

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

HORMESIS DE HERBICIDAS EM SOJA

FERDINANDO MARCOS LIMA SILVA

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU-SP

Maio – 2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

HORMESIS DE HERBICIDAS EM SOJA

FERDINANDO MARCOS LIMA SILVA

Orientador: Prof. Dr. Edivaldo Domingues Velini

Coorientadores: Dr. Stephen Oscar Duke

Dr. Franck Emmanuel Dayan

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU-SP

Maio - 2014

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA LAGEADO- BOTUCATU (SP)

S586h Silva, Ferdinando Marcos Lima, 1981-
 Hormesis de herbicidas em soja / Ferdinando Marcos Lima. - Botucatu : [s.n.], 2014
 vi, 77 f. : ils. color., grafs., tabs.

 Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2014
 Orientador: Edivaldo Domingues Velini
 Coorientador: Stephen O. Duke
 Coorientador: Franck E. Dayan
 Inclui bibliografia

 1. Soja. 2. Plantas - Efeito dos herbicidas. 3. Resistência a herbicidas. I. Velini, Edivaldo Domingues. II. Duke, Stephen O. III. Dayan, Franck E. IV. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu. V. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

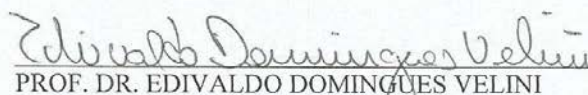
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "HORMESIS DE HERBICIDAS EM SOJA"

ALUNO: FERDINANDO MARCOS LIMA SILVA

ORIENTADOR: PROF. DR. EDIVALDO DOMINGUES VELINI

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. EDIVALDO DOMINGUES VELINI



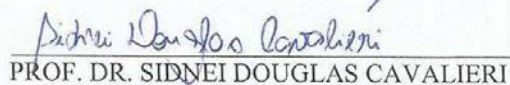
PROF. DR. CAIO ANTONIO CARBONARI



PROF. DR. ANTONIO LUIZ CERDEIRA



PROF. DR. MARCELO DE ALMEIDA SILVA



PROF. DR. SIDNEI DOUGLAS CAVALIERI

Data da Realização: 23 de maio de 2.014.

Meu Senhor e meu Deus, tome tudo de mim que me afasta de Ti

Meu Senhor e meu Deus, dê-me tudo que me leva a Ti

Meu Senhor e meu Deus, tome-me todo e faça-me todo Teu.

São Nicolau de Flüe

À MINHA MÃE,

MARIA DE LOURDES LIMA SILVA,

Por todo apoio e tudo que fez por mim e minhas irmãs.

OFEREÇO

À DANIELA E EMILY APARECIDA LIMA SILVA

Por serem a luz de minha vida. Tudo que faço é por vocês.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida.

Ao Prof. Dr. Edivaldo Domingues Velini, pela orientação, conselhos, possibilidade de desenvolver esse projeto e incentivos transmitidos;

Ao Dr. Stephen Duke e Dr. Franck Dayan, pela coorientação e por terem me recebido de forma fantástica em seu laboratório, dando todo o suporte necessário para desenvolver parte dos trabalhos aqui apresentados e outros mais;

Aos amigos que de alguma forma me ajudaram em alguma parte desta tese: Mateus Donegá, Luiz Rosa, Sonia Queiroz, Natália Corniani, Rodrigo Barberis;

Aos amigos do NUPAM: José Guilherme Cordeiro, José Roberto M. Silva e Marcelo Siono pelas valiosas colaborações;

Aos funcionários e pesquisadores do USDA que muito me ajudaram: Dr. Charles Cantrell, Robert Johnson, Susan Watson, Solomon Green III e Amber Reichley;

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia / Agricultura, e à Faculdade de Ciências Agrônômicas, pela oportunidade e formação;

À Capes, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela bolsa de doutorado e doutorado Sanduíche.

SUMÁRIO

	Página
1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO	5
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	8
4.1 Hormesis	8
4.2 O herbicida glyphosate.....	11
4.3 Efeitos Secundários do Glyphosate.....	14
4.4 Efeitos secundários de outros herbicidas.....	17
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
5.1 Estudos com Glyphosate.....	24
5.1.1 Estudo 1 - Brasil	24
5.1.2 Estudo 2 – EUA.....	27
5.2 Estudo com outros herbicidas	29
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
6.1. Glyphosate	32
6.1.1. Estudo 1 – Brasil.....	32
6.1.2. Estudo 2 – EUA.....	40
6.2. Outros herbicidas	45
7 CONCLUSÕES	55
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

1 RESUMO

O efeito benéfico de subdoses de substâncias tóxicas é conhecido há muito tempo e este fenômeno é chamado de hormesis. Em agricultura, muitos são os casos de herbicidas que em doses normais causam severas injúrias nas plantas, mas que em doses muito baixas promovem o crescimento de estruturas das plantas ou promovem outros efeitos benéficos, como aumento do teor de proteína em plantas. Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito de hormesis dos herbicidas glyphosate, amicarbazone, mesotrione, imazapic e carfentrazone em soja, além de explorar se o efeito de hormesis na soja é afetado por um pré-tratamento com baixas doses de glyphosate e mais tarde exposta às mesmas doses ou doses maiores. Para isso, três experimentos distintos foram conduzidos, sendo que no primeiro, sete doses do herbicida glyphosate (0; 1,8; 3,6; 7,2; 36; 180 e 720 g e.a.ha⁻¹) foram aplicadas sobre as plantas de soja e avaliadas quanto à taxa de transporte de elétrons (ETR), acúmulo de compostos químicos alterados em função da ação do glyphosate (ácido chiquímico, ácido benzoico, ácido salicílico, AMPA, fenilalanina, tirosina e triptofano) e massa de matéria seca das plantas. No segundo experimento, foi feito um pré-tratamento das plantas com subdoses do glyphosate (0; 1,8; 3,6 e 7,2 g e.a. ha⁻¹) no estágio V2 e 14 dias após esta aplicação, as plantas receberam uma segunda aplicação de diferentes doses do glyphosate (0; 1,8; 3,6; 7,2; 36; 180 e 720 g e.a. ha⁻¹) e posteriormente avaliadas quanto ao acúmulo de massa de matéria seca e ácido chiquímico. No terceiro experimento, foram testadas uma completa curva de dose-resposta dos herbicidas amicarbazone, mesotrione,

