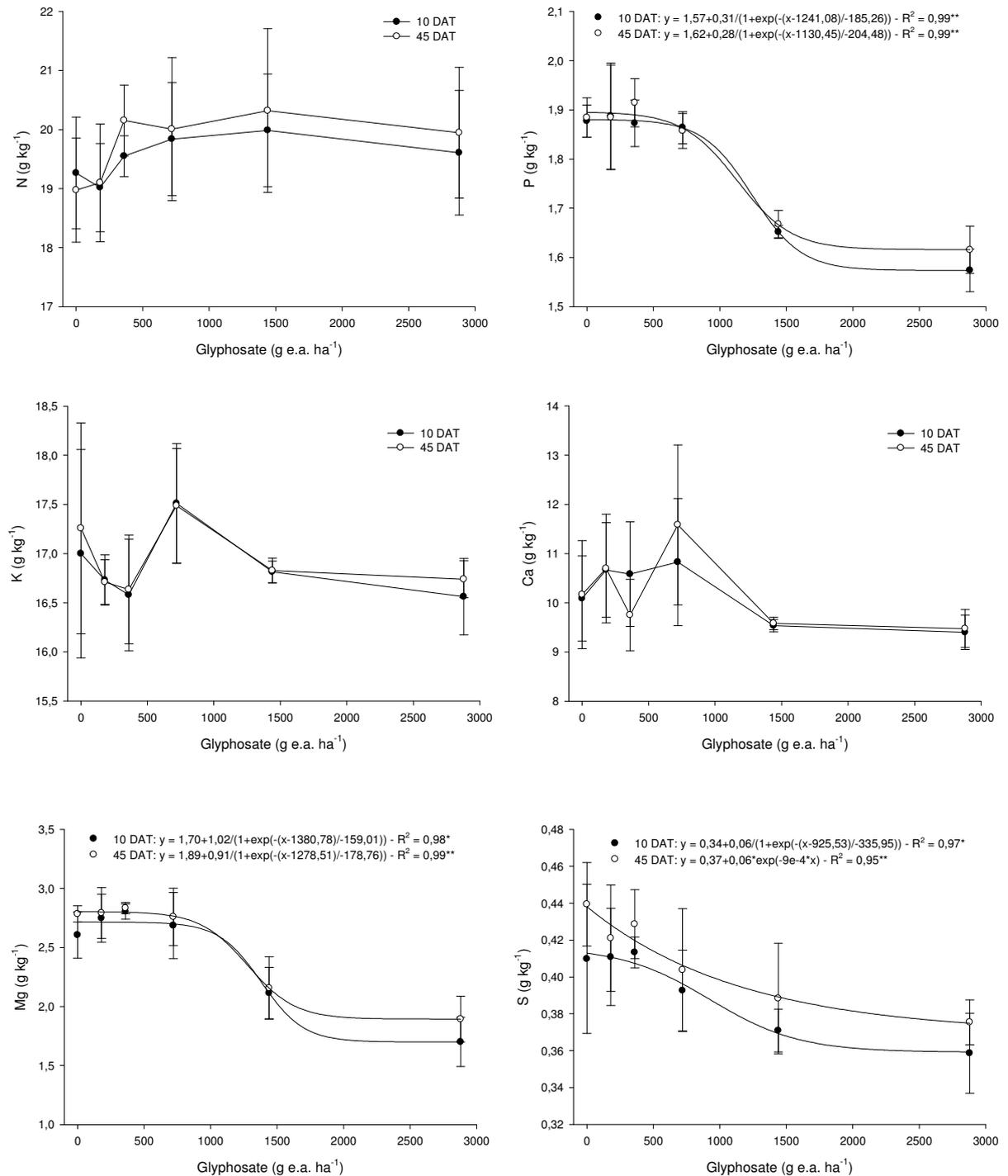


Figura 23. Teor de macronutrientes em plantas de café submetidas à aplicação de glyphosate aos 10 DAT e 45 DAT. Barras verticais indicam \pm o erro padrão da média. Curvas ajustadas sobre os valores de 10 DAT e 45 DAT, conjuntamente. Jaboticabal, 2009-10.

Crescimento

A altura de plantas de café aos 10 DAT foi reduzida sigmoidalmente (Figura 24). Em plantas com 45 DAT, houve aumento da altura em doses baixas e redução nas doses mais altas. De acordo com a equação de regressão, a altura de plantas com 10 DAT foi reduzida de 38,3 para 35,0 cm, nas doses de 0 e 2.880 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate, respectivamente, representando redução de 8,6%. Já a altura de plantas com 45 DAT foi maior (50,5 cm) quando aplicado 738 g e.a ha⁻¹ de glyphosate, sendo reduzida a 41,7 cm na maior dose. Portanto, houve aumento de 21,0% e redução de 10,8% na altura de plantas com 45 DAT, em relação à testemunha.

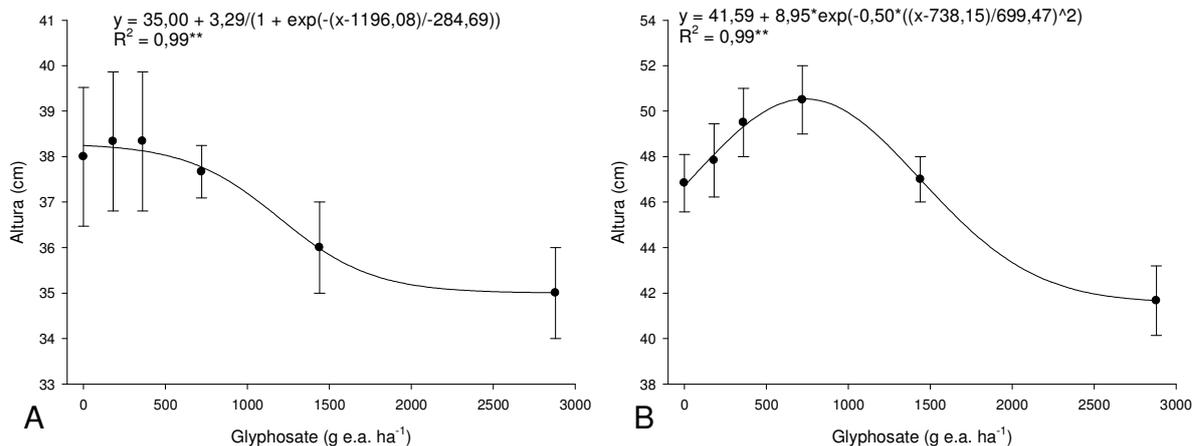


Figura 24. Altura de plantas de café submetidas à aplicação de glyphosate aos 10 DAT (A) e 45 DAT (B). Jaboticabal, 2009-10.

O diâmetro do caule do cafeeiro submetido à aplicação de glyphosate aos 10 DAT foi reduzido sigmoidalmente (Figura 25). Já em plantas com 45 DAT, houve aumento do diâmetro do caule em doses baixas e redução nas doses mais altas. De acordo com a equação de regressão, o diâmetro do caule das plantas com 10 DAT foi reduzido de 6,9 para 6,1 mm, nas doses de 0 e 2.880 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate, respectivamente, representando redução de 11,6%. Já o diâmetro do caule das plantas com 45 DAT foi maior (10,2 mm) quando aplicado 416 g e.a ha⁻¹ de glyphosate, sendo reduzido a 7,7 mm na maior dose. Portanto, houve aumento de 17,7% e redução de 11,6%, em relação à testemunha sem aplicação.

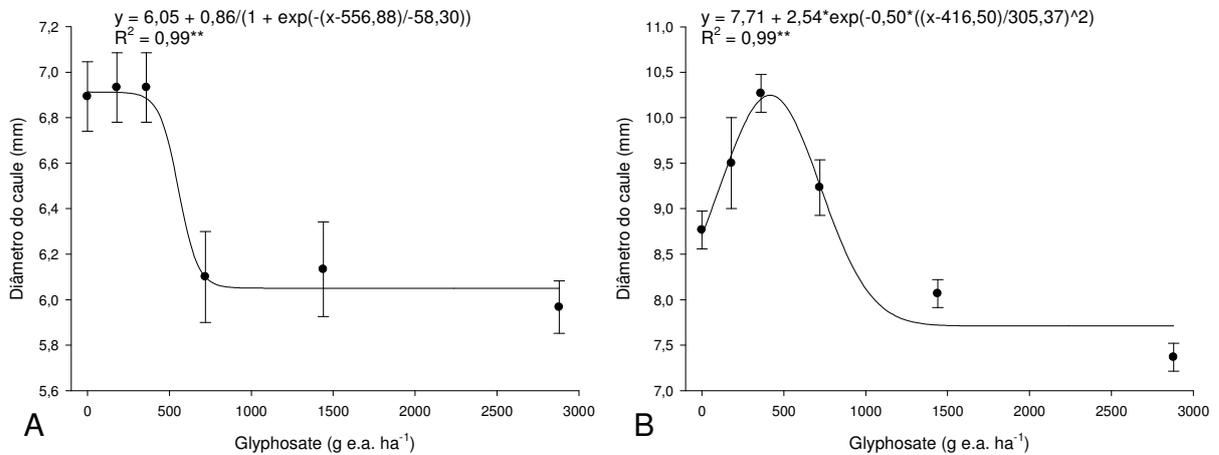


Figura 25. Diâmetro do caule do cafeeiro submetido à aplicação de glyphosate aos 10 DAT (A) e 45 DAT (B). Jaboticabal, 2009-10.

O número de folhas do cafeeiro submetido à aplicação de glyphosate aos 10 DAT foi reduzido sigmoidalmente (Figura 26). Já em plantas com 45 DAT, houve aumento do número de folhas em doses baixas e redução nas doses mais altas. De acordo com a equação de regressão, o número de folhas das plantas com 10 DAT foi reduzido de 47 para 33 unidades, nas doses de 0 e 2.880 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate, respectivamente, representando redução de 29,8%. Já o número de folhas das plantas com 45 DAT foi maior (95 unidades) quando aplicado 620 g e.a ha⁻¹ de glyphosate, sendo reduzido a 61 unidades na maior dose. Portanto, houve aumento de 28,3% e redução de 17,5% no número de folhas de plantas com 45 DAT, em relação à testemunha sem aplicação do herbicida.

A área foliar do cafeeiro submetido à aplicação de glyphosate aos 10 DAT foi reduzida sigmoidalmente (Figura 27). Já em plantas com 45 DAT, houve aumento da área foliar em doses baixas e redução nas doses mais altas. De acordo com a equação de regressão, a área foliar das plantas com 10 DAT foi reduzida de 1.143,4 para 533,0 cm², nas doses de 0 e 2.880 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate, respectivamente, representando redução de 53,4%. Já a área foliar das plantas com 45 DAT foi maior (2.577,8 cm²) quando aplicado 536 g e.a ha⁻¹ de glyphosate, sendo reduzido a 1.078,7 cm² na maior dose. Portanto, houve aumento de 38,6% e redução de 42,0%, em relação à testemunha sem aplicação.

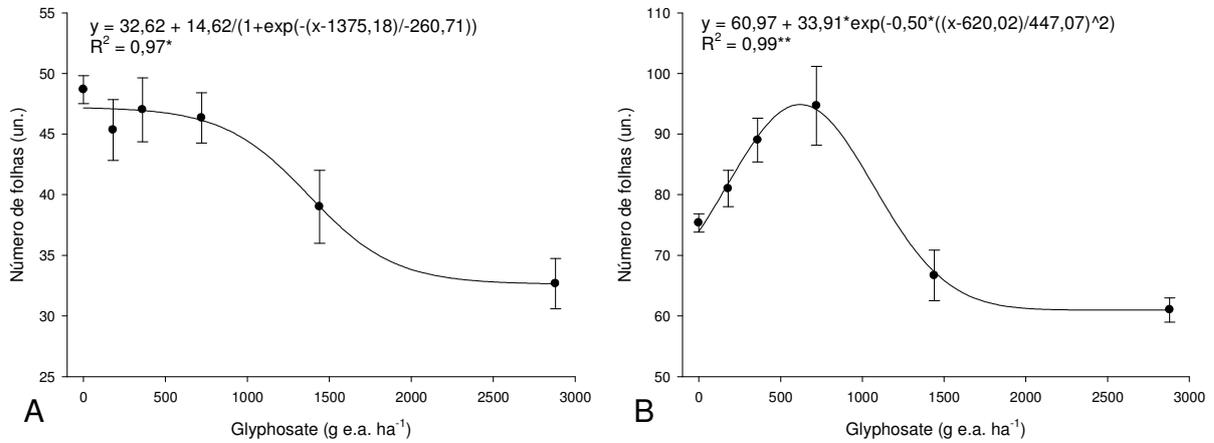


Figura 26. Número de folhas do cafeeiro submetido à aplicação de glyphosate aos 10 DAT (A) e 45 DAT (B). Jaboticabal, 2009-10.

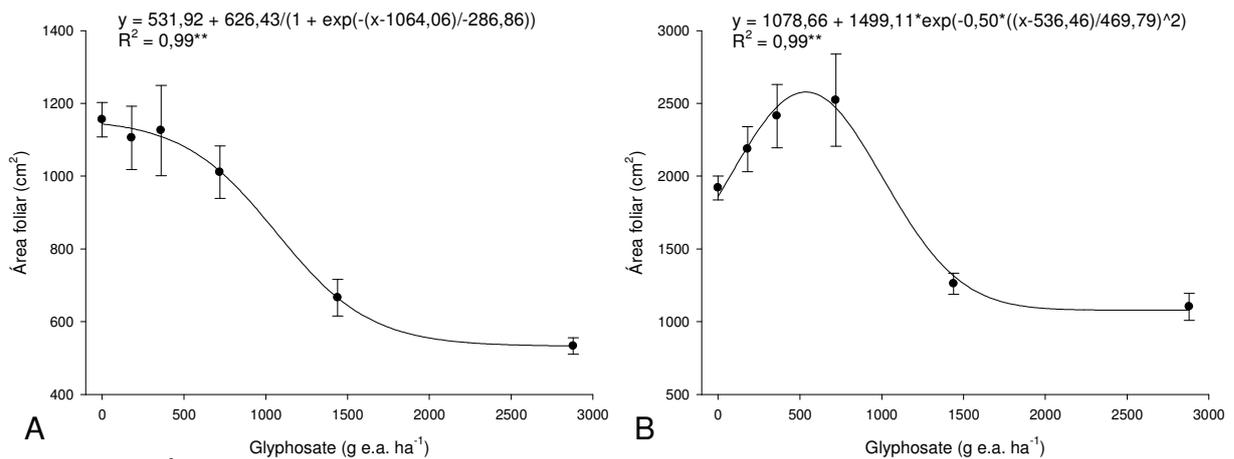


Figura 27. Área foliar do cafeeiro submetido à aplicação de glyphosate aos 10 DAT (A) e 45 DAT (B). Jaboticabal, 2009-10.

A massa seca do caule do cafeeiro submetido à aplicação de glyphosate aos 10 DAT foi reduzida sigmoidalmente (Figura 28). Já em plantas com 45 DAT, houve aumento da massa seca do caule em doses baixas e redução nas doses mais altas. De acordo com a equação de regressão, a massa seca do caule das plantas com 10 DAT foi reduzida de 11,10 para 7,71 g planta⁻¹, nas doses de 0 e 2.880 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate, respectivamente, representando redução de 30,5%. Já a massa seca do caule das plantas com 45 DAT foi maior (16,98 g planta⁻¹) quando aplicado 488 g e.a ha⁻¹ de glyphosate, sendo reduzido a 8,76 g planta⁻¹ na maior dose. Portanto,

houve aumento de 24,2% e redução de 35,9%, em relação à testemunha sem aplicação.

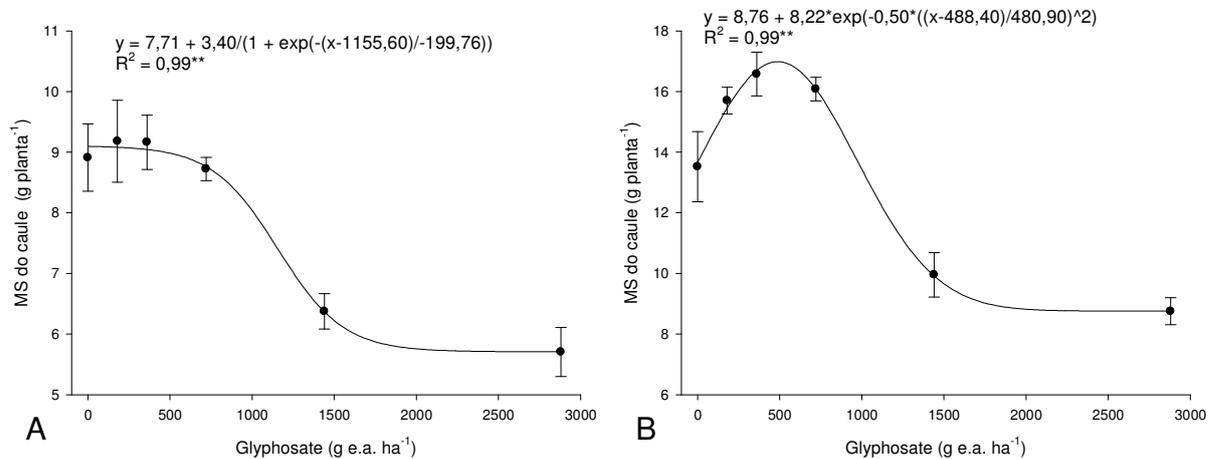


Figura 28. Massa seca do caule do cafeeiro submetido à aplicação de glyphosate aos 10 DAT (A) e 45 DAT (B). Jaboticabal, 2009-10.

A massa seca das folhas do cafeeiro submetido à aplicação de glyphosate aos 10 DAT foi reduzida sigmoidalmente (Figura 29). Já em plantas com 45 DAT, houve aumento da massa seca das folhas em doses baixas e redução nas doses mais altas. De acordo com a equação de regressão, a massa seca das folhas de plantas com 10 DAT foi reduzida de 10,04 para 5,05 g planta⁻¹, nas doses de 0 e 2.880 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate, respectivamente, representando redução de 49,7%. Já a massa das folhas de plantas com 45 DAT foi maior (19,90 g planta⁻¹) quando aplicado 530 g e.a ha⁻¹ de glyphosate, sendo reduzida a 8,56 g planta⁻¹ na maior dose. Portanto, houve aumento de 30,8% e redução de 43,7%, em relação à testemunha sem aplicação.

A massa seca da parte aérea do cafeeiro submetido à aplicação de glyphosate aos 10 DAT foi reduzida sigmoidalmente (Figura 30). Já em plantas com 45 DAT, houve aumento da massa seca da parte aérea em doses baixas e redução nas doses mais altas. De acordo com a equação de regressão, a massa seca da parte aérea das plantas com 10 DAT foi reduzida de 19,15 para 10,76 g planta⁻¹, nas doses de 0 e 2.880 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate, respectivamente, representando redução de 43,8%. Já a massa seca da parte aérea das plantas com 45 DAT foi maior (36,84 g planta⁻¹) quando aplicado 513 g e.a ha⁻¹ de glyphosate, sendo reduzida a 17,28 g planta⁻¹ na

maior dose. Portanto, houve aumento de 27,4% e redução de 40,2%, em relação à testemunha sem aplicação.

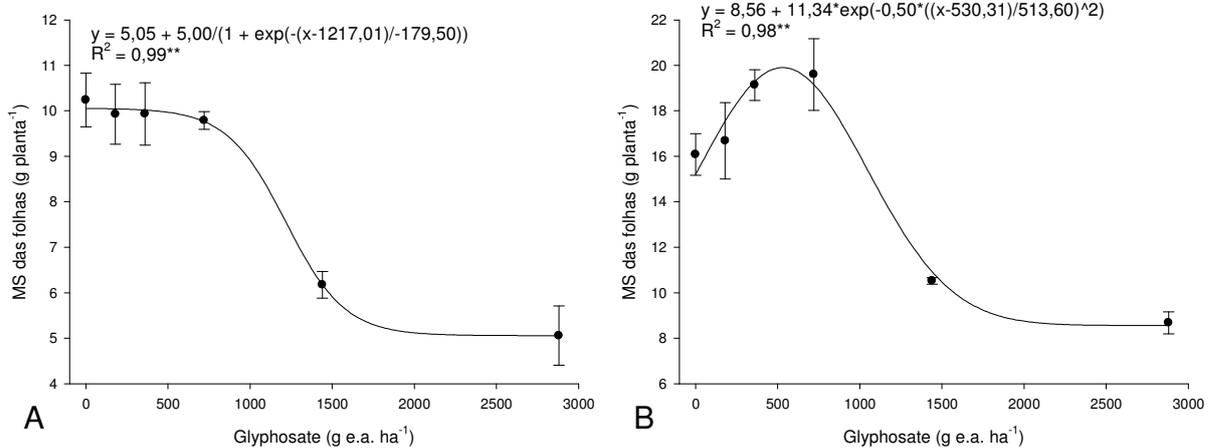


Figura 29. Massa seca das folhas do cafeeiro submetido à aplicação de glyphosate aos 10 DAT (A) e 45 DAT (B). Jaboticabal, 2009-10.