imazapic e carfentrazone sobre plantas de soja e avaliadas a ETR das plantas e a massa de matéria seca. Os resultados indicaram que em baixas doses o glyphosate estimulou a ETR e aumentou a biomassa. Os compostos da rota do ácido chiquímico como o ácido benzoico e salicílico apresentaram, respectivamente, incrementos de 203 e 170% na subdose de 3,6 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate e para os aminoácidos fenilalanina, tirosina e triptofano também houve uma resposta positiva da aplicação do glyphosate, com aumento da concentração destes nas menores doses e redução nas doses mais elevadas. O pré-tratamento com 3,6 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate foi o que melhor promoveu hormesis para as raízes e parte aérea da soja, nas doses estimadas de 11,3 e 3,2 g e.a. ha⁻¹, respectivamente, na segunda aplicação. Para a massa seca total, a dose de 7,2 g e.a.ha⁻¹ no pré-tratamento foi a que apresentou maior hormesis, na dose estimada de 18,2 g e.a.ha⁻¹ de glyphosate na segunda aplicação. Os herbicidas amicarbazone, mesotrione, imazapic e carfentrazone nas doses testadas não apresentaram hormesis ou estímulo na parte aérea da soja.

Palavras-chave: glyphosate, *Glycine max*, subdoses.

2 SUMMARY

HORMESIS OF HERBICIDES ON SOYBEAN. Botucatu, 2014, 77 p. Teste (Doutorado em Agronomia / Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: FERDINANDO MARCOS LIMA SILVA

Adviser: EDIVALDO DOMINGUES VELINI

The beneficial effect of low doses of toxic substances is known a long time and this phenomenon is called hormesis. In agriculture, there are many cases of herbicides that in normal rates cause severe injuries in plants, but in very low doses promote the growth of plant structures or other beneficial effect such as increase in the protein content in plants. The objective of this study was to evaluate the effect of hormesis of glyphosate, amicarbazone, mesotrione, imazapic and carfentrazone in soybean, in addition to exploring if the effect of hormesis in soybeans is affected by a pretreatment with low doses of glyphosate and later expose to the same doses or higher. For this, three separate experiments were carried out, and on the first one seven doses of glyphosate (0; 1.8; 3.6; 7.2; 36; 180 and 720 g a.e.ha⁻¹) were applied to the soybean plants and evaluated the electron transport rate (ETR), the chemical compounds resulting from the action of glyphosate (shikimic acid, benzoic acid, salicylic acid, AMPA , phenylalanine, tyrosine and tryptophan) and hormesis effect on the dry weight of plants. The second experiment

was made a pretreatment of soybean plants with low doses of glyphosate (0; 1.8; 3.6 and 7.2 g a.e.ha⁻¹) in the V2 stage and 14 days later the plants received a second application of different doses of glyphosate (0; 1.8; 3.6; 7.2; 36; 180 e 720 g a.e.ha⁻¹) and subsequently evaluated the dry weight of plants and shikimic acid. In the third experiment, was tested a full dose-response of the herbicides amicarbazone, mesotrione, imazapic and carfentrazone on soybean plants and evaluated the ETR and dry weight. The results indicated that at low doses glyphosate stimulated ETR and increased biomass. The compounds from shikimic acid pathway such as benzoic and salicylic acids had respective increases of 203 and 170% in the dose of 3.6 g a.e. ha⁻¹ of glyphosate and the amino acids phenylalanine, tyrosine and tryptophan had a positive response of the glyphosate application, with increase in the concentration of these amino acids in lower doses and the opposite effect at higher doses. The pretreatment with 3.6 g a.e. ha⁻¹ of glyphosate promoted the best hormesis effect to the roots and shoots in the estimated dose of 11.3 and 3.2 g a.e. ha⁻¹ in the second application. For the total dry weight, the dose of 7.2 g a.e. ha⁻¹ in the pretreatment showed the largest hormesis effect at the estimated dose of 18.2 g a.e. ha⁻¹ of glyphosate in the second application. The amicarbazone, mesotrione, imazapic and carfentrazone in the evaluated doses did not show hormesis effect or stimulus in the soybean shoot.

Keywords: glyphosate, *Glycine max*, low doses.

3 INTRODUÇÃO

É conhecido há mais de um século que algumas substâncias em doses baixas pode ser benéfico, enquanto estas mesmas substâncias são letais em doses elevadas. Este fenômeno foi chamado pela primeira vez de a lei de Arndt-Schulz (CALABRESE, 2005). Southam e Erlich (1943) introduziram o termo hormesis para descrever o efeito de um composto de casca de carvalho que aumentou o crescimento de fungos em baixas doses, mas fortemente o inibiu em doses mais elevadas. O conceito de hormesis tem implicações altamente controversas dentro das áreas de toxicologia ambiental e médica (CALABRESE, 2005; THAYER et al, 2005), uma vez que questiona as formas como são estabelecidos os valores limite para os poluentes e toxinas. Há aqueles que afirmam hormesis é a regra e não a exceção e que representa uma resposta adaptativa evolutiva baseada à interrupção induzida ambientalmente na homeostase (STEBBING, 1998; CALABRESE; BALDWIN, 2001). Outros são mais céticos sobre a generalidade do fenômeno, reivindicando que hormesis levando a um aumento da aptidão população não é uma expectativa evolutiva e que, embora algumas características podem ser estimuladas por baixas doses de estresse, esta estimulação irá ocorrer a um custo, que pode ser o menor desenvolvimento de outra parte da planta que não sofreu hormesis (FORBES, 2000; PARSONS, 2003).

De fato , poucos estudos foram realizados tentando elucidar os mecanismos por trás das relações dose-resposta bifásica frequentemente encontrados. A maioria da publicações sobre hormesis vem de estudos destinados a investigar algum outro

problema , na maioria das vezes os efeitos de altas doses, e a resposta hormética raramente é mais do que notável (STREIBIG, 1980).

Este é também o caso de estudos sobre o efeito de herbicidas em plantas (STREIBIG, 1980). Já que herbicidas são um dos grupos de produtos químicos que deliberadamente se propagam no ambiente em grandes quantidades, a compreensão de como doses baixas afetam o crescimento e fisiologia de plantas é de extrema importância , tanto para a produção agrícola quanto para contaminações ambientais. A maioria dos herbicidas são compostos que inibem vias metabólicas de plantas ou processos fisiológicos através da interação com proteínas específicas (DAYAN et al., 2010). Como consequência da inibição, as plantas morrem ou param de crescer. Os agonistas de auxinas são exceções que promovem efeitos mediados pela auxina, resultante do crescimento descontrolado de plantas. Como todos os herbicidas agem em vias ou processos cruciais para as plantas, como inibidores ou estimulantes, possivelmente doses baixas de um herbicida podem modificar o crescimento das plantas, o desenvolvimento, ou a composição de uma forma que pode ser benéfico em algumas circunstâncias.

Há diversas teorias de que plantas podem ter contato com baixas doses de herbicidas, incluindo a deriva, aplicação acidental na cultura em pulverizações dirigidas para as ervas daninhas, contato de folhas da cultura com plantas daninhas tratadas, proteção de plantas mais altas reduzindo o número de gotas que podem atingir a planta daninha, e absorção de baixas doses do solo. Herbicidas também podem ser aplicados em baixas doses, como consequência dos movimentos laterais e verticais da barra de pulverização e da cobertura pelas culturas, plantas daninhas, ou palha (GAZZIERO et al., 2006; SOUZA et al., 2007).

Vários herbicidas podem ter outros usos que não apenas o controle de plantas daninhas. Os efeitos secundários dos herbicidas podem ter lugar em doses normais ou em doses muito inferiores às recomendadas. Em alguns casos, como o uso de herbicidas como maturadores da cana-de-açúcar e do uso de herbicidas agonistas de auxinas em produção de frutos, o uso comercial de baixas doses de herbicidas é uma prática comum. Em outros casos, como o uso de baixas doses de inibidores da PROTOX para induzir resistência a patógenos, essa prática é raramente ou nunca utilizado, mesmo com esse uso indicado no rótulo de um produto (VELINI et al., 2010).

Em todo o mundo, o glyphosate é o herbicida mais utilizado (DUKE; POWLES, 2009). Embora seja o mais importante herbicida utilizado, ainda há

muitas perguntas não respondidas sobre os seus efeitos sobre as plantas. Além de ser um herbicida de largo espectro, o glyphosate estimula o crescimento de plantas em concentrações subtóxicas (SCHABENBERGER et al., 1999; WAGNER et al., 2003; CEDERGEEN et al., 2007; CEDERGREEN, 2008; VELINI et al., 2008; BOTT et al., 2009; SILVA et al., 2009; CEDERGREEN; OLESEN, 2010; BELZ et al., 2011; CARVALHO et al., 2013). Alguns autores têm especulado que hormesis causada por glyphosate pode ser um benefício potencial de níveis de deriva de glyphosate em uma cultura sensível a este herbicida (CEDERGREEN, 2008; BELZ et al., 2011), enquanto que, outros alegaram efeitos nocivos do glyphosate nas plantas em concentrações que são esperados efeitos horméticos (CAKMAK et al., 2009).

Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito de hormesis dos herbicidas glyphosate, amicarbazone, mesotrione, imazapic e carfentrazone em soja, além de avaliar se o efeito de hormesis na soja é afetada por um pré-tratamento com baixas doses de glyphosate e mais tarde exposta as mesmas doses ou doses maiores.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Hormesis

Aureolus Philippus Theophrastus Bombastus von Hohenheim (1493-1541), conhecido como Paracelsus, considerado por muitos como o pai da toxicologia, é muitas vezes parafraseado por ter dito que “Tudo é veneno e não veneno; é a dose que faz com que alguma coisa não seja veneno”. Com esta declaração, Paracelsus considerou uma segurança aparente nas substâncias tóxicas em doses baixas (DUKE et al., 2006). Além disso, algumas substâncias, embora tóxicas em doses altas, podem ser estimulantes ou mesmo benéficas em doses baixas. Este é o caso dos medicamentos que são usados pelos seus efeitos benéficos, bem como com os defensivos agrícolas que são normalmente utilizados como substâncias tóxicas para plantas daninhas, pragas e doenças. Este efeito estimulante de uma baixa dose de um tóxico é chamada hormesis.

Hormesis vem do grego “*hormo*” que significa “excitar”, foi originalmente definido como um comportamento bifásico, no qual uma característica biológica é estimulada por baixas doses de um composto, mas inibida por altas doses do mesmo (BUKOWSKI; LEWIS, 2000; CALABRESE; BALDWIN, 2000; CALABRESE; BALDWIN, 2001; TURTURRO et al., 2001). Embora este fenômeno foi reconhecido anteriormente, o termo hormesis foi usado primeiramente Southam e Erlich (1943) para descrever o efeito de um composto de casca de carvalho que promoveu o crescimento de fungos em baixas doses, porém, fortemente inibida em doses elevadas.

Hormesis tem sido encontrada em todos os grupos de organismos, desde bactérias e fungos até plantas superiores e animais (CALABRESE, 2005). Diversas pesquisas tem evidenciado o efeito hormético com outras substâncias e não somente em herbicidas, como hormesis por meio de estresse oxidativo na biologia do envelhecimento (FINKEL; HOLBROOK, 2000), restrição calórica na extensão do ciclo de vida (GUARENTE; KENYON, 2000), choque térmico, desnaturação protéica e resistência ao estresse na longevidade (BUTOV et al., 2001; JOHNSON et al., 2001; VERBEKE et al., 2001; YASHIN et al., 2001; MICHALSKI; YASHIN, 2002), ação do oxicleto de cobre na reprodução do ácaro-vermelho-do-café (REIS; TEODORO, 2000), do efeito da abamectina na reprodução de formigas (ANTUNES et al., 2001) e da permetrina no desenvolvimento e reprodução do predador *Supputius cincticeps* (Stål) (Heteroptera, Pentatomidae) (ZANUNCIO, 2001).

Segundo Duke et al., (2006), o maior foco dos estudos de hormesis tem sido em animais, já que há um grande interesse em efeitos horméticos no âmbito das ciências farmacêuticas e toxicológicas. Menor documentação existe sobre hormesis nas plantas, e praticamente não há informações sobre os mecanismos envolvidos aos efeitos observados de hormesis. Pesquisas têm sido realizadas no sentido de avaliar possíveis efeitos horméticos em plantas, principalmente com o uso de herbicidas. A resposta estimulatória é medida em diferentes parâmetros variando de crescimento com base no peso, altura ou área foliar, ou ainda mudanças fisiológicas, como teor de proteína. Uma resposta estimulatória não tem a mesma característica ou efeito que outras respostas estimulatórias. Por exemplo, alguns herbicidas (como bromacil, chloramben, bromoxinil, propachlor, terbacil, EPTA, e MSMA), podem estimular o crescimento das raízes em baixas doses, mas não têm efeito estimulador sobre o crescimento de caules qualquer outra dose (WIEDMAN; APPLEBY, 1972). Da mesma forma, um aumento de 100% na folha de cevada em comprimento ocorreu quando as plantas foram expostas metsulfuron-methyl, enquanto as plantas mesmo não tiveram aumento de peso de matéria seca total (CEDERGREEN et al., 2005).