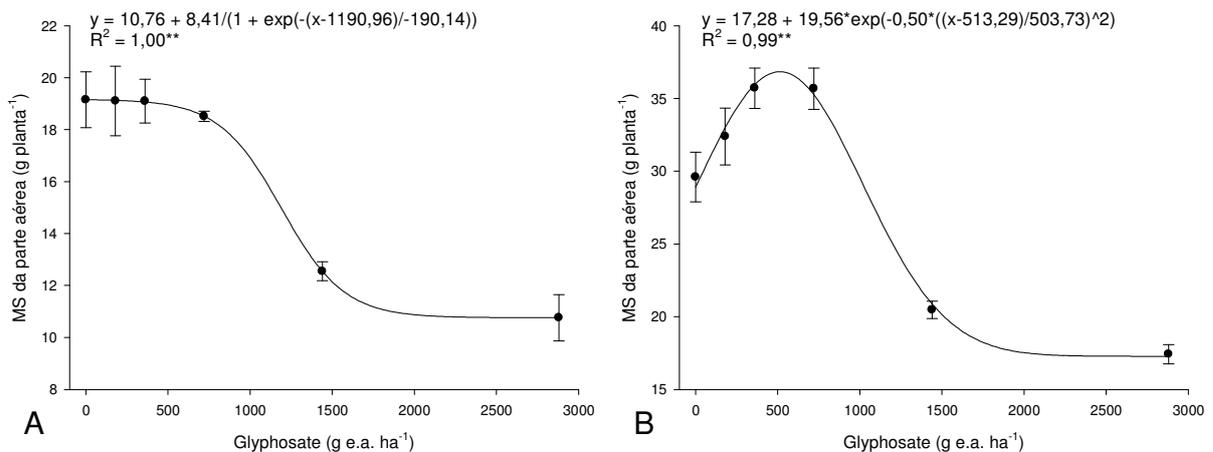


Figura 30. Massa seca da parte aérea do cafeeiro submetido à aplicação de glyphosate aos 10 DAT (A) e 45 DAT (B). Jaboticabal, 2009-10.

Discussão

De maneira geral, o processo fotossintético do cafeeiro foi estimulado pela aplicação de sub-doses de glyphosate, havendo, no entanto, resposta diferenciada quando a exposição ao herbicida ocorreu aos 10 DAT e 45 DAT. Plantas com 45 DAT apresentaram o pico de maior estímulo em doses pouco mais altas que aquelas com

10 DAT. Além disso, os valores da taxa de fotossíntese, da taxa de transpiração, da condutância estomática, da concentração interna de CO₂ na folha e da eficiência no uso de água pela planta (especialmente aos 14 DAA) foram mais altos em plantas com 45 DAT. Contudo, com aplicação de doses mais altas, o processo fotossintético do cafeeiro foi reduzido tanto em plantas com 10 DAT quanto 45 DAT.

Machado et al. (2010) observaram estímulo na taxa de fotossíntese e na eficiência no uso de água por plantas de eucalipto submetidas à aplicação de sub-doses de glyphosate, aos 21 DAA, mas para as demais características fotossintéticas esse estímulo não foi verificado. Cedergreen e Olesen (2010) verificaram estímulo na fotossíntese de plantas de cevada quando expostas à sub-doses de glyphosate, sendo que esse efeito persistiu até a colheita.

O estímulo do processo fotossintético nas plantas de café pôde ser evidenciado analisando-se a relação entre a taxa de fotossíntese e as outras características fotossintéticas. A taxa de fotossíntese, tanto aos 2 DAA quanto aos 14 DAA, das plantas com 10 DAT e 45 DAT no momento da aplicação do glyphosate, relacionou-se de maneira linear positiva com a taxa transpiratória, a condutância estomática e a concentração interna de CO₂ na folha. Assim, os maiores valores da taxa de fotossíntese foram observados quando ocorreram os maiores valores também das outras características fotossintéticas.

Como já foi comentado, segundo Schulze e Hall (1982), a forma como a taxa de fotossíntese relaciona-se com a condutância estomática tem importância ecológica, pois se variarem proporcionalmente, numa relação linear, é possível que a concentração interna de CO₂ e a eficiência do uso da água se mantenham constantes, ou mesmo sejam aumentadas, no sentido de otimização das trocas gasosas. Isso permite afirmar que as plantas de café otimizaram as trocas gasosas quando foram expostas a sub-doses de glyphosate, ao menos até 14 DAA, no sentido de estimular seu processo fotossintético.

Gravena et al. (2009), no entanto, não observaram efeito estimulante, tampouco redução, do processo fotossintético de plantas de citros submetidas à aplicação de até 720 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate. Olesen e Cedergreen (2010), por outro lado, observaram

redução da taxa de fotossíntese em plantas de cevada submetidas a doses maiores de 100 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate. Zobiolo et al. (2010a,b,c) também verificaram efeito negativo da aplicação de glyphosate sobre o processo fotossintético de plantas de soja. Isso sugere que o efeito hormético pode estar relacionado à espécie, ou mesmo às condições do ambiente.

A eficiência quântica do fotossistema II e o teor relativo de clorofila total praticamente não foram influenciados pelo aumento na dose do glyphosate. Isto evidencia que a quantidade de luz absorvida pela planta pode não ter influenciado no processo fotossintético do cafeeiro. Resultados semelhantes foram observados em plantas de citros (GRAVENA et al., 2009). Olesen e Cedergreen (2010) também não constataram efeito de doses crescentes de glyphosate sobre a eficiência quântica do fotossistema II em plantas de cevada. Meschede et al. (2007) e Silva et al. (2009), por outro lado, constataram redução no teor de clorofila em cana-de-açúcar devido à aplicação do glyphosate, assim como Magalhães et al. (2001), em sorgo.

Os processos que acarretam o aumento na atividade fotossintética de plantas submetidas à aplicação de sub-doses de glyphosate não são claramente conhecidos. Alterações na taxa de fixação de carbono, no teor de ácido chiquímico e na translocação de carboidratos podem influenciar na ocorrência deste fenômeno (CEDERGREEN; OLESEN, 2010).

O aumento na taxa de fixação de carbono pode ser causado pelo aumento na quantidade de luz absorvida pela planta ou pelo aumento na eficiência de fixação de carbono (CEDERGREEN; OLESEN, 2010). A absorção de luz, neste caso, possivelmente não influenciou na fixação de carbono uma vez que a eficiência quântica do fotossistema II não foi afetada pela aplicação de glyphosate. Portanto, um aumento na eficiência de fixação de carbono poderia explicar o aumento na taxa de fixação do carbono. A eficiência na fixação de carbono, por sua vez, poderia ser aumentada por meio do aumento na condutância estomática (PURRINGTON; BERGELSON, 1999), como foi observado nesta pesquisa. A condutância estomática é, primariamente, regulada por fitohormônios como ácido abscísico, citocinina e giberelinas (LARCHER, 2003), facilitando o transporte de CO₂ pela parede celular (FLEXAS et al., 2008), o que

explicaria também o aumento na concentração interna de CO₂ na folha verificado nesta pesquisa.

A eficiência na fixação de carbono, também, poderia ser aumentada por meio do aumento na atividade de carboxilação da enzima ribulose-bifosfato (Rubisco), do aumento na regeneração da ribulose-1,5-bifosfato (RuBP) ou do aumento na taxa de uso de triose-fosfato, no ciclo de Calvin-Benson (SHARKEY et al., 2007). Essas situações podem ocorrer quando há aumento no transporte de açúcares para tecidos dreno e resulta no aumento da taxa de saturação fotossintética de luz e CO₂ no tecido fonte, o que estimularia a absorção de luz e CO₂ (PEGO et al., 2000; AINSWORTH; ROGERS, 2007; BERGER et al., 2007). Por outro lado, quando não há transporte de açúcares para os tecidos dreno, ocorre aumento na concentração destes compostos nos tecidos fontes e a fixação de carbono é reduzida, pois ocorre estímulo para a atividade de oxidação da Rubisco, aumentando a fotorrespiração.

Esse transporte de carboidratos, de certa maneira, pode ser influenciado pela aplicação de doses subletais de glyphosate, por meio de mecanismos ainda não conhecidos (CEDERGREEN, 2008; CEDERGREEN; OLESEN, 2010). No entanto, supõe-se que a atividade da enzima invertase ácida, que catalisa a hidrólise de sacarose para glicose e frutose, e a proporção de sacarose, glicose e frutose podem desempenhar uma função importante (SU et al., 1992), uma vez que McCormick et al. (2006) encontraram correlação negativa entre a concentração dessas hexoses nas folhas fonte e a taxa de saturação fotossintética de luz e CO₂. Especula-se que a proporção entre os diferentes tipos de açúcares, mais que a concentração atual destes, também desempenhe uma função importante na regulação da taxa fotossintética (JANG; SHEEN, 1994; BERGER et al., 2007).

Sabe-se que o glyphosate inibe a via do chiquimato. Aproximadamente, 20% do carbono fixado pelas plantas verdes estão presentes nesta via metabólica (CEDERGREEN; OLESEN, 2010), com grande quantidade de produtos finais, como vitaminas, ligninas, alcalóides, flavonóides, auxina, etc. (COBB, 1992). O chiquimato deriva indiretamente da eritrose-4-fosfato, que, por sua vez, é composto intermediário para a regeneração da ribulose-1,5-bifosfato no ciclo de Calvin-Benson e para a via das

pentoses fosfato (TAIZ; ZEIGER, 2006). Portanto, teoricamente, a inativação da via do chiquimato tende a estimular o acúmulo de triose-fosfato, produzido no ciclo de Calvin-Benson, o que estimularia a atividade de oxidação da Rubisco, reduzindo a fotossíntese.

Contudo, Velini et al. (2008) observaram que, em plantas de algumas espécies vegetais susceptíveis ao glyphosate que foram expostas à sub-doses do herbicida, ocorreu aumento na concentração de ácido chiquímico, assim como estímulo do crescimento. Além disso, alguns estudos mostraram estímulo na condutância foliar, na fixação de ^{14}C e no acúmulo de biomassa em plantas submetidas a tratamento de sementes ou pulverização com ácido chiquímico (ALDESUQUY; IBRAGHIM, 2000; IBRAHIM; ALDESUQUY, 2003). Dessa maneira, o aumento no conteúdo de ácido chiquímico pode ter efeito direto no estímulo na fotossíntese e no crescimento vegetal, através de mecanismos ainda não conhecidos (CEDERGREEN; OLESEN, 2010).

Uma possível explicação é que o acúmulo de ácido chiquímico reduziria o pH nos tecidos fonte, e, com essa acidificação, a atividade de carboxilação da Rubisco seria ativada. Quando há acúmulo de açúcares em tecidos fonte, o pH do meio é aumentado, e, assim, a fotossíntese, é reduzida, pois há aumento na atividade de oxidação da Rubisco. Com esse aumento do pH, alguns sinalizadores (não conhecidos) seriam ativados, estimulando a exportação destes açúcares para os tecidos dreno, reacidificando o meio. Dessa maneira, com a saída dos açúcares, a atividade de carboxilação da Rubisco seria ativada, aumentando taxa de fixação de carbono.

A nutrição mineral do cafeeiro, em parte, foi afetada pela aplicação do glyphosate. Teores de fósforo, magnésio e enxofre foram reduzidos com o aumento na dose de glyphosate. Porém, o efeito da aplicação de glyphosate na nutrição mineral das plantas de café foi pouco dependente do estágio da planta no momento da aplicação, ou seja, plantas com 10 DAT e 45 DAT responderam de maneira quase similar à exposição ao herbicida.

Estudando o efeito da aplicação de sub-doses de glyphosate em plantas de café, Franca (2009) observou redução nos teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio, além de alguns micronutrientes, e que essa redução foi dependente da cultivar utilizada

e da época de avaliação. Redução no teor foliar de nitrogênio também foi verificado por Zablutowicz e Reddy (2007) em plantas de soja tratadas com sub-dose de glyphosate e, do mesmo modo, por Sword et al. (1998) em Pinus. Cakmak et al. (2009) verificaram redução nos teores foliares de cálcio e magnésio em soja. Por outro lado, França (2009) observou aumento no teor foliar de cálcio em cafeeiro submetido à aplicação de sub-doses de glyphosate, assim como Santos et al. (2007) em tomate. Além disso, Rabello et al. (2010) não observaram redução no teor foliar de fósforo em feijão aos 10 DAA, porém aos 20 DAA houve redução. Cakmak et al. (2009) verificaram aumento do teor de fósforo em folhas jovens de soja, enquanto em folhas velhas não houve efeito significativo da aplicação de glyphosate.

Supõe-se que a redução nos teores de fósforo, magnésio e enxofre observada em cafeeiro submetido à aplicação de glyphosate, principalmente em doses mais altas, ocorreu em função de uma menor absorção dos nutrientes pelas raízes e/ou a uma possível complexação de certos nutrientes com a molécula de glyphosate dentro das raízes da planta, reduzindo sua translocação para a parte aérea, uma vez que a análise nutricional foi feita apenas na parte aérea do cafeeiro.

A menor absorção dos nutrientes do solo pode acontecer, uma vez que o glyphosate é transportado rapidamente para as raízes, limitando seu crescimento e, possivelmente, a absorção, especialmente, dos nutrientes que são pouco móveis no solo, como fósforo e potássio, cuja absorção ocorre principalmente por difusão, além de cálcio e magnésio, cuja participação da interceptação radicular é importante no processo de absorção. Isto explicaria a menor absorção de fósforo e magnésio.

Além disso, sabe-se que a absorção de nutrientes por fluxo de massa é regulada pela abertura estomática. Assim, como foi observado que nas doses mais altas de glyphosate a condutância estomática foi limitada, espera-se que a absorção dos nutrientes absorvidos preferencialmente por essa via seja reduzida. Nitrogênio, cálcio, magnésio e enxofre, nutrientes absorvidos por fluxo de massa, portanto, deveriam ser menos absorvidos. Esse fato explicaria a menor absorção do magnésio e do enxofre.

Outro fator envolvido pode ser o fato do glyphosate transportado para as raízes formar complexos metálicos com certos nutrientes, limitando o transporte destes

nutrientes para a parte aérea das plantas. Embora tenham sido relatados estes e outros efeitos do glyphosate sobre a concentração de macronutrientes em plantas, não se conhece a relação que estes nutrientes têm com o glyphosate que penetra na planta. Porém, sabe-se que o glyphosate apresenta relação com certos micronutrientes (OZTURK et al., 2008). No Brasil e nos Estados Unidos, foi relatado que frequentes aplicações de glyphosate induzem deficiências de ferro, zinco e manganês em diversas culturas (FRANZEN et al., 2003; JOLLEY et al., 2004; ROEMHELD et al., 2005). Em solos com baixa disponibilidade de determinado nutriente o sintoma de deficiência nutricional pode ser acentuado (RÖMHELD et al., 2005).

A natureza deste antagonismo entre micronutrientes e o glyphosate não é conhecida. Possivelmente, está relacionada à formação de complexos insolúveis com os micronutrientes catiônicos (HALL et al., 2000; BERNARDS et al., 2005). A presença de ferro e manganês, em excesso, inibe a atividade herbicida do glyphosate, limitando a absorção e a translocação do herbicida; além disso, após a absorção do glyphosate pela planta, a absorção e o transporte de micronutrientes catiônicos podem ser limitados devido à formação de complexos metálicos dentro dos tecidos foliares (OZTURK et al., 2008). Em girassol, micronutrientes catiônicos, como manganês e ferro, além do cálcio, macronutriente catiônico, ligam-se ao glyphosate por meio de seus grupos carboxil e fosfato, formando complexos estáveis com o glyphosate (THELEN et al., 1995; BERNARDS et al., 2005).

Os grupos ativos carboxil e fosfato presentes na molécula do herbicida glyphosate apresentam alta afinidade de ligação com metais catiônicos (BARJA et al., 2001; UNDABEYTIA et al., 2002). Portanto, supõe-se que os macronutrientes catiônicos, como potássio, cálcio e magnésio, que são metais, também poderiam formar complexos com o glyphosate, reduzindo, assim, a absorção e a translocação destes nutrientes. Este fato, explicaria a redução no teor de magnésio observada em cafeeiro, mas não explicaria a redução nos teores de fósforo e enxofre, que são ametais aniônicos. Além disso, seguindo essa linha de raciocínio, o teor de cálcio deveria ter sido reduzido, embora possa ter alguma relação de inibição competitiva entre estes nutrientes.

Outro ponto a considerar é a provável alteração no balanço de cargas entre as raízes e a solução do solo, acarretando alteração no metabolismo da planta, o que poderia afetar a absorção dos nutrientes. A formação dos complexos metálicos de certos nutrientes catiônicos com o glyphosate nas raízes poderia tornar esse meio mais aniônico, o que reduziria a absorção de fósforo e enxofre.

Todos os macronutrientes, de certa maneira, participam indiretamente do processo fotossintético e do crescimento vegetal, como foi especificado no item Discussão do Capítulo 2 desta Tese. O magnésio, para o processo fotossintético, talvez seja não o mais importante, mas o que esteja mais diretamente ligado à fotossíntese, pois está presente na molécula da clorofila. Porém, apesar de estarem, de certa maneira, ligados ao processo fotossintético, não foi observado o fenômeno da hormese para os macronutrientes. Isto indica que a nutrição mineral possivelmente não tem participação nesse fenômeno observado nas plantas de café. Da mesma maneira ocorreu com o crescimento do cafeeiro, em plantas com 45 DAT, quando foi observado o fenômeno da hormese, mas não esteve ligado a um aumento no teor de macronutrientes.

O fenômeno da hormese foi observado para todas as características de crescimento avaliadas em plantas com 45 DAT, porém não ocorreu em plantas com 10 DAT. Portanto, o crescimento inicial de plantas de café com 45 DAT foi estimulado com aplicação de sub-doses de glyphosate. Em contrapartida, doses de até 360-400 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate não afetaram as características de crescimento das plantas com 10 DAT, com exceção do número de folhas, porém, a partir desta dose, essas características foram reduzidas. Velini et al. (2008) observaram efeito hormético da aplicação de sub-doses de glyphosate no crescimento de soja convencional, milho, eucalipto e pinus. Wagner et al. (2003) também observaram este efeito em milho. Schabenberger et al. (1999), Cedergreen et al. (2007), Duke et al. 2007 e Neves et al. (2009) também relatam efeito hormético da aplicação de sub-doses de glyphosate em diversas espécies de plantas.

O efeito hormético, no entanto, pode variar em função do estágio de crescimento da planta no momento da aplicação, como observado por Velini et al. (2008) em plantas

de *C. benghalensis*. Além disso, esse efeito pode variar consideravelmente, dependendo de outros fatores, como clima, material vegetal e a própria formulação do herbicida usado (VELINI et al., 2010). A hormese depende também das condições de crescimento do vegetal, como observado por Belz e Cedergreen (2010). Por esses motivos, o uso de sub-doses de glyphosate não é recomendado para aplicação como estimulante do crescimento das culturas.

Para a cultura do café, pouco se conhece a respeito dos efeitos de herbicidas aplicados no cafeeiro. França et al. (2010) observaram reduções na área foliar, na massa seca e na densidade radicular. Além disso, os autores verificaram sensibilidade diferencial entre as cultivares. No entanto, nenhum efeito hormético foi relatado para o glyphosate ou para qualquer outro herbicida na cultura do café.

Para aumentar a biomassa, as plantas devem aumentar sua taxa de fotossíntese ou reduzir a taxa de respiração em resposta à aplicação de sub-doses de glyphosate (CEDERGREEN; OLESEN, 2010). Na teoria, é improvável que a taxa de respiração seja reduzida, uma vez que a aplicação de xenobióticos, comumente, induz a ativação de processos de desintoxicação da planta que demandam energia para ocorrerem (COLE, 1994; PURRINGTON; BERGELSON, 1999). Dessa maneira, o aumento na biomassa ocorreu, provavelmente, em função do aumento na atividade fotossintética da planta, que, por sua vez, ocorreu, possivelmente, em decorrência dos processos descritos anteriormente.