O efeito hormesis pode provocar diferentes respostas estimulatórias, que depende do produto químico que está sendo aplicado, da planta que está recebendo esse composto, e como ele age na morfologia e na fisiologia dessa planta. Alguns desses mecanismos causados por hormesis podem representar tentativas fisiológicas na planta, que faz com que esta tente compensar o estresse químico. Um

exemplo disso é o aumento no número das sementes produzidas por uma planta quando submetida a situações de estresse, ela tem essa reação na tentativa de dar a próxima geração uma condição mais favorável para germinar e se desenvolver. Isso também pode explicar o crescimento mais acentuado do sistema radicular de outras plantas como a aveia (*Avena sativa* L.) e pepino (*Cucumis sativus* L.) (WIEDMAN; APPLEBY, 1972).

Os herbicidas auxínicos são exemplos bem conhecidos de produtos químicos que aumentam o crescimento em concentrações não tóxicas imitando a auxina, hormônio do crescimento, mas que são letais em doses mais elevadas (ALLENDER, 1997). Outros mecanismos não hormonais também podem ser importantes para obter uma resposta hormética. Como exemplo, podemos destacar o mecanismo com que o glyphosate age nas plantas, que está relacionado ao fato de que ele inibe a via do ácido chiquímico, sendo a fonte dos precursores a lignina (SCHMIDT, 1997). Isto pode preferencialmente inibir a síntese de lignina em baixas doses, fazendo as paredes celulares mais elásticas por um período mais longo durante o desenvolvimento, resultando em um maior crescimento longitudinal (DUKE et al., 2006).

Do ponto de vista energético e evolutivo, as respostas estimulantes observadas em baixos níveis de estresse químico deve raramente conduzir a uma melhoria da aptidão do organismo (FORBES, 2000; PARSON, 2003). Em outras palavras, pode haver um custo da resposta hormética. Este custo pode ser pago à custa do desenvolvimento de uma característica diferente do que demonstra hormesis. No entanto, poucos estudos têm medido mais de uma característica, a fim de testar se tal alocação de recursos ocorre. A compensação pode também ser revertida ao longo do tempo, de modo que um aumento inicial em crescimento pode ser seguido por uma redução, se o estresse persiste ao longo do tempo. Isso tem sido observado para hormesis em animais de sistemas-teste (STEBBING, 2002; CALABRESE, 2005).

Hormesis não é necessariamente benéfico ou prejudicial na agricultura. O julgamento da conveniência de hormesis depende do resultado que é desejado e como a hormesis reforça isso. O tratamento de uma cultura com uma subdose de um herbicida para uma mudança fenotípica desejável poderia ser valioso (DUKE et al., 2006). Por exemplo, glyphosate em subdoses de forma comercial é aplicado para estimular o acúmulo de sacarose e evitar o florescimento em cana-de-açúcar (CLOWES, 1978; 1980; CLOWES; INMAN-BAMBER, 1980; DUSKY et al., 1986; SUBIROS, 1990; SU et al., 1992; CASTRO, 1999; McDONALD et al., 2000; CASTRO et al., 2002; BENNETT;

MONTES, 2003; CASTRO; MESCHEDE, 2009; MESCHEDE et al., 2009; VELINI et al., 2009; ARALDI et al., 2010). Este efeito hormético é altamente benéfico para os agricultores, e um tratamento de baixa dose de glyphosate é usado em todo o mundo na produção de cana-de-açúcar. Baixas doses de outros herbicidas para efeitos agrônômicos desejados foram propostos em documentos e patentes. Por exemplo, baixas doses de herbicidas inibidores da PROTOX fornecem proteção de culturas de agentes patogênicos de plantas, aparentemente através da eliciação das defesas contra agentes patogênicos (NELSON et al., 2002).

Com exceção do glyphosate como maturador de cana-de-açúcar e herbicidas auxínicos na produção de frutas, o uso dos efeitos benéficos da hormeseis não são usados comercialmente, pelo menos não propositalmente, já que produtores podem ser ocasionalmente beneficiados por este fenômeno inadvertidamente.

4.2 O herbicida glyphosate

O glyphosate (N-phosphonomethylglycine) é amplamente usado para controle de plantas daninhas em culturas anuais e perenes em todo o mundo, 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). Este herbicida é uma ferramenta essencial para o desenvolvimento de sistemas de produção sustentável, e nos últimos anos seu consumo tem aumentado continuamente devido ao desenvolvimento de variedades resistentes ao glyphosate (DUKE; POWLES, 2008). O glyphosate é também amplamente usado para controlar plantas indesejáveis em áreas não agrícolas como estradas, ferrovias e corpos d'água (VELINI et al., 2010).

O glyphosate é uma das moléculas herbicidas mais estudadas mundialmente em termos de segurança ambiental e saúde humana e possui uma das maiores bases de dados a dentro todos os pesticidas (GIESY et al., 2000; WILLIAMS et al., 2000). Essa molécula foi descoberta na década de 1950, teve sua propriedade como herbicida descoberta em 1970 e sua comercialização iniciada em 1974 quando foi aprovada nos Estados Unidos (GALLI; MONTEZUMA, 2005). A principal rota de degradação do

glyphosate é pelos microrganismos de solo e água (por processos aeróbicos e anaeróbicos), que o decompõem em compostos naturais. Uma característica importante do glyphosate é a sua capacidade de ser adsorvido pelas partículas de solo e permanecer inativo até sua completa degradação. O glyphosate é rapidamente degradado por microrganismos do solo, sendo que sua meia-vida média (tempo médio necessário para que metade da quantidade aplicada do produto seja degradada) é de 32 dias. Esse resultado foi obtido em 47 estudos conduzidos em campos agrícolas e áreas de reflorestamento em diferentes localidades geográficas (GIESY et al, 2000).

Quando o glyphosate é aplicado sobre as plantas, ocorre, inicialmente, uma rápida penetração, seguida por uma longa fase de lenta penetração, sendo que a duração dessas fases depende de numerosos fatores, incluindo espécie e idade da planta, condições ambientais, concentração de glyphosate e surfactante. O glyphosate é móvel no floema e rapidamente translocado por todas as partes da planta, mas tende a se acumular nas regiões meristemáticas. Nas plantas, o glyphosate é muito estável, com pequena degradação detectável ocorrendo em longo período de tempo (GRUYS; SIKORSKI, 1999).

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 a 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 (Figura 1), inibindo a síntese de aminoácidos aromáticos essenciais, como fenilalanina, tirosina e triptofano, que são precursores de outros compostos, como lignina, alcaloides, flavonoides e ácidos benzoicos (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 e o acúmulo de chiquimato (AMRHEIN et al., 1980; LYDON; DUKE, 1988).



Figura 1. Síntese do ácido chiquímico e aminoácidos aromáticos em plantas. Adaptado por Velini et al. (2009) de Mousdale et al. (1991), Mauch-Mani e Slusarenko (1996), Peterson et al. (1996), Guillet et al. (2000), Wildermuth et al. (2001), Tanner et al. (2003), Rippert et al. (2004).

O glyphosate pode ainda afetar diretamente a fotossíntese da planta, reduzindo a atividade da enzima 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 (MARIA 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.

4.3 Efeitos Secundários do Glyphosate

O glyphosate é o único herbicida comercialmente disponível que inibe a enzima 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs), bloqueando a síntese de aminoácidos aromáticos e compostos secundários derivados destes aminoácidos (DUKE 1988). Vários compostos produzidos a partir de aminoácidos aromáticos estão envolvidos com a regulação do crescimento, qualidade da madeira, efeitos alelopáticos e resistência a pragas e doenças. Alguns exemplos desses componentes são o ácido indolacético, lignina, ácido salicílico, ácido metil salicílico e estilbenes (VELINI et al., 2009).

A maioria das espécies de plantas é sensível ao glyphosate. Plantas tratadas com glyphosate acumulam altos níveis de chiquimato (AMRHEIN et al., 1980; 1981; BECERRIL et al., 1989; BURKE et al., 2005; DUKE, 1988; HARRING et al., 1998, SINGH; SHANER, 1998; VELINI et al., 2008;). Este herbicida pode ser útil para aumentar o conteúdo do chiquimato em plantas, que é matéria-prima de grande interesse industrial formado na via de aminoácidos aromáticos das plantas (JOHANSSON et al., 2005), pois é um precursor para semi-síntese de oseltamivir (ENSERINK, 2006), uma droga antiviral utilizado para o controle de linhagens não-resistentes do vírus influenza. Tem havido uma escassez mundial de chiquimato, e glyphosate pode ser usado para aumentar a produção em espécies como o aniz estrelado (*Illicium verum* Hook. F.), uma fonte da qual é extraído comercialmente.

A EPSPs não é exclusivo em plantas, sendo uma enzima chave na síntese de aminoácidos aromáticos em plantas, bactérias e fungos (KISHORE; SHA, 1998; FENG et al., 2005). Vários autores têm relatado o controle eficaz da ferrugem após a aplicação de glyphosate em soja e trigo resistentes ao glyphosate em condições de campo

(ANDERSON; KOLMER, 2005; FENG et al., 2005; 2008; SOARES et al., 2008). Como o glyphosate pode afetar plantas e patógenos, seus efeitos sobre a severidade da doença não é uniforme. Enquanto a inibição de patógenos e doenças tem sido frequentemente relatada, a severidade de algumas doenças não foi afetada ou aumentada pelo glyphosate (DUKE et al., 2007; SANYAL; SHRESTHA 2008). Embora o glyphosate seja fungicida e bactericida com efeito em patógenos de plantas, em plantas não-resistentes ao glyphosate ele pode reduzir os níveis de fitoalexinas tornando a planta mais suscetível ao patógeno (KEEN et al., 1982; SHARON et al., 1992). Assim, em culturas não resistentes ao glyphosate o efeito de glyphosate sobre a virulência da doença é um equilíbrio entre o efeito relativo do glyphosate sobre a planta versus o patógeno. A maior parte da literatura sugere que o patógeno vença esta competição. No entanto, em culturas resistentes ao glyphosate, há evidências crescentes de que a cultura pode se beneficiar da aplicação de glyphosate em sua batalha contra alguns agentes patogênicos. Essas interações merecem um estudo mais aprofundado.

O glyphosate aplicado em baixas doses pode aumentar o crescimento das plantas. O efeito estimulante de subdoses de uma substância tóxica é chamado hormesis e tem sido relatada em baixas doses de herbicidas em muitas plantas, incluindo glyphosate (SCHABENBERGER et al., 1999; WAGNER et al., 2003; DUKE et al., 2006; CEDERGREEN et al., 2007; VELINI et al., 2008). Efeitos causados pela aplicação acidental, deriva de glyphosate tem sido estudados em culturas como algodão, beterraba, café, cana-de-açúcar, cevada, citros, eucalipto, maracujá, soja (GEIGER et al., 1986; TUFFI SANTOS et al., 2006; YAMASHITA; GUIMARAES, 2006; WAGNER JUNIOR et al., 2008; GRAVENA et al., 2009; FRANÇA, 2009; SILVA, et al., 2009; BELZ; CEDERGREEN, 2010; CEDERGREEN; OLESEN, 2010; FRANÇA et al., 2010; MACHADO et al., 2010; OLESEN; CEDERGREEN, 2010; ZOBIOLE et al., 2010a,b,c; CARVALHO et al., 2013). Doses sub-letais de glyphosate estimulam o crescimento de uma variedade de espécies de plantas e hormesis provavelmente esteja relacionado com o sítio de ação do glyphosate, uma vez que o efeito não foi observado em plantas resistentes ao glyphosate (VELINI et al., 2008). Baixas doses de glyphosate não são recomendadas como um estimulante de crescimento das culturas, como a dose hormética pode variar consideravelmente, dependendo de vários fatores, incluindo o clima, a variedade da planta, fase de desenvolvimento e formulação de glyphosate.

O efeito de hormesis do glyphosate tem sido observado em plantas como *Abutilon thophrasti*, *Commelina benghalensis*, *Echinochloa crus-galli*, *Eucalyptus grandis*, *Glycine max*, *Hordeum vulgare*, *Pinus caribea*, *Stellaria media*, *Tripleurospermum inodorum*, *Saccharum* spp. e *Zea mays* (SCHABENBERGER et al., 2007, VELINI et al., 2008, SILVA et al., 2009, CEDERGREEN; OLESEN, 2010; BOTT et al., 2011).