Além disso, Cedergreen et al. (2007) enfatizaram que o aumento na biomassa de plantas expostas a doses sub-letais de herbicidas poderia ocorrer em resposta a um estímulo do sistema hormonal da planta, uma vez que Wiedman e Appleby (1972) concluíram que o aumento no crescimento de plantas de aveia e pepino não poderia ser explicado por alterações na fotossíntese, respiração e no teor de proteínas, aminoácidos e carboidratos solúveis. Foi demonstrado, em alguns estudos, que a aplicação de auxina sintética induziu o efeito hormético em plantas (ALLENDER et al., 1997; MORRÉ, 2000). Portanto, caso a aplicação de herbicidas estimule a produção ou atividade da auxina natural ou mesmo outros sistemas hormonais (WEYERS; PATTERSON, 2001), poder-se-ia esperar resposta hormética após a exposição de

certas plantas a doses sub-letais de herbicidas (CEDERGREEN et al., 2007). Allender et al. (1997) observaram que o efeito hormético em plantas de algodão e milho foi induzido pelo aumento na síntese de auxina, o qual, por sua vez, foi promovido por substâncias que afetaram o transporte de cálcio através da membrana celular. Morré (2000) sugeriu, ainda, que o efeito hormético em células vegetais poderia ocorrer em função da presença de um alvo molecular celular, resultando na alongação da célula.

Apesar dessas possíveis explicações para a ocorrência do efeito hormético, não se pode afirmar quais os mecanismos realmente envolvidos na ocorrência deste fenômeno em plantas. Portanto, novas pesquisas são necessárias para estudar, separadamente, se possível, a função de cada evento fisiológico citado no efeito hormético que ocorre em plantas.

Conclusões

1. O processo fotossintético do cafeeiro, no geral, foi estimulado com a aplicação de sub-doses de glyphosate e reduzido em doses mais altas, ao menos até duas semanas depois da aplicação.
2. O efeito estimulante sobre a fotossíntese foi dependente do estágio da planta no momento da aplicação.
3. Os teores de fósforo, magnésio e enxofre foram reduzidos em função da aplicação de doses crescentes de glyphosate.
4. O efeito da aplicação do glyphosate sobre a nutrição mineral do cafeeiro foi pouco influenciado pelo estágio da planta no momento da aplicação.
5. A resposta do crescimento inicial de plantas de café à aplicação de glyphosate foi dependente do estágio da planta no momento da aplicação.
6. Plantas mais jovens não apresentaram estímulo no crescimento inicial quando expostas à sub-doses de glyphosate, mas quando a aplicação foi feita em estágio mais avançado, houve estímulo do crescimento.

CAPÍTULO 4 – ABSORÇÃO, TRANSLOCAÇÃO E METABOLISMO DE GLYPHOSATE EM BIÓTIPOS SUSCEPTÍVEL E RESISTENTE DE CAPIM-AMARGOSO

RESUMO – A resistência de plantas daninhas ao glyphosate é um dos principais desafios na agricultura atualmente. Objetivou-se detectar a resistência do capim-amargoso ao glyphosate e determinar a influência da absorção, da translocação e do metabolismo do herbicida na resistência dessa espécie ao glyphosate. Experimentos de dose-resposta, acúmulo de ácido chiquímico, retenção foliar, ângulo de contato, absorção, translocação e metabolismo foram conduzidos, utilizando diferentes condições de tratamentos, delineamentos experimentais e repetições. Biótipos susceptível (S) e resistente (R) apresentaram diferentes curvas de dose-resposta ao herbicida glyphosate, sendo os fatores de resistência do biótipo R de 5,6, em plântulas, e 4,9, em plantas jovens. O biótipo S acumulou 5,7% mais ácido chiquímico que o biótipo R, as 168 horas após a aplicação do glyphosate (HAA). Ângulo de contato e retenção foliar foram semelhantes nos biótipos susceptível e resistente. A absorção do herbicida foi maior no biótipo S até 48 HAA, porém foi semelhante nos dois biótipos após 72 HAA, sendo que, as 96 HAA, haviam penetrado cerca de 48% do ¹⁴C-glyphosate aplicado. Por outro lado, o padrão de translocação foi diferenciado. Em plantas do biótipo S, maior quantidade de radioatividade foi translocada da folha tratada para as raízes e resto da planta, enquanto 70,0% da radioatividade permaneciam na folha tratada do biótipo R, as 96 HAA. Maiores porcentagens de ácido aminometilfosfônico, sarcosina e formaldeído (metabólitos do glyphosate) foram encontradas no tecido foliar do biótipo R, enquanto, as 168 HAA, mais de 90% do produto aplicado permaneceram na forma de glyphosate em plantas do biótipo S. Portanto, foi comprovada a resistência de capim-amargoso ao herbicida glyphosate, sendo a translocação e o metabolismo os principais mecanismos de resistência.

Palavras-chave: *Digitaria insularis*, glyphosate, resistência, mecanismos de resistência.

Introdução

A resistência a herbicidas tem sido um dos mais importantes desafios encontrados em áreas agrícolas nos últimos anos, com casos de resistência aumentando exponencialmente nas últimas três décadas (HEAP, 2010). A forte seleção de plantas daninhas por herbicidas tem resultado em uma ampla evolução da resistência em populações de plantas daninhas na agricultura (JASIENIUK et al., 2008; DUKE; POWLES, 2008; POWLES, 2008; POWLES; YU, 2010). Atualmente, mais de 180 espécies de plantas daninhas em cerca de 50 países foram identificadas apresentando indivíduos resistentes a herbicidas (HEAP, 2010).

A resistência ao glyphosate é um importante exemplo de resistência de plantas daninhas a herbicidas, uma vez que o produto tem sido usado extensivamente na agricultura por mais de 40 anos, em todo o mundo, e que muitos biótipos resistentes ao herbicida já foram relatados (DUKE; POWLES, 2008). Deve-se ressaltar que em áreas de plantio direto de milho e soja, assim como café e citros, do Sudeste do Brasil, tem-se observado que populações de capim-amargoso podem estar sendo selecionadas devido às frequentes aplicações de glyphosate (TIMOSSI, 2009). Além disso, esse herbicida tem sido utilizado em culturas transgênicas, resistentes ao glyphosate, como o único produto para controle de plantas daninhas (POWLES, 2008), onde o capim-amargoso também pode estar sendo selecionado.

Em cultivos de café, o capim-amargoso é uma importante planta daninha que tem sido frequentemente encontrada convivendo com o cafeeiro (COSTA et al., 2001; DIAS et al., 2004; MACHADO et al., 2006; DIAS et al., 2008; LEMES et al., 2010). Em muitos casos, utiliza-se de múltiplas aplicações de glyphosate para o controle de plantas daninhas nessa cultura. Além disso, o herbicida, muitas vezes, não é aplicado em dose e estágio da planta recomendados pelo fabricante, o que acarreta controle não-efetivo das plantas daninhas. Assim, indivíduos sobreviventes podem, com o tempo, desenvolver populações de plantas daninhas resistentes ao herbicida.

Nesse contexto, as hipóteses levantadas neste capítulo foram que (i) aplicações extensivas, e por muitos anos, de glyphosate para o controle de capim-amargoso

acarretaram o desenvolvimento de população resistente ao herbicida, e que (ii) a absorção, a translocação e/ou o metabolismo diferencial podem ser mecanismos de resistência dessa planta daninha ao glyphosate.

Objetivou-se detectar biótipo de capim-amargoso resistente ao herbicida glyphosate, por meio de experimentos sobre dose-resposta em plântulas e plantas jovens e sobre acúmulo de ácido chiquímico, verificar se existiu relação de retenção foliar e ângulo de contato com a resistência ao glyphosate em plantas de capim-amargoso e determinar a influência da absorção, da translocação e do metabolismo na resistência do capim-amargoso ao herbicida glyphosate.

Material e Métodos

Sementes de uma população de capim-amargoso com provável resistência ao herbicida glyphosate foram coletadas em área de citricultura na cidade de Matão (21° 36' 12" S e 48° 21' 57" WGr), SP, em 2009, com histórico de uso intenso e falha no controle da planta daninha utilizando até 1.440 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate. Em área experimental do DBAA da FCAV/UNESP, essas sementes foram semeadas em vasos de plástico com capacidade para 7 litros, em substrato argiloso, sendo que as plantas originadas foram, primeiramente, submetidas à aplicação de glyphosate (Monsanto, Roundup Original[®], Brasil), na dose de campo. As plantas sobreviventes foram conduzidas até a produção de sementes, as quais foram coletadas e armazenadas para o desenvolvimento das pesquisas posteriores. Assim, as plantas originadas dessas sementes foram denominadas como pertencentes ao biótipo R.

Além disso, foram coletadas sementes de capim-amargoso, em área sem histórico de aplicação de glyphosate, na cidade de Iracemópolis (22° 34' 50" S e 47° 31' 07" WGr), SP, o qual foi designado de biótipo susceptível (S), após teste preliminar para avaliar sua sensibilidade ao glyphosate.

Os experimentos conduzidos para estudar a provável resistência do capim-amargoso ao glyphosate (dose-resposta e acúmulo de ácido chiquímico) foram realizados no "Laboratorio de Acción de los Pesticidas sobre el Ecosistema" (LAPE). Os

experimentos conduzidos para estudar os mecanismos de resistência da planta daninha ao herbicida foram realizados no LAPE (ângulo de contato, retenção foliar, absorção, translocação e metabolismo) e no “Laboratorio de Química Analítica” (metabolismo), ambos do “Departamento de Química Agrícola y Edafología” pertencente à “Universidad de Córdoba”, na cidade de Córdoba, Espanha, no período de 15 de março a 30 de setembro de 2010.

Em todos os experimentos, foi utilizada a formulação comercial de glyphosate (Monsanto, Roundup Energy[®], Bélgica), com 45% (m/v) de ingrediente ativo [sal de isopropilamina de N-(fosfometil)-glicina] e 34% do equivalente ácido de N-(fosfometil)-glicina. A condução das plantas foi feita em câmara de crescimento (Eldon, AM0705020, Holanda), com temperatura variando de 28 °C durante o dia e 18 °C pela noite. O fotoperíodo utilizado foi de 16 h. A densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos foi de 850 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Além disso, foi mantida umidade relativa de 80%.

Primeiramente, foi feito o experimento de dose-resposta em plântulas. Para isso, 25 sementes de cada biótipo, S e R, foram postas a germinar em placas de Petri com 9 cm de diâmetro, contendo duas folhas de papel filtro. Os tratamentos foram constituídos de seis diferentes concentrações de glyphosate aplicadas diretamente sobre o papel filtro sob forma de 5 mL de solução herbicida. As concentrações de herbicida utilizadas foram equivalentes a 0; 18,75; 37,50; 75,00; 150,00 e 225,00 mg e.a. L⁻¹, para o biótipo S, e 0, 37,50; 75,00; 150,00; 262,50 e 375,00 mg e.a. L⁻¹, para o biótipo R. Após a aplicação do herbicida, as placas de Petri foram vedadas com filme plástico e colocadas em câmara de crescimento.

Aos 10 DAA, as sementes germinadas foram secas em papel filtro e pesadas em balança analítica (Kern, ABJ 80 4-M, Inglaterra), com precisão de 0,00001 g, para determinação da massa fresca de plântulas, a qual foi expressa como porcentagem da testemunha sem aplicação de herbicida. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com três repetições por biótipo.

Concomitantemente, foi desenvolvido o experimento de dose-resposta em plantas jovens. O crescimento das plantas ocorreu em vasos de plástico com

capacidade para 300 mL, utilizado substrato composto por mistura de turfa e areia, na proporção 1:2 (v:v). Mantiveram-se duas plantas por vaso para cada biótipo. O herbicida foi aplicado quando as plantas estavam no estágio de quatro folhas, usando câmara de aplicação em precisão, equipada com bicos de aplicação jato plano (TeeJet, 80.02E VS, EUA), utilizando volume de calda de 200 L ha⁻¹ com pressão de 200 kPa. Para o biótipo S foram aplicadas doses equivalentes a 0, 26,25; 52,50; 78,75; 105,00; 131,25; 157,50; 183,75; 210,00 e 262,50 g e.a. ha⁻¹, e, para o biótipo R, 0, 52,50; 105,00; 157,50; 210,00; 262,50; 315,00; 367,50; 420,00 e 525,00 g e.a. ha⁻¹.

Aos 21 DAA, as plantas foram cortadas rente ao solo e pesadas em balança com precisão de 0,01 g (Kern, 573-34N, Inglaterra), para determinação da massa fresca da parte aérea, a qual foi expressa como porcentagem da testemunha sem aplicação de herbicida. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com seis repetições por biótipo.

Após os dois experimentos de dose-resposta, foi conduzido o estudo de acúmulo de ácido chiquímico. O experimento foi desenvolvido como descrito anteriormente para dose-resposta em plantas jovens, mantendo, contudo, apenas uma planta por vaso. O herbicida foi aplicado quando as plantas estavam no estágio de seis folhas completamente expandidas, utilizando a dose de 157,5 g e.a. ha⁻¹. Também foram mantidas plantas sem aplicação de glyphosate.

Após 24, 48, 72, 96 e 168 horas da aplicação do herbicida (HAA), foi cortado, sempre da mesma planta, 0,05 g de massa fresca do tecido foliar das plantas tratadas e não-tratadas com glyphosate para extração de ácido chiquímico, seguindo protocolo de Singh e Shaner (1998) modificado por Perez-Jonez et al. (2007). O material vegetal de plantas tratadas e não-tratadas foi colocado, individualmente, em recipientes com capacidade para 1,5 mL, preenchidos previamente com 1,0 mL de ácido clorídrico (0,25 N). Além disso, o material vegetal das plantas não-tratadas foi colocado em soluções-padrão de ácido chiquímico (Sigma-Aldrich, S5375-1G 026K1039, EUA), nas concentrações de 0,01; 0,05; 0,1 e 0,5 mg mL⁻¹, para determinação da reta-padrão para estimar a concentração de ácido chiquímico no tecido foliar. Esses recipientes foram imediatamente congelados em nitrogênio líquido e, em seguida, armazenados a -40 °C.

Seguindo o protocolo, o material foi descongelado à temperatura ambiente e, em seguida, incubado por 45 minutos a 37 °C. Após a incubação, três alíquotas de 25 µL de cada amostra foram transferidas para três novos recipientes preenchidos com 100 µL da solução de ácido periódico (0,25%) e ácido meta-periódico (0,25%). Em seguida, o material foi agitado e imediatamente incubado por 30 minutos a 37 °C. Após a incubação, foram adicionados 100 µL da solução de hidróxido de sódio (0,6 N) e sulfato de sódio (0,22 M). O material foi agitado e, imediatamente, foram transferidos 200 µL das amostras para cubetas previamente preenchidas com 400 µL de água destilada. Em seguida, a absorbância foi medida a 380 nm usando espectrofotômetro (Beckman Counter, DU-640, EUA) e, por meio da reta-padrão, foi estimada a concentração de ácido chiquímico em plantas tratadas e não-tratadas.

O acúmulo de ácido chiquímico foi determinado pela diferença da concentração entre plantas tratadas e plantas não-tratadas. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com sete repetições por biótipo.

Foi, também, feito o estudo da retenção foliar do herbicida pela planta, seguindo metodologia descrita por Gauvrit et al. (2003). Foi preparada solução herbicida contendo 157,5 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate e 100 mg L⁻¹ de fluoresceína sódica (Merck, CI 45350 K37052987 724, Alemanha). A solução herbicida foi aplicada, como descrito anteriormente, sobre plantas de cada biótipo de capim-amargoso no estágio de seis folhas. No momento em que a solução herbicida estava seca sobre a folhagem, as plantas foram cortadas rente ao solo, imersas em 50 mL de hidróxido de sódio (5 mM) e agitada vigorosamente por 30 s. O material da lavagem foi filtrado e estocado em recipientes com capacidade para 50 mL.

As plantas foram secas em estufa de renovação forçada de ar a 55 °C por 72 h e pesadas em balança analítica (Kern, ABJ 80 4-M, Inglaterra), com precisão de 0,00001 g, para determinação da massa seca. A absorbância do material filtrado, por sua vez, foi medida em espectrofluorímetro (Beckman Counter, F-2500, EUA) a 490 nm/510 nm, para determinação da concentração de fluoresceína retida na planta, de acordo com a reta-padrão previamente obtida com concentrações conhecidas de fluoresceína. Com isso, pode-se estimar a quantidade de herbicida retida por grama de

massa seca da planta. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizados com 10 repetições por biótipo.

Outro estudo conduzido foi o de ângulo de contato das gotas do herbicida. Para a realização deste experimento, foi seguida metodologia utilizada por González-Torralva et al. (2010). A primeira folha totalmente expandida de cada biótipo foi cortada, quando a planta estava no estágio de seis folhas, e colocada sobre uma superfície horizontal. Em cada folha foram aplicadas cinco gotas de 1 μL de solução herbicida contendo 157,5 g e.a. ha^{-1} em volume de 200 L ha^{-1} . As gotas foram aplicadas com micropipeta mecânica (LabMate, LM-2, Inglaterra), na face adaxial das folhas, sendo que a disposição das gotas foi analisada por meio de microscópio (Leica, MZ6 1.8X-4X, Alemanha). Após 10 s da colocação da gota, foram feitas imagens usando câmera fotográfica (Leica, Digilux 4.3 1:2-8-4.5/8.3-24.9 mm, Alemanha) com lentes super-macro (Leica, Digimacro 4.3, Alemanha) acopladas ao microscópio.

Posteriormente, as imagens foram analisadas usando o programa computacional ImageJ (NIH, versão 1.43u, EUA), determinando dois pontos onde a gota estava em contato com a superfície foliar e outros três pontos delimitando os contornos da gota. Com isso, foi calculado o ângulo de contato das gotas. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições por biótipo.

Após esses estudos, procurou-se estudar o papel da absorção e da translocação na resistência do capim-amargoso ao herbicida glyphosate. Para isso, foi misturado glyphosate radioativo (ARC, ^{14}C -glyphosate-phosphonomethyl, EUA), com atividade específica de 52 mCi mmol^{-1} , com a formulação comercial de glyphosate na concentração de 1.440 g e.a. ha^{-1} . Preparou-se uma solução herbicida com atividade específica de 47.830 $\text{dpm } \mu\text{L}^{-1}$. Essa solução foi aplicada à superfície adaxial da primeira folha totalmente expandida de plantas dos dois biótipos, S e R, de capim-amargoso em estágio de cinco folhas, na forma de uma gota de 1,0 μL , usando micro-aplicador (Hamilton, PB 600 TA, EUA). Portanto, a concentração total de radioatividade aplicada por planta foi de 47.830 dpm .

Plantas dos dois biótipos foram avaliadas 12, 24, 48, 72 e 96 HAA. O ^{14}C -glyphosate não-absorvido foi removido da superfície foliar, lavando as folhas três

vezes com 1 mL de acetona (50%). Cada lavagem foi estocada em recipientes com capacidade para 5 mL, em que foram adicionados 4 mL de coquetel líquido cintilador (Packard Bioscience, Tri-Carb 3170 TR/SL, Holanda). Concomitantemente, as plantas foram retiradas dos vasos e as raízes cuidadosamente lavadas; e, em seguida, separadas em folha tratada, raízes e resto da planta. Este material foi colocado em cones de celulose e posto a secar em estufa com circulação forçada de ar por 72 h a 55 °C. Após esse período, o material foi queimado em oxidador (Perkin-Elmer, Sample Oxidizer 307, EUA), sendo que a radioatividade absorvida pela planta, na forma de $^{14}\text{CO}_2$, foi retida em um frasco com capacidade para 10 mL de uma mistura de Carbo-Sorb E (Packard Bioscience, 6013721, EUA) e Permafluor E+ (Packard Bioscience, 6013181, EUA), em proporção de 3:7 (v/v).

Ambos os materiais, lavado e queimado, referentes ao herbicida não-penetrado e penetrado, respectivamente, foram analisados quanto à presença de radioatividade, usando espectrômetro de cintilação líquida (Beckman Counter, LS 6500 TA, EUA).

O herbicida absorvido pela planta foi determinado por meio da equação:

$$H_{\text{abs}} = \frac{\text{dpm}_{\text{queimado}}}{\text{dpm}_{\text{queimado}} + \text{dpm}_{\text{lavado}}} \times 100$$

em que: H_{abs} é a porcentagem de herbicida absorvido pela planta; $\text{dpm}_{\text{queimado}}$ é a quantidade de ^{14}C -glyphosate que penetrou na planta e foi recuperada na forma de $^{14}\text{CO}_2$ após a combustão; $\text{dpm}_{\text{lavado}}$ é a quantidade de ^{14}C -glyphosate aplicada e não-absorvida pela planta que foi recuperada após a lavagem.

O herbicida contido no material queimado foi expresso como porcentagem do total absorvido (folha tratada + raízes + resto da planta), para determinação da quantidade de herbicida translocado. Além disso, plantas inteiras tratadas com a solução herbicida também foram secas em temperatura ambiente por sete dias. Após este período, foram pressionadas contra placa de armazenamento de radioatividade de 25×12,5 cm durante 12 h, a qual foi então escaneada para análise da dispersão de radioatividade, usando um leitor de radioatividade (Perkin-Elmer, Cyclone, EUA).