O glyphosate também pode ser aplicado em baixas doses para estimular o acúmulo de sacarose e evitar o florescimento na cana de açúcar (*Saccharum officinarum* L.) (CLOWES, 1978; 1980; CLOWES; INMAN-BAMBER, 1980; DUSKY et al., 1986; SUBIROS, 1990; SU et al., 1992; CASTRO, 1999; McDONALD et al., 2000; CASTRO et al., 2002; BENNETT; MONTES, 2003; CASTRO; MESCHEDE, 2009; MESCHEDE et al., 2009; VELINI et al., 2009; ARALDI et al., 2010). O mecanismo deste efeito não é compreendido, mas o glyphosate é utilizado em todo o mundo com doses que variam tipicamente de 40 a 180 g e.a. ha⁻¹ como maturador da cana-de-açúcar. Doses mais elevadas do que isso podem causar branqueamento da soqueira e nanismo.

Machado et al., (2010) observaram estímulo na taxa de fotossíntese e na eficiência no uso de água por plantas de eucalipto submetidas a aplicação de subdoses de glyphosate (43 e 86 g i.a. ha⁻¹), 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 a subdoses de glyphosate (11 a 45 g e.a. ha⁻¹), sendo que esse efeito persistiu até a colheita. A taxa fotossintética também foi aumentada com aplicação de subdoses (180 e 360 g e.a. ha⁻¹) de glyphosate aos 10 e 45 dias após o transplante, em trabalho conduzido por Carvalho (2011), sendo que este estímulo se repetiu para outros parâmetros avaliados, como altura, número de folhas, área foliar e matéria seca apenas para as plantas que receberam a aplicação do herbicida mais tardiamente.

Os resultados da produtividade, na porcentagem em relação à testemunha e com base na produção por área, permitiu constatar a existência do efeito hormético em algodoeiro após a aplicação do glyphosate. Assim sendo, até a dose de 23 g do i.a. ha⁻¹ ocorreu incremento na produtividade e a partir desse ponto, houve redução nessa variável, indicando o início da fitotoxicidade do produto (FURLANI JÚNIOR et al., 2009). Os valores de números de capulhos também foram incrementados com as doses

iniciais, porém até a faixa de 10 g do e.a. ha⁻¹, corroborando com os resultados obtidos por Meschede et al., (2008), que verificaram incremento na matéria seca de folhas e raízes de *Commelina bengalensis* até a dose de 10 g do e.a. ha⁻¹.

Da mesma forma, Velini et al. (2008), verificaram o efeito hormesis em milho, soja, eucalipto e pinus a partir de 1,8 até 36 g do e.a. ha⁻¹. Para soja e milho, os autores verificaram incrementos máximos da matéria seca da parte aérea de 27,81% e 25,46% para as doses de 14,2 e 22,6 g e.a. ha⁻¹, respectivamente. Cedergreen (2008) testou em cevada, 10 a 15 doses de oito herbicidas e observou que glyphosate e metsulfuron-methyl estimularam o crescimento da biomassa em aproximadamente 25% quando aplicados em doses correspondentes a 5 a 10% da dose recomendada.

4.4 Efeitos secundários de outros herbicidas

Desde o início do desenvolvimento dos herbicidas nos primeiros anos após a segunda guerra mundial, estímulos em plantas em resposta a baixas doses de herbicidas foram anotados (DUKE et al., 2006). Apenas alguns estudos têm tentado investigar os mecanismos por trás da estimulação do crescimento, e para aqueles que o fizeram, os resultados foram amplamente inconclusivos (ALLENDER et al., 1997; MORRÉ, 2000; APPLEBY, 2001).

Sobre se a ocorrência de hormesis é real ou se se trata de um erro experimental, um estudo recente de banco de dados incluindo 687 curvas de dose-resposta, divididos entre três espécies de plantas ou algas e 10 herbicidas, mostrou médias dos tratamentos acima do nível da testemunha em 25-76% das curvas de dose-resposta, dependendo da espécie (CEDERGREEN et al., 2007). Em algumas espécies, hormesis, portanto, parece acontecer com mais frequência do que seria previsto por acaso. O estudo também mostrou uma grande variação entre os diferentes herbicidas, em termos de quais induziram hormesis. Alguns apenas o fizeram em menos de 20% das curvas analisadas, enquanto que outros tinham curvas bifásicas significativas de dose-resposta em mais de 70% das curvas (CEDERGREEN et al., 2007). Assim, estes resultados indicam que não apenas os estímulos de crescimento aconteciam, mas também que nem todos os herbicidas são igualmente eficazes na indução deste aumento no crescimento. As curvas de dose-

resposta analisadas não foram, como a maioria dos outros relatórios hormesis, concebida para investigar efeitos de baixas doses . Por isso, não se pode excluir que o uso de doses mais baixas podem revelar uma resposta hormética para todos os herbicidas, confirmando as teorias de curvas de dose-resposta bifásica ser um fenômeno geral (CALABRESE; BALDWIN, 2001).

Resta saber se o aumento de crescimento observado é real ou apenas um resultado de trocas entre as características, já que estudos sobre insetos demonstraram que baixas doses de produtos químicos podem melhorar a produção de ovos, mas que a produção aumentada de descendência foi contrabalanceada por uma menor sobrevivência destes insetos (FUJIWARA et al., 2002; ZANUNCIO et al., 2003). Similares trocas entre as características poderia ser esperado em plantas, que pode alocar seus recursos em maneiras de otimizar o seu crescimento sob condições de estresse. É sabido que as plantas podem alocar biomassa radicular em manchas de solo onde o ambiente é favorável em termos de água e nutrientes, evitando manchas de solo mais desfavoráveis (KLEIJN; VAN GROENENDAEL, 1999; WIJESINGHE; HUTCHINGS, 1999). Concentrações subletais de herbicidas em solos, portanto, podem induzir um aumento da alocação de biomassa para as raízes para promover a busca de um habitat raiz mais favorável. Na verdade, para sete herbicidas aplicados, Weidman e Appleby (1972) mostraram que o crescimento de raízes de aveia e pepino foi aumentado em baixas doses do herbicida, enquanto o crescimento da parte aérea foi afetado. Para os restantes quatro herbicidas testados, tanto o crescimento da raiz quanto de parte aérea foram afetados.

Outros padrões de alocação podem ser vistos em plantas pulverizadas. Na maioria dos estudos mostrando hormesis, apenas uma característica é medida, geralmente a biomassa da parte aérea, comprimento e área foliar desta (WEIDMAN; APPLEBY, 1972; ALLENDER et al., 1997; SCHABENBERGER et al., 1999; DAVIES et al., 2003; CEDERGREEN et al., 2007). Qualquer tipo de alocação de recursos não pode ser avaliada a partir desses estudos. Por isso, não se pode excluir que o crescimento da biomassa da planta toda é afetada na dose “Hormética”, mas que uma mudança na proporção raiz:parte aérea, uma alocação de biomassa entre folhas e caules ou um aumento da área foliar específica estão causando a estimulação do crescimento aparente.

Duke et al. (2006) citam diversos trabalhos publicados que relatam efeitos de hormesis promovidos por herbicidas, em diversas culturas, como centeio,

cevada, ervilha, soja, trigo, milho e grama, com resposta estimulatória medida em diferentes parâmetros, como teor de proteína, crescimento, aumento de biomassa e resistência a patógenos.

Segundo Velini et al. (2010), a via de síntese de carotenóides está associada à resistência de plantas a pragas, doenças, controle de plantas daninhas (todos herbicidas inibidores da síntese de carotenóides atuam nesta via), alterações no desenvolvimento das plantas e crescimento (associados com o equilíbrio hormonal) e tolerância a estresses ambientais, com ênfase em estresse hídrico, que é associado à produção, acúmulo e metabolismo do ácido abscísico (ABA).

Em geral, as plantas sob déficit hídrico acumulam ABA, resultando numa maior velocidade de abertura e fechamento estomático, maior eficiência do uso da água e manutenção do crescimento das raízes primárias em baixos potenciais de água (SAAB et al., 1990; ROSS, 1992; POPOVA, 1998; LIOTENBERG et al., 1999). O herbicida fluridone tem sido utilizado experimentalmente para bloquear a síntese de ABA em plantas (FONG et al., 1983; SAAB et al., 1990; SHARP et al., 1994; POPOVA 1998; SHARP; SPOLLEN et al., 2000; LENOBLE, 2002;). Avaliação dos efeitos de outros herbicidas extensivamente utilizados que inibem a síntese de carotenóides na acumulação de ABA, fotossíntese e tolerância à seca pode ser muito útil.

O herbicida mesotrione é um inibidor da síntese de carotenóides, de ação sistêmica, recomendado para o controle em pós-emergência de plantas daninhas mono e dicotiledôneas na cultura do milho e cana-de-açúcar. Pertence ao grupo químico das tricetonas e atua sobre as plantas infestantes inibindo a biossíntese de carotenóides através da interferência na atividade da enzima HPPD (4-hidroxifenil-piruvato-dioxigenase) nos cloroplastos. Os sintomas envolvem branqueamento das plantas infestantes sensíveis com posterior necrose e morte dos tecidos vegetais em cerca de uma a duas semanas. Este herbicida é absorvido tanto pelas raízes quanto pelas folhas e ramos, sendo uma molécula bastante móvel na planta, com translocação apoplasmática (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005).

Entre os inibidores de ALS, sulfometuron-methyl tem sido amplamente utilizado em doses que variam de 10 a 20 g.ha⁻¹ como maturador de cana-de-açúcar (Castro, 1999; 2000; Castro et al., 1996; 2009). Imazapic (Gover et al., 2004; Hixson et al., 2007; Cavalieri et al., 2010), imazametabenze (Yelverton et al., 1997) e chlorsulfuron (Hixson et al., 2007) foram eficazes para reduzir o crescimento de grama, a

fim de reduzir a frequência de corte. Imazapic promoveu longa supressão em grama batatais (*Paspalum notatum* Flüge), mas doses acima de 71 g. ha⁻¹ reduziram a densidade de plantas (Yelverton et al., 1997). Quando pulverizado sobre azevem [*Lolium arundinaceum* (Schreb.) S.J. Darbyshire] com doses que variam de 9 a 53 g.ha⁻¹, imazapic suprimiu novo crescimento vegetativo e frutificação por três meses (Hixon et al., 2007).

O herbicida imazapic é de ação sistêmica do grupo químico imidazolinona, recomendado para o controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar no Brasil (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005). De acordo com Trezzi e Vidal (2001), sua ação é resultado da redução dos níveis de três aminoácidos alifáticos de cadeia ramificada, valina, leucina e isoleucina, através da inibição do ácido hidroxiaacético sintetase (AHAS), uma enzima comum na via biossintética desses aminoácidos a inibição interrompe a síntese proteica, que por sua vez interfere na síntese de DNA e no crescimento celular.

A biossíntese desses três aminoácidos e a enzima ALS não ocorrem em animais, o que explica a sua baixa toxicidade aguda oral e dérmica, já em plantas é absorvido pela folhagem e raízes e translocado rapidamente através do xilema e floema para as regiões meristemáticas da planta, onde se acumula, embora a interrupção de crescimento e a morte das regiões meristemáticas ocorra logo após a aplicação, a clorose das folhas novas e a necrose dos tecidos podem demorar em algumas espécies até quatro semanas (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005).

As imidazolinonas controlam um amplo espectro de plantas daninhas, incluindo poáceas, ciperáceas e latifoliadas. Esses herbicidas são absorvidos pelas raízes e folhas das plantas, sendo transportados pelo floema e xilema, acumulando-se nos pontos de crescimento; dessa forma, o efeito fitotóxico das imidazolinonas é causado pela deficiência desses aminoácidos, provocando a diminuição na síntese de proteínas e de DNA, afetando assim a divisão celular e a translocação de fotossintatos aos pontos de crescimento. Esses processos provocam redução no crescimento das plantas e no alongamento das folhas e cloroses entre as nervuras foliares (SHANER; SINGH, 1993; TAN et al., 2006). O herbicida imazapic possui atividade residual no solo, o que lhe confere a ação herbicida sobre a sementeira das plantas daninhas, o imazapic é uma molécula que apresenta solubilidade em água de 2.200 mg L⁻¹ e meia vida no solo de cerca de 120 dias (VENCILL, 2002). A persistência das imidazolinonas no solo é influenciada

pela umidade, temperatura, exposição á luz solar (RENNER et al., 1988) e pelo grau de sorção do solo.