Os experimentos de absorção e translocação foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições por biótipo.

Por fim, foi efetuado o estudo do metabolismo do glyphosate em plantas de capim-amargoso. A concentração de glyphosate e seus metabólitos no tecido foliar foi determinada por eletroforese capilar, seguindo protocolo adaptado de Rojano-Delgado et al. (2010). Concentrações de glyphosate, ácido aminometilfosfônico (AMPA), sarcosina e formaldeído foram determinados em plantas dos dois biótipos as 48, 96 e 168 HAA. Nessas épocas, o tecido foliar de plantas tratadas e não-tratadas com 157,5 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate foi cortado e congelado a -20 °C. Posteriormente, as amostras foram descongeladas e lavadas três vezes com 20 mL de água destilada para limpeza do material e postas a secar. Das amostras secas, foi cortado 1,5 g, armazenado em recipientes de 2,0 mL e congelado com nitrogênio líquido. Em seguida, as amostras foram submetidas a ultrasonificação por 15 min. O material foi filtrado em micro-filtro de nylon de 0,49 µm e transferido para novos recipientes de 1,5 mL.

As amostras filtradas foram submetidas à eletroforese capilar de polaridade reversa (Agilent, G1600A, EUA), mantendo-se condições operacionais descritas por Rojano-Delgado et al. (2010). Assim, obtiveram-se eletroferogramas em que foram determinados os picos referentes a cada metabólito de interesse, quando presentes. Em seguida, as concentrações de glyphosate, AMPA, sarcosina e formaldeído foram estimadas por meio de equações matemáticas descritas por Rojano-Delgado et al. (2010). Posteriormente, calculou-se a porcentagem de cada metabólito em relação à concentração total de todos os metabólitos encontrados. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com três repetições por biótipo.

Nos experimentos de dose-resposta, os dados de massa fresca de plântulas e de plantas jovens foram submetidos à análise de regressão pelo modelo log-logístico:

$$Y = c + \frac{d - c}{1 + \frac{x^b}{g}}$$

em que: Y indica a massa fresca de plântulas ou da parte aérea de plantas jovens de capim-amargoso expressa como porcentagem da testemunha sem aplicação de glyphosate; c e d são coeficientes que expressam os valores mínimo e máximo; b é a inclinação da curva; g é o ponto de inflexão da curva; e x representa a concentração ou dose de glyphosate usada.

Com isso, foi possível determinar a concentração ou a dose de glyphosate requerida para inibir em 50% o acúmulo de massa fresca por plântulas (EC50) e por plantas jovens (ED50) de capim-amargoso, representadas pelo ponto de inflexão da curva, comparando-se com a testemunha sem aplicação de herbicida. Além disso, foi calculado o fator de resistência (FR) para o biótipo resistente, expresso por:

$$FR = \frac{\text{EC50 ou ED50 do biótipo resistente}}{\text{EC50 ou ED50 do biótipo susceptível}}$$

As análises de regressão foram feitas utilizando o programa computacional estatístico Sigma Plot (Systat Software, Versão 10.0, EUA).

Os dados de acúmulo de ácido chiquímico, retenção foliar, ângulo de contato, absorção, translocação e metabolismo foram submetidos, primeiramente, à análise de variância (teste F). Para acúmulo de ácido chiquímico e absorção foi utilizado o esquema fatorial 2×5, tendo como fatores: dois biótipos e cinco épocas de avaliação. Para translocação foi utilizado o esquema fatorial 2×3×5, tendo como fatores dois biótipos, três partes da planta e cinco épocas de avaliação. Para metabolismo, foi utilizado o esquema fatorial 2×3, tendo como fatores: dois biótipos e três épocas de avaliação. No caso do estudo de metabolismo, os dados de concentração de glyphosate foram comparados com o somatório de todos os seus metabólitos.

Complementarmente, quando o teste F foi significativo, foi realizada a análise de comparação das médias utilizando-se do teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os testes F e Tukey foram processados por meio do programa computacional estatístico Sisvar (UFLA, versão 5.0, Lavras, Brasil).

Resultados

Dose-resposta em plântulas e plantas jovens

A massa fresca de plântulas dos biótipos de capim-amargoso, S e R, foi reduzida com o aumento na concentração de herbicida aplicado, porém houve resposta distinta

entre os dois biótipos estudados (Figura 31). O biótipo S apresentou redução de 78,1% na massa fresca quando submetido à maior concentração de glyphosate, enquanto para o biótipo R a redução foi de 65,3%, de acordo com as curvas de regressão ajustadas. Além disso, a EC50 do biótipo S foi de 10,8 mg e.a. L⁻¹, enquanto para biótipo R foi observada EC50 de 60,3 mg e.a. L⁻¹ (Tabela 4). Assim, o biótipo R apresentou fator de resistência em plântulas de 5,6, ou seja, resistiu a concentrações de glyphosate mais de cinco vezes maiores que o biótipo S.

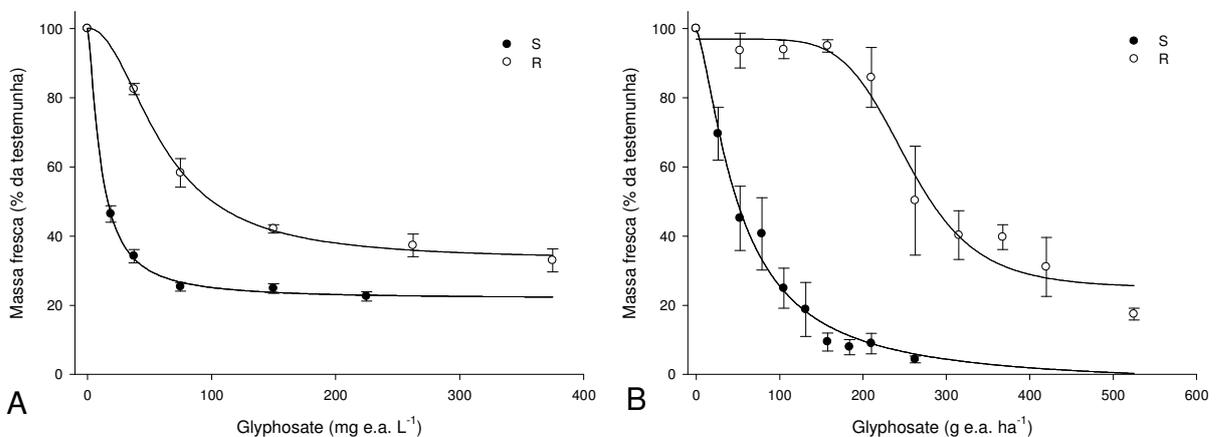


Figura 31. Curvas de dose-resposta de biótipos susceptível (S) e resistente (R) de capim-amargoso aos 10 e 21 dias após a aplicação de glyphosate, respectivamente, para experimentos com plântulas (A) e plantas jovens (B). Córdoba, 2010.

A massa fresca na parte aérea de plantas jovens do biótipo S foi reduzida com o aumento na dose de herbicida aplicado (Figura 31). Em contrapartida, o biótipo R tolerou a aplicação de doses mais baixas de glyphosate sem ter a massa fresca reduzida. Contudo, a massa fresca do biótipo resistente foi reduzida devido à aplicação de doses mais altas de glyphosate. O biótipo S apresentou redução de 97,1% na massa fresca quando submetido à maior dose de glyphosate, enquanto para o biótipo R a redução foi de 75,2%, de acordo com as curvas de regressão ajustadas. Além disso, a ED50 do biótipo S foi de 51,9 g e.a. ha⁻¹, enquanto para biótipo R foi observada ED50 de 254,6 g e.a. ha⁻¹ (Tabela 4). Assim, o biótipo R apresentou fator de resistência em plântulas de 4,9, ou seja, resistiu a doses de glyphosate quase cinco vezes maiores que o biótipo S.

Tabela 4. Parâmetros da equação log-logística^a usada para calcular a concentração ou a dose de glyphosate requerida para reduzir em 50% o acúmulo de massa fresca por plântulas ou plantas jovens em biótipos susceptível (S) e resistente (R) de capim-qmargoso. Córdoba, 2010.

Biótipo ^b	c	d	b	g	R ^{2/c}	FR ^d
Experimento com Plântulas						
S	21,8 ± 0,8	100,0 ± 1,0	1,4 ± 0,2	10,8 ± 0,9	0,99**	1,0
R	33,0 ± 1,5	100,1 ± 1,4	2,1 ± 0,2	60,3 ± 3,0	0,99**	5,6
Experimento com Plantas Jovens						
S	1,4 ± 0,2	99,4 ± 3,1	1,4 ± 0,2	51,9 ± 4,0	0,96**	1,0
R	24,9 ± 3,6	97,0 ± 1,7	6,3 ± 1,1	254,6 ± 9,1	0,93**	4,9

Médias ± o erro padrão da média.

^a Equação $Y = c + \frac{(d-c)}{1 + (x/g)^b}$, em que Y indica a massa fresca de plântulas ou plantas jovens, c e d são coeficientes que expressam os valores mínimo e máximo, b é a inclinação da curva, g é o ponto de inflexão da curva que representa a concentração ou dose de glyphosate que inibe em 50% o acúmulo de massa fresca por plântulas (EC₅₀) ou plantas jovens (ED₅₀) e x é a concentração ou dose do herbicida usado.

^b S indica biótipo susceptível e R, biótipo resistente ao glyphosate.

^c Coeficiente de determinação da curva e ** indica a significância de ajuste do modelo de regressão a 1% de probabilidade pelo teste F.

^d FR é o fator de resistência expresso pela relação entre EC₅₀(R) / EC₅₀(S) ou ED₅₀(R) / ED₅₀(S).

Acúmulo de ácido chiquímico

Houve interação dos fatores biótipos e épocas de avaliação ($P < 0,01$) da concentração de ácido chiquímico em plantas de capim-amargoso submetidas à aplicação de glyphosate. Portanto, foi feito o desdobramento dos graus de liberdade de cada um dos fatores dentro de cada nível do outro fator (dados não-apresentados) e análise de comparação de médias.

O acúmulo de ácido chiquímico foi semelhante em ambos os biótipos de capim-amargoso, S e R, até 72 HAA (Tabela 5). Porém, após 96 HAA, foi observado aumento no acúmulo de ácido chiquímico pelo biótipo S, o que não ocorreu no biótipo R. Dessa maneira, as 168 HAA, o biótipo S acumulou 350,4 $\mu\text{g g}^{-1}$ de massa fresca de ácido chiquímico, enquanto o biótipo R, 61,0 $\mu\text{g g}^{-1}$ de massa fresca, representando 5,7% mais ácido chiquímico acumulado pelo biótipo S.

Retenção foliar e ângulo de contato

A análise de variância sobre os dados de retenção foliar e ângulo de contato foi não-significativa ($P > 0,05$), indicando que não houve efeito da aplicação de glyphosate

sobre essas características nos dois biótipos de capim-amargoso estudados. A retenção foliar foi de 209,0 e 214,7 $\mu\text{L g}^{-1}$ de massa seca de solução herbicida nos biótipos S e R, respectivamente (Tabela 6). O ângulo de contato foi de 108 e 109 deg nos biótipos S e R, respectivamente. Portanto, não houve relação entre essas características e a resistência de capim-amargoso ao glyphosate.

Tabela 5. Acúmulo de ácido chiquímico em biótipos susceptível (S) e resistente (R) de capim-amargoso submetidos à aplicação de glyphosate^a, segundo a interação entre os fatores biótipo e época de extração. Córdoba, 2010.

Época ^b (HAA)	Ácido Chiquímico ^c ($\mu\text{g g}^{-1}$ massa fresca)	
	S	R
24	47,5 \pm 5,6 Ca	45,1 \pm 5,6 Aa
48	54,7 \pm 6,5 Ca	54,5 \pm 3,7 Aa
72	56,2 \pm 9,3 Ca	58,1 \pm 2,1 Aa
96	197,3 \pm 47,7 Ba	59,5 \pm 3,9 Ab
168	350,4 \pm 46,7 Aa	61,0 \pm 6,6 Ab

^a Glyphosate aplicado sob 157,5 g i.a. ha^{-1} em 200 L ha^{-1} de volume de calda.

^b HAA = horas após a aplicação do herbicida;

^c Médias \pm erro padrão da média seguidas pela mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 6. Retenção foliar e ângulo de contato em biótipos susceptível (S) e resistente (R) de capim-amargoso. Córdoba, 2010.

Biótipo	Retenção Foliar ($\mu\text{L g}^{-1}$ massa seca)	Ângulo de Contato (deg)
S	209,0 \pm 3,2	108 \pm 3
R	214,7 \pm 8,2	109 \pm 1

Absorção

Houve interação dos fatores biótipos e épocas de avaliação ($P < 0,01$) da porcentagem de ^{14}C -glyphosate absorvido pelo capim-amargoso. Portanto, foi feito o desdobramento dos graus de liberdade de cada um dos fatores dentro do outro (dados não-apresentados) e análise de comparação das médias.

Houve comportamento diferenciado na absorção de glyphosate pelos biótipos S e R, de 12 a 48 HAA; porém, após 72 HAA, a quantidade de herbicida absorvida pelas

plantas foi similar, por ambos os biótipos (Tabela 7). No biótipo S, a absorção variou de 36,0% a 48,4%, enquanto que no biótipo R, de 19,4% a 47,8%. Portanto, inicialmente as 12 HAA, o biótipo S absorveu cerca de 1,9 vezes mais herbicida que o biótipo R; porém, após 72 HAA, não houve diferença de absorção entre os biótipos. Dessa maneira, pode-se inferir que, embora inicialmente mais lenta no biótipo R, a absorção do herbicida glyphosate foi semelhante em ambos os biótipos após 72 HAA.

Tabela 7. Absorção de ^{14}C -glyphosate em biótipos susceptível (S) e resistente (R) de capim-amargoso, segundo a interação entre os fatores biótipo e época de avaliação. Córdoba, 2010.

Época ^a (HAA)	Absorção ^b (% ^{14}C -glyphosate aplicado)	
	S	R
12	36,0 ± 0,8 Da	19,4 ± 0,5 Cb
24	40,3 ± 1,1 Ca	27,1 ± 0,9 Bb
48	43,7 ± 0,6 Ba	28,0 ± 0,9 Bb
72	47,7 ± 0,6 Aa	46,1 ± 0,9 Aa
96	48,4 ± 0,9 Aa	47,8 ± 0,6 Aa

^a HAA = horas após aplicação do herbicida.

^b Médias ± erro padrão da média seguidas pela mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha) não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Translocação

Houve interação dos três fatores estudados, biótipos, partes da planta e épocas de avaliação ($P < 0,01$) da porcentagem de radioatividade contida nas diferentes partes das plantas de capim-amargoso. Portanto, foi feito o desdobramento dos graus de liberdade de cada um dos fatores dentro do outro (dados não-apresentados) e análise de comparação das médias.

Com exceção do resto da planta, as 12 HAA, houve diferença entre os biótipos S e R na quantidade de radioatividade encontrada (Tabela 8). As 96 HAA, na folha tratada do biótipo S havia 41,9% da radioatividade contida na planta; na raiz, 32,2%; e no resto da planta, 25,8%. Porém, no biótipo R havia 70,0% de radioatividade na folha tratada, 17,8% na raiz e 12,2% no resto da planta. Além disso, a porcentagem de radioatividade na folha tratada do biótipo R foi similar de 12 a 96 HAA (Tabela 8). Este comportamento

foi semelhante ao que ocorreu no resto da planta, enquanto na raiz foi observada uma pequena diferença entre 12 HAA (11,1%) e 96 HAA (17,8%). Enquanto, no biótipo S, a quantidade de radioatividade foi diminuindo de 69,4%, as 12 HAA, para 41,9%, as 96 HAA. Já para raiz e resto da planta, houve aumento de 15,7 e 14,5% para 32,2 e 25,8%, respectivamente, de 12 a 96 HAA. Portanto, pode-se inferir que houve menor translocação da radioatividade no biótipo S.

Tabela 8. Translocação da radioatividade em biótipos susceptível (S) e resistente (R) de capim-amargoso, segundo a interação entre os fatores biótipo, época de avaliação e parte da planta. Córdoba, 2010.

Época ^a (HAA)	Biótipo	Translocação ^b (% da radioatividade absorvida)		
		Folha Tratada	Raiz	Resto da Planta
12	S	69,8 ± 3,1 Ba (A)	15,7 ± 0,8 Ab (C)	14,5 ± 0,3 Ab (B)
	R	75,7 ± 2,4 Aa (a)	11,1 ± 0,5 Bb (b)	13,5 ± 0,6 Ab (a)
24	S	58,5 ± 1,0 Ba (B)	20,6 ± 0,8 Ab (BC)	20,9 ± 1,7 Ab (A)
	R	74,0 ± 0,4 Aa (a)	12,9 ± 0,8 Bb (ab)	13,1 ± 0,9 Bb (a)
48	S	53,8 ± 1,2 Ba (B)	23,7 ± 0,9 Ab (B)	22,4 ± 1,3 Ab (A)
	R	71,8 ± 1,8 Aa (a)	14,5 ± 0,5 Bb (ab)	13,7 ± 0,3 Bb (a)
72	S	54,2 ± 2,0 Ba (B)	22,4 ± 1,6 Ab (B)	23,4 ± 0,6 Ab (A)
	R	71,0 ± 1,2 Aa (a)	15,2 ± 1,0 Bb (ab)	13,8 ± 1,3 Bb (a)
96	S	41,9 ± 1,4 Ba (C)	32,2 ± 1,4 Ab (A)	25,8 ± 1,3 Ac (A)
	R	70,0 ± 2,9 Aa (a)	17,8 ± 1,2 Bb (a)	12,2 ± 0,4 Bc (a)

^a HAA = horas após aplicação do herbicida.

^b Médias ± erro padrão da média seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, como a seguir: letras maiúsculas fora dos parênteses comparam os biótipos dentro de cada parte e cada época em separado; letras minúsculas fora dos parênteses comparam as partes dentro de cada biótipo e época em separado; e letras maiúsculas ou minúsculas dentro dos parênteses comparam as épocas dentro de cada biótipo e parte em separado.

Pode-se observar, também, a evolução da translocação da radioatividade nos biótipos S e R por meio do estudo de fósforo-imagem (Figura 2B do Apêndice B), corroborando os resultados obtidos pela análise estatística. Notou-se que ocorreu maior movimentação da radioatividade da folha tratada para o resto da planta no biótipo S, no decorrer do tempo, enquanto no biótipo R a radioatividade concentrou-se na região da folha em que ocorreu a aplicação, denotando a menor translocação ocorrida no biótipo resistente ao glyphosate.

Metabolismo

Houve interação dos dois fatores estudados, biótipos e épocas de avaliação ($P < 0,01$) da porcentagem de glyphosate e o somatório de seus metabólitos contido no capim-amargoso. Portanto, foi feito o desdobramento dos graus de liberdade de cada um dos fatores dentro do outro (dados não-apresentados) e análise de comparação das médias.

Foi detectado apenas glyphosate em plantas do biótipo S tratadas com o herbicida, as 48 e 72 HAA; havendo, no entanto, 6,0% de seus metabólitos as 168 HAA (Tabela 9). Porém, para o biótipo R, a porcentagem de glyphosate foi reduzida de 61,2% (48 HAA) para 24,2% (168 HAA); já a porcentagem dos metabólitos aumentou de 38,8% (48 HAA) para 75,8% (168 HAA). Além disso, em todas as épocas de avaliação, houve diferença entre os biótipos de capim-amargoso estudados, S e R, quanto à porcentagem de glyphosate e seus metabólitos. Observou-se que há maior quantidade de glyphosate e menor quantidade de seus metabólitos no biótipo S, enquanto para o biótipo R o inverso foi verificado.

Tabela 9. Porcentagem de glyphosate e seus metabólitos (ácido aminometilfosfônico, sarcosina e formaldeído) no tecido foliar de capim-amargoso submetido à aplicação de glyphosate, em função do biótipo e da época de avaliação. Córdoba, 2010.

Época (HAA)	Glyphosate		Metabólitos	
	S	R	S	R
48	100,0 ± 0,0 Aa	61,2 ± 4,0 Ab	nd	38,8 ± 3,5 C
96	100,0 ± 0,0 Aa	33,1 ± 2,9 Bb	nd	66,9 ± 5,8 B
168	94,0 ± 2,2 Ba	24,2 ± 2,5 Cb	6,0 ± 1,5 b	75,8 ± 6,7 Aa

Médias ± o erro padrão da média seguido pela mesma letra (maiúsculas na coluna e minúsculas na linha) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
nd indica metabólito não-detectado

As porcentagens de AMPA, sarcosina e formaldeído em plantas do biótipo S foram menores do que em plantas do biótipo R (Figura 32). Além disso, verificou-se que mais de 90% de glyphosate foi encontrado no biótipo S até 168 HAA, enquanto no biótipo R havia pouco mais de 60% a 48 HAA. Estes resultados indicam que houve maior metabolização do glyphosate em plantas do biótipo resistente.

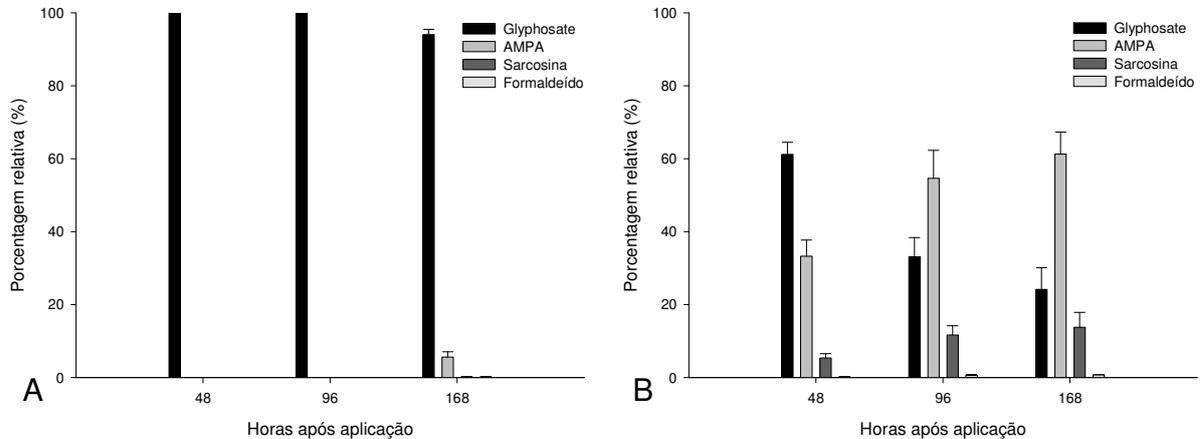


Figura 32. Porcentagem de glyphosate, ácido aminometilfosfônico (AMPA), sarcosina e formaldeído em biótipos susceptível (A) e resistente (B) de capim-amargoso, submetidas à aplicação de glyphosate. Córdoba, 2010.

Discussão

Os resultados dos experimentos de dose-resposta, tanto em plântulas quanto em plantas jovens de capim-amargoso, deram subsídios para confirmar a resistência do biótipo R, coletado em área de citricultura, no município de Matão, Estado de São Paulo. Contudo, o experimento feito com plântulas propiciou um fator de resistência maior que aquele com plantas jovens. Este resultado é similar àqueles obtidos em *Lolium* spp. por Perez; Kogan (2003), Perez-Jones et al. (2007) e Ribeiro et al. (2008). O experimento feito com plântulas (em Placas de Petri) é um método simples, rápido e barato que tem sido comumente utilizado para quantificar a resistência a herbicidas (PEREZ; KOGAN 2003; NEVE et al., 2004; PEREZ-JONES et al., 2007; RIBEIRO et al., 2008). Todavia, o experimento com plântulas (em vasos) é mais preciso para quantificar a resistência (PEREZ-JONES et al., 2007; RIBEIRO et al., 2008; CRUZ-HIPOLITO et al., 2009). Apesar disso, em uma situação em que muitos biótipos devem ser testados, o experimento com plântulas pode ser eficientemente usado; porém, os resultados obtidos deveriam ser confirmados por meio de um experimento com plantas jovens (PEREZ-JONES et al., 2007).

De acordo com os resultados do experimento com plantas jovens de capim-amargoso, o biótipo R teve um fator de resistência menor que outras espécies de plantas daninhas gramíneas já estudadas, como *E. indica* (LEE; NGIM, 2000), *L. multiflorum* (PEREZ-JONES et al., 2005; PEREZ-JONES et al., 2007; RIBEIRO et al., 2008), *L. rigidum* (WAKELIN; PRESTON, 2006; RIBEIRO et al., 2008) e *S. halepense* (VILA-AIUB et al., 2007).

O grande acúmulo de ácido chiquímico observado no biótipo S, após 72 HAA, indicou sensibilidade ao herbicida glyphosate. Por outro lado, a não-acumulação desse composto indicou não-sensibilidade ao herbicida, típico de plantas resistentes. Elevada acumulação de ácido chiquímico é usada como um indicador rápido e muito sensível do efeito de glyphosate sobre plantas susceptíveis (HARRING et al., 1998). Mudanças na concentração de ácido chiquímico em plantas são resultados, especificamente, da inibição da EPSPs (AMRHEIN et al., 1980; JAWORKSKI et al., 1972; AMRHEIN et al. 1983) e têm sido usado como um marcador para a sensibilidade da EPSPs a glyphosate em plantas (DE MARÍA et al., 2006; GONZÁLEZ-TORRALVA et al., 2010). Assim, o grande acúmulo de ácido chiquímico no biótipo S também confirma a resistência do biótipo R ao glyphosate.

Em plantas de capim-amargoso susceptíveis ao glyphosate, o acúmulo de ácido chiquímico foi mais lento, assim como a concentração foi menor, que em outras plantas daninhas gramíneas já estudadas, como *L. multiflorum* (PEREZ-JONES et al., 2005; PEREZ-JONES et al. 2007; RIBEIRO et al. 2008) e *L. rigidum* (RIBEIRO et al. 2008). Isso indica que a absorção de glyphosate pode ser mais lenta no capim-amargoso, uma vez que o ácido chiquímico é um indicador de que o glyphosate está atingindo a enzima alvo (POWLES; PRESTON, 2006).

A retenção foliar e o ângulo de contato são características importantes de eficácia do herbicida, pois determinam a quantidade máxima que pode ser capturada pela planta alvo; em alguns casos, diferenças em retenção foliar e ângulo de contato desempenham papel importante na eficácia e seletividade do herbicida (CHACHALIS et al., 2001; NORSWORTHY et al., 2001; KOGAN; PEREZ, 2003; MICHITTE et al., 2007). Diferenças nessas características poderiam afetar a quantidade de herbicida absorvido

pela planta. Como não foi observada diferença nestes dois parâmetros entre biótipos S e R, pode afirmar-se que a captura diferencial de herbicida pelas folhas não foi responsável pela resistência em capim-amargoso.

A absorção do herbicida pelas plantas de capim-amargoso, embora diferencial até 48 HAA, não condicionou maior ou menor penetração do glyphosate após 72 HAA em ambos os biótipos, S e R. Portanto, pode-se afirmar que a absorção do herbicida não influenciou diretamente na resistência do biótipo R ao herbicida glyphosate. Porém, associando a absorção inicial diferencial com o metabolismo muito mais intenso no biótipo resistente, pode-se inferir que a menor penetração e o maior metabolismo neste biótipo permitem que quantidade menor de herbicida chegue ao local de ação na planta e, então, que a absorção indiretamente influencie na resistência do capim-amargoso ao glyphosate.

Diferenças na absorção de glyphosate foram observadas em biótipos de *L. multiflorum* (MICHITTE et al., 2007; NANDULA et al., 2008). Michitte et al. (2007) ressaltam que essas diferenças podem ocorrer devido a composição distinta das ceras epicuticulares, como, por exemplo, uma maior cristalização dessas ceras em plantas resistentes. Além disso, plantas resistentes podem apresentar certas zonas mais rugosas na superfície foliar. Nandula et al. (2008) ressaltam, ainda, que o teor de cera pode influenciar na absorção de herbicida pelas folhas.

Por outro lado, a translocação do herbicida foi diferencial entre os biótipos, S e R, desde 12 HAA. Portanto pode-se afirmar que a translocação do herbicida influenciou na resistência do biótipo R ao herbicida, sendo, dessa maneira, um dos mecanismos de resistência do capim-amargoso ao glyphosate.

Em plantas resistentes, mais herbicida fica retido na folha tratada e menos é translocado para outras partes da planta (LORRAINE-COLWILL et al., 2003; WAKELIN et al. 2004; PEREZ-JONES et al., 2007; YU et al. 2007). O glyphosate é translocado via floema, seguindo o gradiente de concentração de sacarose das folhas maduras para órgãos de consumo e armazenamento, como raízes, folhas novas, etc. (GOUGLER; GEIGER, 1984). Há duas razões para o glyphosate ser transportado de folhas velhas (fonte) para tecidos meristemáticos (dreno). Primeiro é que há concentração mais alta

de EPSPs nos tecidos meristemáticos (WEAVER; HERRMANN, 1997). Segundo é que tecidos meristemáticos, comumente, apresentam vacúolos menores, e, assim, não podem “defender” efetivamente o cloroplasto do glyphosate (GE et al., 2010). Assim, diferenças no padrão de translocação do glyphosate estão associadas com a resistência ao herbicida, pois o glyphosate tende a ser transportado ativamente pelo floema e se acumula em tecidos meristemáticos (SPRANKLE et al., 1975; MCWHORTER et al., 1980; ARNAUD et al., 1994).

Diferenças na translocação de glyphosate foram também observadas em biótipos de *L. multiflorum* (MICHITTE et al., 2007; PEREZ-JONES et al., 2007; NANDULA et al., 2008). Em sua discussão, Michitte et al. (2007) ressaltam que essa diferença na translocação pode ter ocorrido em função do herbicida glyphosate ficar retido no espaço apoplástico nos biótipos resistentes. Essa explicação é aceita, pois o glyphosate deve penetrar no tecido e se translocar até os meristemas ativos para atingir seu local de ação (SHANER, 2009). Porém, descobriu-se recentemente, em plantas resistentes de *C. canadensis*, que o glyphosate pode ser sequestrado rapidamente pelo vacúolo da célula, principalmente em folhas maduras, antes de ser translocado e atingir seu local de ação, impedindo a ação do herbicida (GE et al., 2010).

Foi observada degradação do glyphosate a outros compostos nos biótipos S e R de capim-amargoso. Porém, maior concentração de metabólitos, como AMPA, sarcosina e formaldeído, foram extraídos do tecido foliar de plantas do biótipo R, indicando que o glyphosate foi parcialmente metabolizado neste biótipo. AMPA é o principal produto originado da metabolização do glyphosate (AMRHEIN et al., 1980; HOAGLAND, 1980). Além disso, a metabolização do glyphosate gera outros metabólitos, como formaldeído e sarcosina (JOB et al., 2002a,b; PEDOTTI et al., 2009; ROJANO-DELGADO et al., 2010). Dessa maneira, a porcentagem relativa de glyphosate e seus metabólitos pode ser usada como indicador da metabolização do herbicida em plantas daninhas resistentes ao glyphosate.

Duas rotas metabólicas foram descritas para degradação do glyphosate por bactérias e fungos do solo (NOMURA; HILTON, 1977; RUEPPEL et al., 1977; SHINABARGER et al., 1984; KISHORE; JACOB, 1987; PIPKE et al., 1987; JACOB et

al., 1988; LIU et al., 1991). De acordo com Schuette (1998) e Wiersema et al. (2010), uma rota envolve a degradação do herbicida, por ação da enzima glyphosate dehidrogenase, originando o AMPA. Este composto, por sua vez, é degradado por ação da enzima C-P liase para metilamina e esta, por sua vez, a formaldeído, por ação da enzima metilamina dehidrogenase. Outra rota é a degradação direta do glyphosate a sarcosina, por ação da enzima C-P liase. Portanto, o aparecimento dos metabólitos supracitados sugere que ambas as rotas formariam parte do metabolismo do glyphosate em plantas.

Embora não tenham sido encontradas evidências de que o metabolismo do glyphosate seja importante na resistência de plantas daninhas ao herbicida (FENG et al., 2004; DUKE, no prelo), houve evidências de que, no caso destes experimentos com capim-amargoso, o metabolismo possa ser um dos mecanismos envolvidos na resistência ao glyphosate.

É de substancial importância conhecer se a falha no controle das plantas daninhas deve-se ao desenvolvimento de resistência ou outros fatores (DUKE; POWLES, 2008; POWLES, 2008). Por exemplo, usando sub-doses de herbicidas, algumas plantas podem ser afetadas, mas sobreviver, e, assim, desenvolver rapidamente resistência a determinado produto (NEVE; POWLES 2005a,b). No caso do capim-amargoso, sabe-se que não há controle efetivo quando o herbicida é aplicado depois que a planta desenvolve rizomas ou atinge o florescimento (MACHADO et al., 2006; TIMOSSI et al., 2006). Por outro lado, se o herbicida é aplicado em estágio de plântula, como é recomendado, a espécie pode ser controlada efetivamente. Dessa maneira, o uso de glyphosate em plantas em estágio avançado de desenvolvimento pode adiantar o desenvolvimento da resistência.

A identificação de biótipos resistentes deve ser feita por meio de um teste eficiente e, após isso, deve-se monitorar a área onde foi detectada a resistência (PEREZ; KOGAN, 2003). Além disso, devem-se entender os fatores que ajudar a retardar o aparecimento da resistência, assim como aquelas que levam ao desenvolvimento da resistência (PRESTON et al., 2009). No caso do capim-amargoso, em áreas de cafeicultura, o uso intenso e errôneo do glyphosate e a falta de outras

estratégias de controle de plantas daninhas podem acelerar o aparecimento de populações resistentes, uma vez que plantios perenes são de alto risco para a evolução da resistência ao glyphosate.

Dessa maneira, mudar as práticas de manejo, incluindo outras estratégias de controle, além da química, ajuda a retrasar a evolução da resistência ao glyphosate. Ao contrário, o uso intenso de glyphosate irá somente acelerar o risco de desenvolvimento da resistência de plantas daninhas ao herbicida. Tudo isto deve ser levado em consideração para poder desenvolver um programa adequado de manejo de populações de capim-amargoso resistentes ao glyphosate.

Conclusões

- 1) Foi detectado biótipo de capim-amargoso resistente ao herbicida glyphosate por meio dos experimentos de dose-resposta e acúmulo de ácido chiquímico.
- 2) Não houve relação de retenção foliar e ângulo de contato com a resistência de capim-amargoso ao herbicida glyphosate.
- 3) A absorção é mecanismo indireto de resistência do capim-amargoso ao herbicida glyphosate.
- 4) A translocação é mecanismo de resistência de capim-amargoso ao herbicida glyphosate.
- 5) O metabolismo é mecanismo de resistência do capim-amargoso ao glyphosate.

REFERÊNCIAS

- ABIC – Associação Brasileira da Indústria do Café. Sabor do café. **História do café**. Disponível em: <http://www.abic.com.br/scafe_historia.html>. Acesso em: 7 out. 2010.
- AHSAN, N.; LEE, D.G.; LEE, K.W.; ALAM, I.; LEE, S.H.; BAHK, J.D.; LEE, B.H. Glyphosate-induced oxidative stress in rice leaves revealed by proteomic approach. **Plant Physiol. Biochem.**, v.46, n.12, p.1062-1070, 2008.
- AINSWORTH, E.A.; ROGERS, A. The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising [CO₂]: mechanisms and environmental interactions. **Plant Cell Environ.**, v.30, n.3, p.258-270, 2007.
- ALCÂNTARA, E.N.; FERREIRA, M.M. Efeito de diferentes métodos de controle de plantas daninhas sobre a produção de cafeeiros instalados em Latossolo roxo distrófico. **Ci. Agrotec.**, v.24, n.1, p.54-61, 2000.
- ALCÂNTARA, E.N.; NÓBREGA, J.C.A.; FERREIRA, M.M. Métodos de controle de plantas daninhas no cafeeiro afetam os atributos químicos do solo. **Ci. Rural**, v.39, n.3, p.749-757, 2009.
- ALCÂNTARA, E.N.; NÓBREGA, J.C.A.; FERREIRA, M.M. Métodos de controle de plantas invasoras na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) e componentes da acidez do solo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.31, n.6, p.1525-1533, 2007.
- ALDESUQUY, H.S.; IBRAGHIM, A.H.A. The role of shikimic acid in regulation of growth, transpiration, pigmentation, photosynthetic activity and productivity of *Vigna sinensis* plants. **Phyton.**, v.40, n.2, p.277-292, 2000.
- ALLENDER, W.J.; CRESSWELL, G.C.; KALDOR, J.; KENNEDY, I.R. Effect of lithium and Ion herbicide induced hormesis in hydroponically-grown cotton and corn. **J. Plant Nut.**, v.20, n.1, p81-95, 1997.
- ALFONSI, E.L. **Avaliação do potencial para porta-enxerto de genótipos de Coffea, por meio de características fisiológicas de crescimento, trocas gasosas, fotossintéticas e nutrição mineral**. 87p. 2003. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, SP, 2003.

- ALFONSI, E.L.; FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C.; FAZUOLI, L.C. Crescimento, fotossíntese e composição mineral em genótipos de *Coffea* com potencial para utilização como porta-enxerto. **Bragantia**, v.64, n.1, p.1-13, 2005.
- ALMEIDA, F.S. **A alelopatia e as plantas**. Londrina: IAPAR, 1988.
- AMARANTE JÚNIOR, O.P.; SANTOS, T.C.R.; BRITO, N.M.; RIBEIRO, M.L. Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. **Quím. Nova**, v.25, n.4, p.589-593, 2002.
- AMRHEIN, N.; DEUS, B.; GEHRKE, P.; STEINRÜCKEN, H.C. The site of the inhibition of the shikimate pathway by glyphosate: II. Interference of glyphosate with chorismate formation *in vivo* and *in vitro*. **Plant Physiol.**, v.66, n.5, p.830-834, 1980.
- AMRHEIN, N.; JOHANNING, D.; SCHAB, J.; SCHULZ, A. Biochemical basis for glyphosate-tolerance in a bacterium and a plant tissue culture. **FEBS Lett.**, v.157, n.1, p.191-196, 1983.
- ARNAUD, L.; NURIT, F.; RAVANEL, P.; TISSUT, M. Distribution of glyphosate and of its target enzyme inside wheat plants. **Pestic. Sci.**, v.40, n.3, p.217–223, 1994.
- BAERSON, S.R.; RODRIGUEZ, D.J.; TRAN, M.; FENG, Y.; BIEST, N.A.; DILL, G.M. Glyphosate-resistant goosegrass. Identification of a mutation in the target enzyme 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase. **Plant Physiol.**, v.129, n.3, p.1265-1275, 2002a.
- BAERSON, S.R.; RODRIGUEZ, D.J.; TRAN, M.; YOU, J.; KREUGER, R.W.; DILL, G.M.; PRATLEY, J.E.; GRUYS, K.J. Investigating the mechanism of glyphosate resistance in rigid ryegrass (*Lolium rigidum*). **Weed Sci.**, v.50, n.6, p.721-730, 2002b.
- BALLARÉ, C.L.; CASAL, J.J. Light signals perceived by crop and weed plants. **Field Crops Res.**, v.67, n.2, p.149-160, 2000.
- BARJA, B.C.; HERSZAGE, J.; SANTOS, A.M. Iron (III)–phosphonate complexes. **Polyhedron.**, v.20, n.15, p.1821-1830, 2001.
- BEBAWI, F.F.; FARAH, A.F. Effect of parasitic and non-parasitic weed on sorghum. **Experim. Agric.**, v.17, n.4, p.337-341, 1981.
- BELZ, R.G.; CEDERGREEN, N. Parthenin hormesis in plants depends on growth conditions. **Environ. Exp. Bot.**, v.69, n.3, p.293-301, 2010.

- BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas:** noções básicas. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.
- BERGER, S.; SINHA, A.K.; ROITSCH, T. Plant physiology meets phytopathology: plant primary metabolism and plant-pathogen interactions. **J. Exp. Bot.**, v.58, n.15-16, p.4019-4026, 2007.
- BERNARDS, M.L.; THELEN, K.D.; PENNER, D.; MUTHUKUMARAN, R.B.; MCCRACKEN, J.L. Glyphosate interaction with manganese in tank mixtures and its effect on glyphosate absorption and translocation. **Weed Sci.**, v.53, n.6, p.787-794, 2005.
- BLANCO, H.G. A importância dos estudos ecológicos nos programas de controle das plantas daninhas. **Biológico**, v.38, n.10, p.343-350, 1972.
- BLANCO, H.G.; OLIVEIRA, D.A.; PUPO, E.I.H. Período de competição de uma comunidade natural de mato em uma cultura de café em formação. **Biológico**, v.48, n.1, p.9-20, 1982.
- BLEASDALE, J.K.A. Studies on plant competition. In: HARPER, J.L. (Ed.). **The biology of weeds**. Oxford: Backwell Scientific Publication, 1960. p.133-142.
- BRAUN, H.; ZONTA, J.H.; LIMA, J.S.S.; REIS, E.F. Produção de mudas de café conilon propagadas vegetativamente em diferentes níveis de sombreamento. **Idesia**, v.25, n.3, p.85-91, 2007.
- CAKMAK, I.; YAZICI, A.; TUTUS, Y.; OZTURK, L. Glyphosate reduced seed and leaf concentrations of calcium, manganese, magnesium, and iron in non-glyphosate resistant soybean. **Europ. J. Agron.**, v.31, n.3, p.114-119, 2009.
- CARELLI, M.L.C.; FAHL, J.I.; TRIVELIN, P.C.O.; QUEIROZ-VOLTAN, R.B. Carbon isotope discrimination and gas exchange in *Coffea* species grown under different irradiance regimes. **Rev. Bras. Fisiol. Veg.**, v.11, n.2, p.63-68, 1999.
- CASAL, J.J.; DEREGIBUS, V.A.; SÁNCHEZ, R.A. Variations in tiller dynamics and morphology in *Lolium multiflorum* Lam. vegetative and reproductive plants as affected by differences in red/far red irradiation. **Ann. Bot.**, v.56, n.4, p.553-559, 1985.
- CEDERGREEN, N. Is the growth stimulation by low doses of glyphosate sustained over time? **Environ Pollut.**, v.156, n.3, p.1099-1104, 2008.

- CEDERGREEN, N.; OLESEN, C.F. Can glyphosate stimulate photosynthesis? **Pest. Biochem. Physiol.**, v.96, n.3, p.140-148, 2010.
- CEDERGREEN, N.; STREIBIG, J.C.; KUDSK, P.; MATHIASSEN, S.K.; DUKE, S.O. The occurrence of hormesis in plants and algae. **Dose Res.**, v.5, n.2, p.150-162, 2007.
- CHACHALIS, D.; REDDY, K.N.; ELMORE, C.D.; STEELE, M.L. Herbicide efficacy, leaf structure, and spray droplet contact angle among *Ipomoea* species and smallflower morningglory. **Weed Sci.**, v.49, n.5, p.628-634, 2001.
- CHRISTOFFOLETI, P.J. (Coord). **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. 3 ed. Piracicaba: HRAC-BR, 2008. 120p.
- CHRISTOFFOLETI, P.J.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F. Definições e situação da resistência de plantas daninhas aos herbicidas no Brasil e no mundo. In: CHRISTOFFOLETI, P.J. (Coord.). **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. 2.ed. Campinas: Associação Brasileira de Ação a Resistência de Plantas aos Herbicidas (HRAC-BR), 2004. p.3-22.
- CHRISTOFFOLETI, P.J.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F. Principais aspectos da resistência de plantas daninhas ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, v.21, n.3, p.507-515, 2003.
- CHRISTOFFOLETI, P.J.; VICTORIA FILHO, R.; SILVA, C.B. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas. **Planta Daninha**, v.12, n.1, p.13-20, 1994.
- CHU, E.Y. Sistema de produção: pimenteira-do-reino. **Micorriza**. Embrapa, 2005. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pimenta/PimeiteiradoReino/paginas/micorrizas.htm>. Acesso em: 8 nov. 2010.
- CLOWES, M.S.J. Early and late season chemical ripening of sugarcane. **Proc. South African Sugar Technol. Assoc.**, v.52, p.160-165, 1978.
- CLOWES, M.S.J. Ripening activity of the glyphosate salts Mon 8000 and Roundup. **Proc. South African Sugar Technol. Assoc.**, v.54, p.676-693, 1980.
- COBB, A. Auxin-type herbicides. In: COBB, A.H. (ed.). **Herbicides and Plant Physiology**, Cornwall: T.J. Press, 1992. p.82-125.
- COCHETO JÚNIOR, D.G.; ALMEIDA, F.F.D.; RICCI, M.S.F.; SAGGIN JÚNIOR, O.J.; COSTA, J.R.; RODRIGUES, M.B. Ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares

- em áreas cultivadas com café sob manejo orgânico e sombreado. REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 13, 2010. **Anais...** Guarapari, 2010. CD-Rom.
- COLE, D.J. Detoxification and activation of agrochemicals in plants. **Pest. Sci.**, v.42, n.3, p.209-222, 1994.
- COLOZZI FILHO, A.; CARDOSO, E.J.B.N. Detecção de fungos micorrízicos arbusculares em raízes de cafeeiro e de crotalária cultivada na entrelinha. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.35, n.10, p.2033-2042, 2000.
- COLOZZI FILHO, A.; NOGUEIRA, M.A. Micorrizas arbusculares em plantas tropicais: café, mandioca e cana-de-açúcar. In.: SILVA, A.P.D.; FREITAS, S.S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: IAC, 2007. p.39-56.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira. **Café**. Safra 2010. Terceira estimativa. CONAB: Brasília, 2010. 19p.
- CONCENÇO, G.; SANT'ANNA, S.J.; SCHWANKE, A.M.L.; GALON, L.; FERREIRA, E.A.; ASPIAZÚ, I.; SILVA, A.F.; FERREIRA, F.A. Uso da água por plantas híbridas ou convencionais de arroz irrigado. **Planta Daninha**, v.27, n.3, p.447-453, 2009.
- COSTA, A.G.F.; VELINI, E.D.; NEGRISOLI, E.; CARBONARI, C.A.; ROSSI, C.V.S.; CORRÊA, M.R.; SILVA, F.M.L. Efeito da intensidade do vento, da pressão e de pontas de pulverização na deriva de aplicações de herbicidas em pré-emergência. **Planta Daninha**, v.25, n.1, p.203-210, 2007.
- COSTA, R.S.C.; SANTOS, J.C.F.; LEÔNIDAS, F.C. **Ocorrência de plantas daninhas em lavouras de café 'Conilon' em Ouro Preto do Oeste, Rondônia**. Rondônia: Embrapa-CPAF, 2001. p.3-5. (Circular Técnica 203).
- COUSENS, R. A simple model relating yield loss to weed density. **Ann. Appl. Biol.**, v.107, n.2, p.239-252, 1985.
- COUSENS, R. Aspects of the design and interpretation of competition (interference) experiments. **Weed Technol.**, v.5, n.3, p.664-673, 1991.
- CRUZ-HIPOLITO, H.; OSUNA, M.D.; HEREDIA, A.; RUIZ-SANTAELLA, J.P.; DE PRADO, R. Nontarget mechanism involved in glyphosate tolerance found in *Canavalia ensiformis* plants. **J. Agric. Food Chem.**, v.57, n.11, p.4844-4848, 2009.

- DAVIES, R.J. **Trees and weeds**: control for successful tree establishment. London: HSMO, 1987. p.36.
- DE MARÍA, N.; BECERRIL, J.M.; GARCÍA-PLAZOALA, J.I.; HERNÁNDEZ, A.; DE FELIPE, M.R.; FERNÁNDEZ-PASCUAL, M. 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.
- DIAS, T.C.S.; ALVES, P.L.C.A.; LEMES, L.N. Efeito da faixa de controle das plantas daninhas sobre o crescimento do cafeeiro. **Boletim Informativo SBPCD**, v.10, p.32, 2004.
- _____. Períodos de interferência de *Commelina benghalensis* na cultura do café recém-plantada. **Planta Daninha**, v.23, n.3, p.397-404, 2005.
- _____. Faixas de controle de plantas daninhas e seus reflexos na produção do cafeeiro. **Científica**, v.36, n.1, p.81-85, 2008.
- DICKISON, W. C. **Integrative plant anatomy**. New York: Harcourt/Academic, 2000. 533p.
- DINARDO, W.; TOLEDO, R.E.B.; ALVES, P.L.C.A.; PITELLI, R.A. Efeito da densidade de plantas de *Panicum maximum* Jacq. sobre o crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden. **Sci. Florest.**, v.64, n.1, p.59-68, 2003.
- DINELLI, G.; MAROTTI, I.; CATIZONE, P.; BONETTI, A.; URBANO, J.M.; BARNES, J. Physiological and molecular basis of glyphosate resistance in *Conyza bonariensis* (L.) Cronq. biotypes from Spain. **Weed Res.**, v.48, n.3, p.257-265, 2008.
- DUKE, S.O. Glyphosate degradation in glyphosate-resistant and -susceptible crops and weeds. **J. Agric. Food Chem.** (no prelo).
- DUKE, S.O.; WEDGE, C.E.; CERDEIRA, A.L.; MATALLO, M.B. Herbicide effects on plant disease. **Outlooks Pest Manag.**, v.18, n.1, p.36-40, 2007.
- DUKE, S.O.; BELZ, R.G.; MACIAS, F.A.; MOLINILLO, J.M.G.; VARELA, R.M.; GALINDO, J.C.G. Allelopathy in crop/weed interactions: an update. Commentary. **Pest Manag. Sci.**, v.63, n.4, p.308-348, 2007.
- DUKE, S.O.; CEDERGREEN, N.; VELINI, E.D.; BELZ, R.G. Hormesis: is it an important factor in herbicide use and allelopathy? **Out. Pest Manag.**, v.17, n.1, p.29-33, 2006.

- DUKE, S.O.; POWLES, S.B. Glyphosate: a once in a century herbicide. **Pest Manag. Sci.**, v.64, n.4, p.319-325, 2008.
- ENGEL, V.L. **Influencia do sombreamento sobre o crescimento de mudas de essências nativas, concentração de clorofila nas folhas e aspectos de anatomia**. 202f. 1989. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 1989.
- ENGEL, V.L.; POGGIANI, F. Influência do sombreamento sobre o crescimento de mudas de algumas essências nativas e implicações ecológicas e silviculturais. **Sci. Forest.**, v.43/44, n.1, p.1-10, 1990.
- FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C. Influencia do sombreamento nas características fisiologicas envolvidas no crescimento de espécies de *Coffea*. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, Londrina. **Anais...** Londrina: IAPAR, 1994. p.289-290.
- FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C.; VEGA, J.; MAGALHÃES, A.C. Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants (*Coffea arabica* L.). **J. Hortic. Sci.**, v.69, n.1, p.161-169, 1994.
- FAULIN, G.C. **Influência da adubação em doses variadas na produtividade e no estado nutricional da cultura do café (*Coffea arabica* L.)**. 103p. 2010. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 2010.
- FENG, P.C.C.; TRAN, M.; CHIU, T.; SAMMONS, R.D.; HECK, G.R.; CAJACOB, C.A. Investigations into glyphosate-resistant horseweed (*Conyza canadensis*): retention, uptake, translocation, and metabolism. **Weed Sci.**, v.52, n.4, p.498-505, 2004.
- FERREIRA, L.R.; FERREIRA, F.A.; MACHADO, A.F.L. Tecnologia de aplicação de herbicidas. In: SILVA, A.A.; SILVA, J.F. (Eds.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: UFV, 2007. p.326-367.
- FLEXAS, J.; RIBAS-CARBÓ, M.; DIAZ-ESPEJO, A.; GALMES, J.; MEDRANO, H. Mesophyll conductance to CO₂: current knowledge and future prospects. **Plant Cell Environ.**, v.31, n.5, p.602-621, 2008.

- FRANÇA, A.C. **Ação do glyphosate sobre o crescimento e teores de nutrientes em cultivares de café arábica**. 57p. 2009. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2009.
- FRANÇA, A.C.; FREITAS, M.A.M.; FIALHO, C.M.T.; SILVA, A.A.; REIS, M.R.; GALON, L.; VICTORIA FILHO, R. Crescimento de cultivares de café arábica submetidos a doses do glyphosate. **Planta Daninha**, v.28, n.3, p.599-607, 2010.
- FRANK, A.B., HOFMAN, L. Light quality and stem numbers in cool-season forage grasses. **Crop Sci.**, v.34, n.2, p.468-473. 1994.
- FRANZ, J.; MAO, M.K.; SIKORSKI, J.A. **Glyphosate**: a unique global herbicide. Washington, D.C.: ACS, 1997. 653p.
- FRANZEN, D.W.; O'BARR, J.H.; ZOLLINGER, R.K. Interaction of a foliar application of iron HEDTA and three postemergence broadleaf herbicides with soybeans stressed from chlorosis. **J. Plant Nutr.**, v.26, n.12, p.2365-2374, 2003.
- FREITAS, F.C.L.; TEIXEIRA, M.M.; FERREIRA, L.R.; FERREIRA, F.A.; MACHADO, A.F.L.; VIANA, R.G. Distribuição volumétrica de pontas de pulverização turbo teejet 11002 em diferentes condições operacionais. **Planta Daninha**, v.23, n.1, p.161-167, 2005.
- FRIESSLEBEN, U.; POHLAN, J.; FRANKI, G. The response of *Coffea arabica* L. to weed competition. **Café, Cacao Thé**, v.35, n.1, p.15-20, 1991.
- FUCHS, M.A.; GEIGER, D.R.; REYNOLDS, T.L.; BOURQUE, J.E. Mechanisms of glyphosate toxicity in velvetleaf (*Abutilon theophrasti medikus*). **Pest. Biochem. Physiol.**, v.74, n.1, p.27-39, 2002.
- GALLO, J.R.; MORAES, F.R.P.; LOTT, W.L.; INFORZATO, R. **Absorção de nutrientes pelas ervas daninhas e sua competição com o cafeeiro**. Campinas: IAC, 1958. p.1-13. (Boletim Informativo 104).
- GAUVRIT, C. Glyphosate response to calcium, ethoxylated amine surfactant, and ammonium sulfate. **Weed Technol.**, v.17, n.4, p.799-804, 2003.
- GAZZIERO, D.L.P.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; VARGAS, L.; KRUSE, N.D.; GALLI, A.J.B.; TREZZI, M.M. **Crerios para relatos oficiais estatísticos de bótios de**

- plantas daninhas resistentes a herbicidas.** Sete Lagoas: SBCPD, Campinas: HRAC-BR, 2008. 22p.
- GE, X.; D'AVIGNON, D.A.; ACKERMANA, J.J.H.; SAMMONS, R.D. Rapid vacuolar sequestration: the horseweed glyphosate resistance mechanism. **Pest Manag. Sci.**, v.66, n.4, p.345-348, 2010.
- GEIGER, D.R.; FUCHS, M.A. Inhibitors of aromatic amino acid biosynthesis (glyphosate). In: BÖGER, P.; WAKABAYASHI, K.; HIRAI, K. (Eds.). **Herbicide classes in development.** Berlin: Springer-Verlag, 2002. p.59-85.
- GONZÁLEZ-TORRALVA, F.; CRUZ-HIPOLITO, H.; BASTIDA, F.; MÜLLEDER, N.; SMEDA, R.J.; DE PRADO, R. Differential susceptibility to glyphosate among the *Conyza* weed species in Spain. **J. Agric. Food Chem.**, v.58, n.7, p.4361-4366, 2010.
- GOUGLER, J.A.; GEIGER, D.R. Carbon partitioning and herbicide transport in glyphosate-treated sugarbeet (*Beta vulgaris*). **Weed Sci.**, v.32, n.4, p.546-551, 1984.
- GRAVENA, R.; VICTORIA FILHO, R.; ALVES, P.L.C.A.; MAZZAFERA, P.; GRAVENA, A.R. Low glyphosate rates do not affect *Citrus limonia* (L.) Osbeck seedlings. **Pest Manag. Sci.**, v.65, n.4, p.420-425, 2009.
- GROSSBARD, E.; ATKINSON, D. **The Herbicide Glyphosate.** London: Butterworth, 1985. 490p.
- HALL, G.J.; HART, C.A.; JONES, C.A. Plants as sources of cations antagonistic to glyphosate activity. **Pest Manag. Sci.**, v.56, n.4, p.351-358, 2000.
- HARRING, T.; STREIBIG, J.C.; HUSTED, S. Accumulation of shikimic acid: a technique for screening glyphosate efficacy. **J. Agric. Food Chem.**, v.46, n.10, p.4406-4412, 1998.
- HEAP, I.M. **International survey of herbicide-resistant weeds.** Disponível em: <http://www.weedscience.org>. Acesso em: 6 Out. 2010.
- _____. The occurrence of herbicide-resistant weeds worldwide. **Pest Manag. Sci.**, v.51, n.3, p.235-243, 1999.
- _____. Identification and documentation of herbicide resistance. **Phytoprotec.**, v.75, n.1, p.85-90, 1994.

- HERNANDEZ, D.D.; ALVES, P.L.C.A.; SALGADO, T.P. Efeito da densidade e proporção de plantas de tomate industrial e de maria-pretinha em competição. **Planta Daninha**, v.20, n.2, p.229-236, 2002.
- HOAGLAND, R.E. Effects of glyphosate on metabolism of phenolic compounds: VI. Effects of glyphosine and glyphosate metabolites on phenylalanine ammonia-lyase activity, growth, and protein, chlorophyll, and anthocyanin levels in soybean (*Glycine max*) seedlings. **Weed Sci.**, v.28, n.4, p.393-400, 1980.
- IBRAHIM, A.H.; ALDESUQUY, H.S. Glycine betaine and shikimic acid – induced modification in growth criteria, water relation and productivity of droughted *Sorghum bicolor* plants, **Phyton.**, v.43, n.2, p.351-363, 2003.
- JACOB, G.S.; GARBOW, J.R.; HALLAS, L.E.; KIMACK, N.M.; KISHORE, G.M.; SCHAEFER, J. Metabolism of glyphosate in *Pseudomonas* sp. strain LBr. **Appl. Environ. Microbiol.**, v.54, n.12, p.2953-2958, 1988.
- JANG, J.; SHEEN, J. Sugar sensing in higher plants. **Plant Cell**, v.6, n.11, p.1665-1679, 1994.
- JASIENIUK, M; AHMAD, R.; SHERWOOD, A.M.; FIRESTONE, J.L.; PEREZ-JONES, A.; LANINI, W.T.; MALLORY-SMITH, C.; STEDNICK, Z. Glyphosate-resistant Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) in California: distribution, response to glyphosate, and molecular evidence for an altered target enzyme. **Weed Sci.**, v.56, n.4, p.496-502, 2008.
- JAWORKSKI, E.G. Mode of action of *N*-phosphonomethyl-glycine: inhibition of aromatic amino acid biosynthesis. **J. Agric. Food Chem.**, v.20, n.6, p.1195-1198, 1972.
- JIAO, Y.L.; LAU, O.S.; DENG, X.W. Light-regulated transcriptional networks in higher plants. **Nature Rev. Gen.**, v.8, n.3, p.217-230, 2007.
- JOB, V.; MARCONE, G.L.; PILONE, M.S.; POLLEGIONI, L. Glycine oxidase from *Bacillus subtilis*. Characterization of a new flavoprotein. **J. Biol. Chem.**, v.277, n.9, p.6985-6993, 2002a.
- JOB, V.; MOLLA, G.; PILONE, M.S.; POLLEGIONI, L. Overexpression of a recombinant wild-type and His-tagged *Bacillus subtilis* glycine oxidase in *Escherichia coli*. **Eur. J. Biochem.**, v.269, n.5, p.1456-1463, 2002b.

- JOLLEY, V.D.; HANSEN, N.C.; SHIFFLER, A.K. Nutritional and management related interactions with iron-deficiency stress response mechanisms. **Soil Sci. Plant Nutr.**, v.50, n.7, p.973-981, 2004.
- JOLLIFFE, P.A.; MINJAS, A.N.; RUNECKLES, V.C. A reinterpretation of yield relationships in replacement series experiments. **J. Appl. Ecol.**, v.21, n.1, p.227-243, 1984.
- JORGENSEN, S. S. **Metodologia utilizada para análises químicas de rotina: guia analítico**. Piracicaba: CENA, 1977. 24p.
- KISHORE, G.M.; JACOB, G.S. Degradation of glyphosate by *Pseudomonas* sp. PG2982 via a sarcosine intermediate. **J. Biol. Chem.**, v.262, n.25, p.12164-12168, 1987.
- KISSMANN, K.G. *Digitaria insularis*. In: Kissmann, K.G. **Plantas infestantes e nocivas**, Tomo I. São Paulo: BASF, 1997. p.510-513.
- KOGAN, M.; PEREZ, A. **Herbicidas**. Fundamentos fisiológicos y bioquímicos del modo de acción. Chile: EUCC/VCE, 2003. 333p.
- KOGER, C.H.; REDDY, K.N. Role of absorption and translocation in the mechanism of glyphosate resistance in horseweed (*Conyza canadensis*). **Weed Sci.**, v.53, n.1, p.84-89, 2005.
- KOGER, C.H.; SHANER, D.L.; KRUTZ, L.J.; WALKER, T.W.; BUEHRING, N. HENRY W.B.; THOMAS, W.E.; WILCUT, J.W. Rice (*Oryza sativa*) response to drift rates of glyphosate. **Pest Manag. Sci.**, v.61, n.12, p.1161-1167, 2005.
- KROSCHEL, J. **A technical manual for parasitic weed research and extension**. Dordrecht: KAP, 2001. 256p.
- KUMAR, D.; TIESZEN, L.L. Photosynthesis in *Coffea arabica*: effects of light and temperature. **Experim. Agric.**, v.16, n.1, p.13-19, 1980.
- LARCHER, W. **Physiological plant ecology**. Berlin: Springer, 2003. 513p.
- LEE, L.J.; NGIM, J. A first report of glyphosate-resistant goosegrass (*Eleusine indica* (L) Gaertn) in Malaysia. **Pest Manag. Sci.**, v.56, n.4, p.336-339, 2000.
- LEMES, L.N. **Período anterior à interferência das plantas daninhas em um cafezal em formação (*Coffea arabica* cv. Rubi)**. 68f. 2005. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo, 2005.

- LEMES, L.N.; CARVALHO, L.B.; SOUZA, M.C.; ALVES, P.L.C.A. Weed interference on coffee fruit production during a four-year investigation after planting. **African J. Agric. Res.**, v.5, n.10, p.1138-1143, 2010.
- LIU, C.M.; MCLEAN, P.A.; SOOKDEO, C.C.; CANNON, F.C. Degradation of the herbicide glyphosate by members of the family Rhizobiaceae. **Appl. Environ. Microbiol.**, v.57, n.6, p.1799-1804, 1991.
- LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil**: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas. 3.ed. Nova Odessa: Plantarum, 2000. 608p.
- LORRAINE-COLWILL, D. F.; POWLES, S. B.; HAWKES, T. R.; HOLLINSHEAD, P. H.; WARNER, S. A. J.; PRESTON, C. Investigations into the mechanism of glyphosate resistance in *Lolium rigidum*. **Pestic. Biochem. Physiol.**, v.74, n.1, p.62-72, 2003.
- LUNZ, A.M.P. **Crescimento e produtividade do cafeeiro sombreado e a pleno sol**. 95f. 2006. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 2006.
- LYDON, J.; DUKE, S.O. Glyphosate induction of elevated levels of hydroxybenzoic acids in higher plants. **J. Agric. Food. Chem.**, v.36, n.4, p.813-818, 1988.
- MACHADO, A.F.L.; FERREIRA, L.R.; FERREIRA, F.A.; FIALHO, C.M.T.; TUFFI SANTOS, L.D.; MACHADO, M.S. Análise de crescimento de *Digitaria insularis*. **Planta Daninha**, v.24, n.4, p.641-647, 2006.
- MACHADO, A.F.L.; FERREIRA, L.R.; SANTOS, L.D.T.; FERREIRA, F.A.; VIANA, R.G.; MACHADO, M.S.; FREITAS, F.C.L. Eficiência fotossintética e uso da água em plantas de eucalipto pulverizadas com glyphosate. **Planta Daninha**, v.28, n.2, p.319-327, 2010.
- MAGALHÃES, P.C.; SILVA, J.B.; DURÃES, F.O.M.; KARAM, D.; RIBEIRO, L.S. Efeito de doses reduzidas de glyphosate e paraquat simulando deriva na cultura do sorgo. **Planta Daninha**, v.19, n.2, p.255-262, 2001.
- MARCOLINI, L.W.; ALVES, P.L.C.A.; DIAS, T.C.S.; PARREIRA, M.C. Effect of density and the distance of *Brachiaria decumbens* Staff on the initial growth of *Coffea arabica*. **Coffee Sci.**, v.4, n.1, p.11-15, 2009.

- MARÍA, N.; FELIPE, M.R.; FERNÁNDEZ-PASCUAL, M. Alterations induced by glyphosate on lupin photosynthetic apparatus and nodule ultrastructure and some oxygen diffusion related proteins. **Plant Physiol. Biochem.**, v.43, n.10-11, p.985-996, 2005.
- MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.R.; ALMEIDA, S.R.; FERNANDES, D.R. **Cultura do café no Brasil**: novo manual de recomendações. Rio de Janeiro: MAPA/Procafé, 2002. 387p.
- MCCORMICK, A.J.; CRAMER, M.D.; WATT, D.A. Sink strength regulates photosynthesis in sugarcane. **New Phytol.**, v.171, n.4, p.759-770, 2006.
- MCDONALD, L.M.; MORGAN, T.; KINGSTON, G. Chemical ripeners: an opportunity for the Australian sugar industry. **Proc. Australian Soc Sugarcane Technol.**, v.22, p.290-295, 2000.
- MCWHORTER, C.G.; JORDAN, T.N.; WILL, G.D. Translocation of ¹⁴C-glyphosate in soybean (*Glycine max*) and johnsongrass (*Sorghum halepense*). **Weed Sci.**, v.28, n.1, p.113-118, 1980.
- MEDRI, M.E.; PEREZ, E.L. Aspectos da anatomia ecológica de folhas de *Hevea brasiliensis* Mell. Arg. **Acta Amazon.**, v.10, n.3, p.463-493, 1980.
- MEROTTO JÚNIOR, A.; FISCHER, A.J.; VIDAL, R.A. Perspectives for using light quality knowledge as an advanced ecophysiological weed management tool. **Planta Daninha**, v.27, n.2, p.407-419, 2009.
- MESCHEDE, D.; CARBONARI, C.; VELINI, E.D. Efeito de subdoses de glyphosate sobre o crescimento e desenvolvimento de *Commelina bengalensis*. In: I SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GLYPHOSATE, 2007. **Anais...** Botucatu: FEPA, 2007. p.65-67.
- MICHITTE, P.; DE PRADO, R.; ESPINOZA, N.; RUIZ-SANTAELLA, J.P.; GAUVRIT, C. Mechanisms of resistance to glyphosate in a ryegrass (*Lolium multiflorum*) biotype from Chile. **Weed Sci.**, v.55, n.5, p.435-440, 2007.
- MOLDES, C.A.; MEDICI, L.O.; ABRAHÃO, O.S.; TSAI, S.M.; AZEVEDO, R.A. Biochemical responses of glyphosate resistant and susceptible soybean plants exposed to glyphosate. **Acta Physiol. Plant.**, v.30, n.4, p.469-479, 2008.
- MORAIS, H.; MARUR, C.J.; CARAMORI, P.H.; KOGUISHI, M.S.; GOMES, J.C.; RIBEIRO, A.M.A. Desenvolvimento de gemas florais, florada, fotossíntese e

- produtividade de cafeeiros em condições de sombreamento. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.43, n.4, p.465-472, 2008.
- MORAIS, H.; MARUR, C.J.; CARAMORI, P.H.; RIBEIRO, A.M.A.; GOMES, J.C. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.38, n.10, p.1131-1137, 2003.
- MORRÉ, D.J. Chemical hormesis in cell growth: a molecular target at the cell surface. **J. Appl. Toxicol.**, v.20, n.2, p.157-163, 2000.
- NANDULA, V.K.; REDDY, K.N.; POSTON, D.H.; RIMANDO, A.M.; DUKE, S.O. Glyphosate tolerance mechanism in Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) from Mississippi. **Weed Sci.**, v.56, n.3, p.344-349, 2008.
- NELSON, S.C. **Glyphosate injury to coffee plants**. 5p. Honolulu: University of Hawaii, 2008. (Plant Disease; PD-56).
- NEUMANN, G.; KOHLS, S.; LANDSBERG, E.; SOUZA, K.S.O.; YAMADA, T.; RÖMHELD, V. Relevance of glyphosate transfer to non-target plants via the rhizosphere. **J. Plant Dis. Prot.**, v.20, p.963-970, 2006. (Número especial).
- NEVE, P.; POWLES, S.B. High survival frequencies at low herbicide use rates in populations of *Lolium rigidum* result in rapid evolution of herbicide resistance. **Heredity**, v.95, n.6, p.485-92, 2005a.
- NEVE, P.; POWLES, S.B. Recurrent selection with reduced herbicide rates results in the rapid evolution of herbicide resistance in *Lolium rigidum*. **Theor. Appl. Genet.**, v.110, n.6, p.1154-1166, 2005b.
- NEVE, P.; SADLER, J.; POWLES, S.B. Multiple herbicide resistance in a glyphosate-resistant rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) biotype. **Weed Sci.**, v.52, n.6, p.920-928, 2004.
- NEVES, D.C.; FULANI JÚNIOR, E.; VALÉRIO FILHO, V.V. Hormese no crescimento do algodoeiro por subdoses de glifosato. In. CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 7, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Embrapa, 2009. CD-Rom.
- NOMURA, N.S.; HILTON, H.W. The absorption and degradation of glyphosate in five Hawaiian sugarcane soils. **Weed Res.**, v.17, n.2, p.113-121, 1977.

- NORSWORTHY, J.K.; BURGOS, N.R.; OLIVER, L.R. Differences in weed tolerance to glyphosate involved different mechanisms. **Weed Technol.**, v.15, n.4, p.725-731, 2001.
- NUNES, M.A.; RAMALHO, J.D.C.; DIAS, M.A. Effects of light and photosynthetic performance of leaves from coffee plants exposed to bright light. **J. Experim. Bot.** v.44, n.262, p.893-899, 1993.
- OLESEN, C.F.; CEDERGREEN, N. Glyphosate uncouples gas exchange and chlorophyll fluorescence. **Pest Manag Sci.**, v.66, n.5, p.536-542, 2010.
- OLIVEIRA, A.R.; FREITAS, S.P.; VIEIRA, H.D. Interferência de trapoerabas no desenvolvimento de mudas de café. **Agron.**, v.39, n.1-2, p.17-21, 2005.
- OZTURK, L.; YAZACI, A.; EKER, S.; GOKMEN, O.; RÖMHELD, V.; CAKMAK, I. Glyphosate inhibition of ferric reductase activity in iron deficient sunflower roots. **New Phytol.**, v.177, n.4, p.899-906, 2008.
- PEDOTTI, M.; ROSINI, E.; MOLLA, G.; MOSCHETTI, T.; SAVINO, C.; VALLONE, B.; POLLEGIONI, L. Glyphosate resistance by engineering the flavoenzyme glycine oxidase. **J. Biol. Chem.**, v.284, n.52, p.36415-36423, 2009.
- PEGO, J.V.; KORTSTEE, A.J.; HUIJSER, G.; SMEEKENS, S.G.M. Photosynthesis, sugars and the regulation of gene expression. **J. Exp. Bot.**, v.51, p.407-416, 2000. (Número suplementar 1).
- PEREZ, A.; KOGAN, M. Glyphosate-resistant *Lolium multiflorum* in Chilean orchards. **Weed Res.**, v.43, n.1, p.12-19, 2003.
- PEREZ-JONES, A.; PARK, K.W.; COLQUHOUN, J.; MALLORY-SMITH, C.; SHANER, D. Identification of glyphosate-resistant Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) in Oregon. **Weed Sci.**, v.53, n.6, p.775-779, 2005.
- PEREZ-JONES, A.; PARK, K.W.; POLGE, N.; COLQUHOUN, J.; MALLORY-SMITH, C.A. Investigating the mechanisms of glyphosate resistance in *Lolium multiflorum*. **Planta**, v.226, n.2, p.395-404, 2007.
- PERRONE, D.; FARAH, A.; DONANGELO, C.M.; PAULIS, T.; MARTIN, P.R. Comprehensive analysis of major and minor chlorogenic acids and lactones in economically relevant Brazilian coffee cultivars. **Food Chem.**, v.106, n.2, p.859-867, 2008.

- PIPKE, R., AMRHEIN, N.; JACOB, G.S.; SCHAEFER, J.; KISHORE, G.M. Metabolism of glyphosate in an *Arthrobacter* sp. GLP-1. **Eur. J. Biochem.**, v.165, n.2, p.267-273, 1987.
- PITELLI, R.A. Interferências de plantas daninhas em culturas agrícolas. **Inf. Agropec.**, v.11, n.1, p.16-27, 1985.
- PITELLI, R.A.; MARCHI, S.R. Interferência das plantas invasoras nas áreas de reflorestamento. In.: SEMINÁRIO TÉCNICO SOBRE PLANTAS DANINHAS E O USO DE HERBICIDAS EM REFLORESTAMENTO, 1, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro:IPEF, 1991. p.110-123.
- PLINE-SRNIC, W. Physiological mechanisms of glyphosate resistance. **Weed Tech.**, v.20, n.2, p.290-300, 2006.
- POOLE, M.L.; GILL, G.S. Competition between crops and weeds in Southern Australia. **Plant Prot. Quart.**, v.2, n.1, p.86-96, 1987.
- POWLES, S.B. Evolved glyphosate-resistant weeds around the world: lessons to be learnt. **Pest Manag. Sci.**, v.64, n.4, p.360-365, 2008.
- POWLES, S.B.; PRESTON, C. Evolved glyphosate resistance in plants: biochemical and genetic basis of resistance. **Weed Technol.**, v.20, n.2, p.282-289, 2006.
- POWLES, S.B.; YU, Q. Evolution in action: plants resistant to herbicides. **Annu. Rev. Plant Biol.**, v.61, p.317347, 2010.
- PRESTON, C.; WAKELIN, A.M.. Resistance to glyphosate from altered herbicide translocation patterns. **Pest Manag. Sci.**, v.64, n.4, p.372-376, 2008.
- PRESTON, C.; WAKELIN, A.M.; DOLMAN, F.C.; BOSTAMAM, Y.; BOUTSALIS, P. A decade of glyphosate-resistant *Lolium* around the world: mechanisms, genes, fitness, and agronomic management. **Weed Sci.**, v.57, n.4, p.435-441, 2009.
- PURRINGTON, C.B.; BERGELSON, J. Exploring the physiological basis of costs of herbicide resistance in *Arabidopsis thaliana*, **Am. Nat.**, v.154, n.1, p.S82-S91, 1999.
- PUTNAM, A.R.; TANG, C.S. (Eds.). **The science of allelopathy**. New York: John Willey, 1986. p.203-218,
- QASEM, J.R. Nutrient accumulation by weeds and their associated vegetable crops. **J. Hortic. Sci.**, v.67, n.2, p.189-195, 1992.

- RABELLO, W.S.; CAMPANHARO, M.; OGLIARI, J.; RIBEIRO, G.; MONNERAT, P.H. Efeito do glyphosate no conteúdo de fósforo em feijoeiro comum. In.: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 13, e ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 9, 2010. **Anais...** São José dos Campos: UNIVAP. 2010. CD-Rom.
- RADOSEVICH, S.R. Methods to study interactions among crops and weeds. **Weed Technol.**, v.1, n.3, p.190-198, 1987.
- RADOSEVICH, S.R.; HOLT, J.; GHERSA, C. **Weed ecology**: implication for managements. New York: John Wiley & Sons, 1997. 589p.
- RAJCAN, I.; CHANDLER, K.J.; SWANTON, C.J. Red far-red ratio of reflected light: a hypothesis of why early season weed control is important in corn. **Weed Sci.**, v.52, n.5, p.774-778, 2004.
- REDDY, K.N.; RIMANDO, A.M.; NANDULA, V.K. Aminomethylphosphonic acid accumulation in plant species treated with glyphosate. **J. Agric. Food. Chem.**, v.56, n.6, p.2125-2130, 2008.
- RIBEIRO, D.N.; GIL, D.; CRUZ-HIPOLITO, H.E.; RUIZ-SANTAELLA, J.P.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; VIDAL, R.A.; DE PRADO, R. Rapid assays for detection of glyphosate-resistant *Lolium* spp. **J. Plant Des. Protec.**, v.21, n.1, p.95-100, 2008.
- RICE, E.L. **Allelopathy**. 2.ed. New York: Academic Press, 1974. 353p.
- RODRIGUES, G.J.; TEIXEIRA, M.M.; FERREIRA, L.R.; FERNANDES, H.C. Eficiência de uma barra de pulverização para aplicação de herbicida em lavouras de café em formação. **Planta Daninha**, v.21, n.4, p.459-465, 2003.
- ROEMHELD, V.; GULDNER, M.; YAMADA, T.; OZTURK, L.; CAKMAK, I.; NEUMANN, G. Relevance of glyphosate in the rhizosphere of non-target plants in orchards for plant health. **Proc. Int. Plant Nutr. Colloq.**, v.15, p.476-477, 2005.
- ROIDER, C.A.; GRIFFIN, J.L.; HARRISON, S.A.; JONES, C.A. Carrier volume affects wheat responses to simulated glyphosate drift. **Weed Technol.**, v.22, n.3, p.453-458, 2008.
- _____. Wheat response to simulated glyphosate drift. **Weed Technol.**, v.21, n.4, p.1010-1015, 2007.

- ROJANO-DELGADO, A.M.; RUIZ-JIMÉNEZ, J.; CASTRO, M.D.L.; DE PRADO, R. Determination of glyphosate and its metabolites in plant material by reversed-polarity CE with indirect absorptiometric detection. **Electroph.**, v.31, n.8, p.1423-1430, 2010.
- RONCHI, C.P.; SILVA, A.A. Tolerância de mudas de café a herbicidas aplicados em pós-emergência. **Planta Daninha**, v.21, n.3, p.421-426, 2003.
- _____. Effects of weed species competition on the growth of young coffee plants. **Planta Daninha**, v.24, n.3, p.415-423, 2006.
- _____. Weed control in young coffee plantations through post emergence herbicide application onto total area. **Planta Daninha**, v.22, n.4, p.607-615, 2004.
- RONCHI, C.P.; SILVA, A.A.; FERREIRA, L.R. **Manejo de plantas daninhas em lavouras de café**. Viçosa: SGE, 2001. 94p.
- RONCHI, C.P.; TERRA, A.A.; SILVA, A.A. Growth and nutrient concentration in coffee root system under weed species competition. **Planta Daninha**, v.25, n.4, p.679-687, 2007.
- RONCHI, C.P.; TERRA, A.A.; SILVA, A.A.; FERREIRA, L.R. Acúmulo de nutrientes pelo cafeeiro sob interferência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v.21, n.2, p.219-227, 2003.
- RUEPPEL, M.L.; BRIGHTWELL, B.B.; SCHAEFER, J.; MARVEL, J.T. Metabolism and degradation of glyphosate in soil and water. **J. Agric. Food Chem.**, v.25, n.3, p.517-528, 1977.
- SANTOS, B.M.; GILREATH, J.P.; ESMEL, C.E.; SIHAM, M.N. Effects of sublethal glyphosate rates on fresh market tomato. **Crop Protec.**, v.26, n.2, p.89-91, 2007.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1974. 56p.
- SBCPD – Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas daninhas. **Identificação e manejo de plantas daninhas resistentes aos herbicidas**. SBCPD: Londrina, 2000. 32p.
- SCHABENBERGER, O.; KELLS, J.J.; PENNER, D. Statistical tests for hormesis and effective dosage in herbicide dose–response. **Agron. J.**, v.91, n.4, p.713-721, 1999.
- SCHUETTE, J. **Environmental fate of glyphosate**. Sacramento: DPR, 1998. 13p.

- SCHULZE, E.D.; HALL, A.E. Stomatal responses, water loss and CO₂ assimilation rates of plants in contrasting environments. In: LANGE, O.L.; NOBEL, P.S.; OSMOND, C.B.; ZIEGLER, H. (Eds.). **Physiological Plant Ecology**: II. Water relations and carbon assimilation. Berlin: Spring-Verlag, 1982. p.181-229.
- SHANER, D.L. The role of translocation as a mechanism of resistance to glyphosate. **Weed Sci.**, v.57, n.1, p.118-123, 2009.
- SHARKEY, T.D.; BERNACCHI, C.J.; FARQUHAR, G.D.; SINGSAAS, E.L. Fitting photosynthetic carbon dioxide response curves for C-3 leaves. **Plant Cell. Environ.**, v.30, n.9, p.1035-1040, 2007.
- SHINABARGER, D.L.; SCHMITT, E.K.; BRAYMER, H.D.; LARSON, A.L. Phosphonate utilization by the glyphosate-degrading *Pseudomonas* sp. strain PG2982. **Appl. Environ. Microbiol.**, v.48, n.5, p.1049-1050, 1984.
- SILVA, A.A.; RONCHI, C.P. Avanços nas pesquisas sobre o controle de plantas daninhas na cultura do café. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Produção integrada de café**. Viçosa: UGV, 2003. p.103-132.
- SILVA, A.F.; CONCENÇO, G.; ASPIAZÚ, I.; FERREIRA, E.A.; GALON, L.; COELHO, A.T.C.P.; SILVA, A.A.; FERREIRA, F.A. Interferência de plantas daninhas em diferentes densidades no crescimento da soja. **Planta Daninha**, v.27, n., p.75-84, 2009.
- SILVA, L.; MARCHIORI, P.E.R.; MACIEL, C.P.; MACHADO, E.C.; RIBEIRO, R.V. Fotossíntese, relações hídricas e crescimento de cafeeiros jovens em relação à disponibilidade de fósforo. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.45, n.9, p.965-972, 2010.
- SILVA, S.; SIQUEIRA, J.O.; SOARES, C.R.F.S. Fungos micorrízicos no crescimento e na extração de metais pesados pela braquiária em solo contaminado. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.41, n.12, p.1749-1757, 2006.
- SIMARMATA, M.; PENNER, D. The basis for glyphosate resistance in rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) from California. **Weed Sci.**, v.56, n.2, p.181-188, 2008.
- SINGH, B.K.; SHANER, D.L. Rapid determination of glyphosate injury to plants and identification of glyphosate-resistant plants. **Weed Technol.**, v.12, n.3, p.527-530, 1998.

- SINGH, B.N.; SINGH, L.B. Relative absorption of nutrients by weeds of arable land. **Soil Sci.**, v.47, n.3, p.227-235, 1939.
- SMITH, S.E.; READ, D.J. **Mycorrhizal symbiosis**. London: Academic Press, 1997. 589p.
- SOARES, C.R.F.S. **Fosfato e micorriza arbuscular na toxicidade de metais pesados para a trema (*Trema micrantha* (L.) Blum.) e braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.)**. 143p. 2004. Tese (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2004.
- SPRANKLE, P.; MEGGITT, W.F.; PENNER, D. Adsorption, mobility and microbial degradation of glyphosate in the soil. **Weed Sci.**, v.23, n.3, p.229-234, 1975.
- SPURRIER, E.C. Glyphosate: a new broad spectrum herbicide. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, v.19, p.607-612, 1973.
- SU, L.Y.; CRUZ, A.D.; 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.
- SWORD, M.A.; TIARKS, A.E.; HAYWOOD, J.D. Establishment treatments affect the relationships among nutrition, productivity and competing vegetation of loblolly pine saplings on a Gulf Coastal Plain site. **For. Ecol. Manag.**, v.105, n.2, p.175-188, 1998.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Sunderland: Sinauer, 2006. 705p.
- TAKANO, M.; KANEGAE, H.; SHINOMURA, T.; MYIAO, A.; HIROCHIKA, H.; FURUYA, M. Isolation and characterization of rice phytochrome A mutants. **Plant Cell.**, v.13, n.3, p.521-534, 2001.
- TAN, S. Herbicidal inhibitors of amino acid biosynthesis and herbicide-tolerant crops. **Amino Acids**, v.30, n.2, p.195-204, 2006.
- THELEN, K.D.; JACKSON, E.P.; PENNER, D. The basis for the hard-water antagonism of glyphosate activity. **Weed Sci.**, v.43, n.4, p.541-548, 1995.
- TIMOSSI, P.C. Manejo de rebrotes de *Digitaria insularis* no plantio direto de milho. **Planta Daninha**, v.27,n.1, p.175-179, 2009.

- TIMOSSI, P.C.; LEITE, G.J.; DURIGAN, J.C. Eficácia de glyphosate em plantas de cobertura. **Planta Daninha**, v.24, n.3, p.475-480, 2006.
- TOLEDO, R.E.B.; DINARDO, W.; BEZUTTE, B.J.; ALVES, P.L.C.A.; PITELLI, R.A. Efeito da densidade de plantas de *Brachiaria decumbens* Stapf sobre o crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden. **Sci. Forest.**, v.60, n.1, p.109-117, 2001.
- TRISTAO, F.S.M.; ANDRADE, S.A.L.; SILVEIRA, A.P.D. Fungos micorrízicos arbusculares na formação de mudas de cafeeiro, em substratos orgânicos comerciais. **Bragantia**, v.65, n.4, p.649-658, 2006.
- TUFFI SANTOS, L.D.; FERREIRA, F.A.; FERREIRA, L.R.; DUARTE, W.M.; TIBURCIO, R.A.S.; SANTOS, M.V.V. Intoxicação de espécies de eucalipto submetidas à deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, v.24, n.2, p.359-364, 2006.
- UNDABEYTIA, T.; MORILLO, E.; MAQUEDA, C. FTIR study of glyphosate-copper complexes. **J. Agric. Food Chem.**, v.50, n.7, p.1918-1921, 2002.
- VALÉRIO, I.P.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; MACHADO, A.A.; BENIN, G.; SCHEEREN, P.L.; SOUZA, V.Q.; HARTWIG, I. Desenvolvimento de afilhos e componentes do rendimento em genótipos de trigo sob diferentes densidades de semeadura. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.43, n.3, p.319-326, 2008.
- VELINI, E.D.; ALVES, E.; GODOY, M.C.; MESCHEDE, D.K.; SOUZA, R.T.; DUKE, S.O. Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. **Pest Manag. Sci.**, v.64, n.4, p.489-496, 2008.
- VELINI, E.D.; TRINDADE, M.L.B.; BARBERIS, L.R.M.; DUKE, S.O. Growth regulation and other secondary effects of herbicides. **Weed Sci.**, v.58, n.3, p.351-354, 2010.
- VILA-AIUB, M.M.; BALBI, M.C.; GUNDEL, P.E.; GHERSA, C.M.; POWLES, S.B. Evolution of glyphosate-resistant Johnsongrass (*Sorghum halepense*) in glyphosate-resistant soybean. **Weed Sci.**, v.55, n.6, p.566-571, 2007.
- VITTI, G.C. **Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta**. Jaboticabal: FUNEP, 1989. 37p.
- WAGNER R; KOGAN, M.; PARADA, A.M. Phytotoxic activity of root absorbed glyphosate in corn seedlings (*Zea mays* L.). **Weed Biol. Manag.**, v.3, n.4, p.228-232, 2003.

- WAGNER JÚNIOR, A.; TUFFI SANTOS, L.D.; SANTOS, C.E.M.; SILVA, J.O.C.; PIMENTEL, L.D.; BRUCKNER, C.H.; FERREIRA, F.A. Deriva simulada de formulações comerciais de glyphosate sobre maracujazeiro amarelo. **Planta Daninha**, v.26, n.3, p.677-683, 2008.
- WAKELIN, A.M.; LORRAINE-COLWILL, D.F.; PRESTON, C. Glyphosate resistance in four different population of *Lolium rigidum* is associated with reduced translocation of glyphosate to meristematic zones. **Weed Res.**, v.44, n.6, p.453-459, 2004.
- WAKELIN, A.M.; PRESTON, C. Inheritance of glyphosate resistance in several populations of rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) from Australia. **Weed Sci.**, v.54, n.2, p.212-219, 2006.
- WEAVER, L.M.; HERRMANN, K.M. Dynamics of the shikimate pathway in plants. **Trends Plant Sci.**, v.2, n.9, p.346-351, 1997.
- WEBER, A.P.M. in: R.R. WISE; HOOBER, J.K. (Eds.). **The Structure and function of plastids**. Dordrecht: Springer, 2006. p.273-292.
- WEYERS, J.D.B.; PATERSON, N.W. Plant hormones and the control of physiological processes. **New Phytol.**, v.152, n.3, p.375-407, 2001.
- WIEDMAN, S.J.; APPLEBY, A.P. Plant growth stimulation by sublethal concentrations of herbicides. **Weed Res.**, v.12, n.1, p.65-74, 1972.
- WIERSEMA, R.; BURNS, M.; HERSHBERGER, D. **Glyphosate pathway map**. University of Minnesota, 2010. Disponível em: http://umbbd.msi.umn.edu/gly/gly_map.html. Acesso em: 10 nov. 2010.
- YAMASHITA, O.M.; GUIMARAES, S.C. Deriva simulada de glyphosate em algodoeiro: efeito de dose, cultivar e estágio de desenvolvimento. **Planta Daninha**, v.24, n.4, p.821-826, 2006.
- YU, Q.; CAIRNS, A.; POWLES, S. Glyphosate, paraquat and ACCase multiple herbicide resistance evolved in a *Lolium rigidum* biotype. **Planta**, v.225, n.2, p.499-513, 2007.
- ZABLOTOWICZ, R.M.; REDDY, K.N. Nitrogenase activity, nitrogen content, and yield responses to glyphosate in glyphosate-resistant soybean. **Crop Prot.**, v.26, n.3, p.370-376, 2007.

- ZIMDAHL, R.L. **Weed-crop competition**: a review. 2.ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2004. 220p.
- ZOBIOLE, L.H.S.; KREMER, R.J.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.S.; CONSTANTIN, J. Glyphosate affects photosynthesis in first and second generation of glyphosate-resistant soybeans. **Plant Soil**, v.336, n.1-2, p.251-265, 2010a.
- ZOBIOLE, L.H.S.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.S.; KREMER, R.J.; CONSTANTIN, J.; BONATO, C.M.; MUNIZ, A.S. Water use efficiency and photosynthesis of glyphosate-resistant soybean as affected by glyphosate. **Pest. Biochem. Physiol.**, v.97, n., p.182-193, 2010b.
- ZOBIOLE, L.H.S.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.S.; KREMER, R.J.; MUNIZ, A.S.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. Nutrient accumulation and photosynthesis in glyphosate-resistant soybeans is reduced under glyphosate use. **J. Plant Nut.**, v.33, n.12, p.1860-1873, 2010c.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Padronização das medidas para avaliação de características fotossintéticas do cafeeiro

A padronização das medidas para avaliação da fluorescência da clorofila *a* foi feita por meio de experimentos preliminares, constando da determinação do *tempo padrão de adaptação ao escuro* e do *fluxo padrão de fótons*.

Determinação do tempo padrão de adaptação ao escuro e do fluxo padrão de fótons

Mudas de cafeeiro cultivar Catuaí Vermelho IAC-144, com cinco pares de folhas totalmente expandidas, foram colocadas em câmara de crescimento utilizando-se do fotoperíodo de 14/10 h de claro/escuro, em intensidade de radiação fotossinteticamente ativa de $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A temperatura foi controlada em $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. As mudas foram mantidas em aclimação na câmara de crescimento por uma semana, antes das avaliações.

Decorrido o período de aclimação, foi feita, inicialmente, a caracterização da eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) de todas as folhas do cafeeiro, em ambos os lados do limbo foliar, utilizando fluorômetro (Hansatech, PEA-MK2, Inglaterra). Inicialmente, procurou-se estabelecer uma unidade foliar padrão em que seria mensurada a fluorescência da clorofila *a*. Para isso, as medições de F_v/F_m foram feitas utilizando o fluxo de fótons de $450 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, com tempo de escuro de 30 min e tempo de emissão de fótons de 5 s.

O teste F foi não-significativo ($P > 0,05$) quando se testou diferenças entre os lados direito e esquerdo da folha, a folha 1 e 2 do par de folhas alternas do cafeeiro e o valor médio geral para cada par de folha do cafeeiro (dados não apresentados). Isto indicou que, estatisticamente, qualquer folha escolhida poderia ser usada para quantificar F_v/F_m , sem diferença significativa. Contudo, de maneira geral, ambos os lados do limbo foliar das duas folhas dos três primeiros pares de folhas apresentaram valores absolutos de F_v/F_m mais altos que aqueles do quarto e quinto pares de folhas

(Figura 1A). Além disso, em média, o terceiro par de folhas apresentou valor absoluto de Fv/Fm maior que as demais, com menor erro padrão (Figura 1B). Por esses motivos, o terceiro par de folhas foi escolhido como unidade foliar padrão para as avaliações da fluorescência da clorofila *a*.

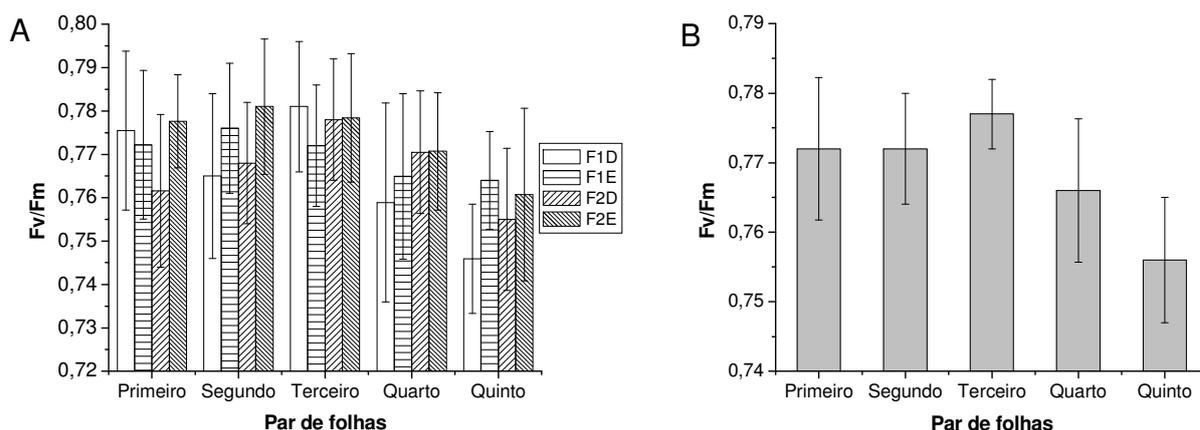


Figura 1A. Eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) de cada folha (A) e da média de cada par de folhas (B) do cafeeiro. Jaboticabal, 2008.

Determinada a unidade foliar padrão, em seguida, procurou-se estabelecer o *tempo padrão de adaptação ao escuro*. Para isso, as medições de Fv/Fm foram feitas, utilizando o fluxo de fótons de $450 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e tempo de emissão de fótons de 5 s.

De maneira geral, os valores de Fv/Fm tornaram-se constantes após 12 min de escuro (Figura 2A), indicando que, após esse período, a eficiência quântica do fotossistema II é máxima. Assim, o *tempo padrão de adaptação ao escuro* foi estabelecido em 15 min para as avaliações da fluorescência da clorofila *a* do cafeeiro.

Por fim, procurou-se estabelecer o *fluxo padrão de fótons*. Para isso, as leituras foram feitas, utilizando-se do *tempo padrão de adaptação ao escuro*, previamente determinado, e do tempo de emissão de fótons de 5 s.

De maneira geral, os valores de Fv/Fm tornaram-se constantes após $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 3A), indicando que, após esse fluxo de fótons, a eficiência quântica do fotossistema II é máxima. Assim, o *fluxo padrão de fótons* foi estabelecido em $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para as avaliações da fluorescência da clorofila *a* do cafeeiro.

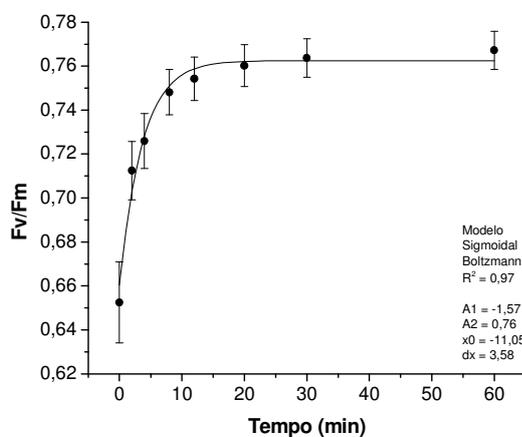


Figura 2A. Eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) da unidade foliar padrão do cafeeiro em relação ao tempo de adaptação ao escuro. Jaboticabal, 2008.

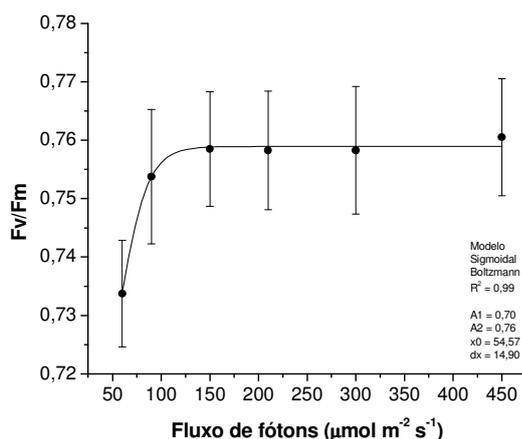


Figura 3A. Eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) da unidade foliar padrão do cafeeiro em relação ao fluxo de fótons incidente. Jaboticabal, 2008.

A padronização das medidas para avaliação das características fotossintéticas de taxa fotossintética, taxa de transpiração, condutância estomática e concentração interna de CO_2 na folha do cafeeiro foi realizada ao final do desenvolvimento do experimento descrito no Capítulo 2, analisando-se plantas de café mantidas sem convivência com o capim-amargoso durante todo o período experimental. Essa padronização constou da determinação da *radiação fotossinteticamente ativa padrão* para a cultivar de cafeeiro utilizada nos experimentos.

Determinação da radiação fotossinteticamente ativa padrão

Caracterizou-se o fluxo de CO₂ no terceiro par de folhas do cafeeiro, em resposta a crescentes fluxos de radiação fotossinteticamente ativa, visando estabelecer a quantidade de luz necessária para saturar a absorção de CO₂ pela cultura. As leituras foram feitas utilizando-se do analisador de gás por sensor infravermelho – IRGA (Li-Cor, LI-6400, EUA).

As avaliações ocorreram entre 8h00 e 10h00, em ambos os experimentos, sendo que concentração de CO₂ de referência variou de 369 a 389 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Além disso, a temperatura da folha foi pré-fixada em 25 °C. As leituras foram feitas em sete plantas, sendo avaliadas duas folhas por planta.

A saturação da absorção de CO₂ por plantas de cafeeiro ocorreu entre as radiações de 400 e 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 4A). Assim, optou-se por um valor próximo a 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para as medições relativas às taxas de fotossíntese e transpiração, condutância estomática e concentração interna de CO₂ na folha. O valor estabelecido para a *radiação fotossinteticamente ativa padrão* foi de 522 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Essas medições foram realizadas um dia antes das demais avaliações que estão descritas no item Material e Métodos do Capítulo 2.

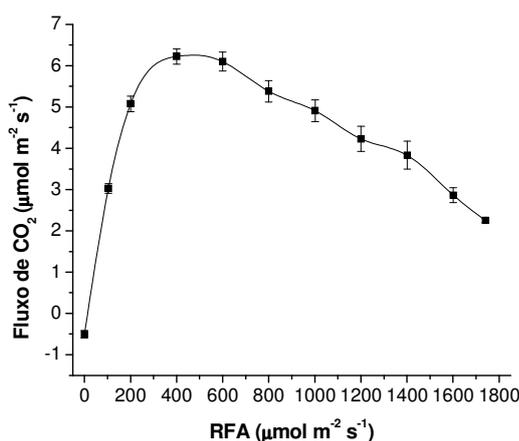


Figura 4A. Variação do fluxo de CO₂ em folhas de cafeeiro em função de diferentes fluxos de fótons. Jaboticabal, 2009

APÊNDICE B – Imagens



Figura 1B. Efeitos visuais de intoxicação aos 30 dias após aplicação de glyphosate, em plantas de cafeeiro com 45 dias após o transplante. Jaboticabal, 2009-10.

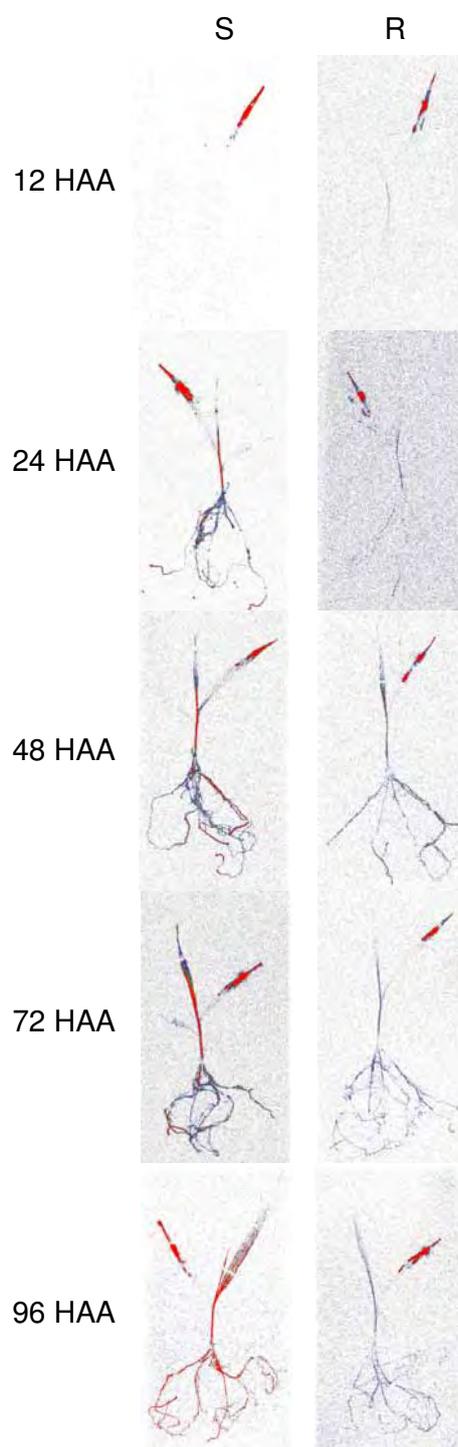


Figura 2B. Imagens de translocação da radioatividade em biótipos susceptível (S) e resistente (R) de capim-amargoso até 96 horas após a aplicação (HAA). Córdoba, 2010.