A enzima protoporfirinogênio IX oxidase, conhecido como Protox ou PPO, corresponde ao local de ação dos herbicidas de vários grupos químicos diferentes. A ação do herbicida implica na promoção de estresse oxidativo através da produção de radicais livres (DAYAN; DUKE, 1997). Leve estresse oxidativo é conhecido por induzir defesas da planta contra patógenos, incluindo a indução da síntese de fitoalexinas. Os potenciais efeitos de inibidores Protox para aumentar as defesas da planta contra patógenos de plantas foi observado muito cedo (KOMIVES; CASIDA, 1983) sendo confirmada em vários estudos mais recentes (DISSANAYAKE et al., 1998; DANN et al., 1999; NELSON et al., 2002a,b; DAUGROIS et al., 2005). O efeito prático mais importante tem sido o de lactofen que tem um rótulo indicando o efeito de supressão de mofo branco da soja (*Sclerotinia sclerotiorum*) através do seu efeito indireto de induzir a produção de fitoalexinas.

O carfentrazone-ethyl pertence ao grupo químico das triazolinonas e tem como mecanismo de ação a inibição da protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), que é a enzima envolvida na rota biossintética da clorofila. Logo, nas plantas tratadas com este herbicida, ocorre acúmulo de protoporfirinogênio IX, que, na presença da luz, está envolvido na formação de oxigênio singleto, responsável pela peroxidação de membranas (DAYAN et al., 1997). Isso causa rápida dessecação das espécies suscetíveis e a sintomatologia pode ser observada no mesmo dia da aplicação (Corrêa & Borges, 2000).

A ação e codificação da Protox, que esta presente e atua nos cloroplastos, produzindo clorofila e nas mitocôndrias, produzindo heme, é inteiramente codificada no núcleo (WATANABE et al., 2001). O heme é um componente de enzimas como catalases e peroxidases além de proteínas como a hemoglobina e citocromos. Watanabe et al. (2001) também estudaram e demonstraram a existência da translocação intracelular do Protoporfirinogenio e da Protoporfirina IX. Os resultados indicam que os excessos destes compostos presentes nos cloroplastos e citosol, em decorrência da ação subletal de herbicidas (aplicados em baixas doses), podem ser utilizados nas mitocôndrias para a produção de grupos heme (WATANABE et al., 2001). A deficiência de heme e hemoglobina esta associada a anemia (Porphyrin – Wikipedia, the free encyclopedia), assim como falhas na produção de heme a, heme b e heme c já foi associada ao envelhecimento (ATAMNA et al, 2002) e ao mal de Alzheimer (ATAMNA; FREY, 2004)

em humanos. Não foram encontradas informações sobre os possíveis efeitos do aumento da concentração de heme em alimentos de origem vegetal, sobre a saúde de humanos e outros animais.

Com relação aos herbicidas inibidores da Glutamina Sintase (GS), esta é uma enzima essencial no caminho da síntese de glutamina, o glufosinato é o único herbicida comercialmente disponível, que age sobre esta enzima. O composto microbiano bialaphos é um precursor da L-fosfinotricina, a forma natural de glufosinato, que é uma mistura racêmica de síntese química, L e D-fosfinotricina. O D enantiômero é inativo como herbicida. A morte das plantas intoxicadas por glufosinato não é causado pela falta de glutamina ou glutamato, mas pelo excesso de amônia não incorporada (LYDON; DUKE, 1999). Bialaphos sozinho é inativo contra a GS, mas é metabolicamente convertido em L-fosfinotricina em plantas daninhas alvo (WILD; ZIEGLER, 1989). Bialaphos (UCHIMIYA et al., 1993) e glufosinato (LIU et al., 1998; WANG et al., 2003) podem ser úteis para combater as doenças fúngicas em espécies de gramíneas geneticamente transformados para serem resistentes aos herbicidas. Pouco se sabe sobre os efeitos diretos do glufosinato em patógenos de plantas.

Os Agonistas de auxina (como dicamba e 2,4-D) são eficazes reguladores de crescimento de baixo custo. Atualmente, os agonistas de auxina ainda são utilizados em culturas de tecidos para induzir embriogênese somática (MAHALAKSHMI et al., 2003; ESTABROOKS et al., 2007; JONES et al., 2007; MADHUMITA et al., 2008), mas a grande utilização prática é controlar o amadurecimento (RUFINI et al., 2008), para reduzir a queda (GARDNER et al., 1950; ANTHONY; COGGINS, 1999; ALMEIDA et al., 2004; 2008;), e para aumentar tamanho dos frutos (EL-ZEFTAWI, 1976; EL-OHTMANI et al., 1993; GUARDIOLA; LUIS-GARCIA, 2000; ALMEIDA et al., 2004; 2008; RUFINI et al., 2008), ou prorrogar o período de colheita (ALMEIDA et al., 2004; 2008; RUFINI et al., 2008) em pomares de citros.

Dentre os herbicidas inibidores do fotossistema II, décadas atrás, doses muito baixas de triazinas foram descobertas para aumentar o teor de proteínas das culturas. Por exemplo, doses baixas de simazina aumentam o conteúdo de proteína de milho (*Zea mays* L.) em até 79% (RIES et al., 1967) e, por vezes, maior crescimento e teor de proteínas do milho (TWEEDY; RIES, 1967). Maior teor de proteínas e algum aumento da produtividade foram obtidas com níveis sub-letais de triazinas com outras culturas como o trigo (RIES et al., 1970; STRBAC et al., 1974), cevada (*Hordeum vulgare* L.)

(PULVER; RIES, 1973), e centeio (*Secale cereale* L.) (BUDOI; RIES, 1968; RIES; WERT, 1972). Simazina aumentou o crescimento e teor de N em pêssego [*Prunus persica* (L.) Batsch] e maçã (*Malus domestica* Borkh.) (RIES et al., 1963). Estes efeitos podem ter sido devido ao aumento da atividade da nitrato redutase (RIES et al., 1967) ou atividades da auxina (COPPING et al., 1972).

O herbicida amicarbazone também é uma triazina e como tal atua na inibição do fotossistema II, sendo registrado para o controle de plantas daninhas mono e dicotiledôneas em cana-de-açúcar (TOLEDO et al., 2004; RODRIGUES; ALMEIDA, 2005). O amicarbazone apresenta absorção radicular e foliar, sendo recomendado para aplicações em pré-emergência e pós-emergência precoce, quando as plantas apresentarem no máximo quatro folhas. O herbicida inibe a fotossíntese das plantas e o transporte de elétrons, além de paralisar a fixação de CO₂ e NADPH₂, os quais são elementos essenciais ao seu crescimento (TOLEDO et al., 2004). A morte das plantas, entretanto ocorre devido à peroxidação de lipídios e proteínas, promovendo a destruição das membranas e perda de clorofila. Os principais sintomas nas plantas sensíveis são clorose, redução no crescimento e necrose foliar (RODRIGUES e ALMEIDA, 2005). Na aplicação em pós-emergência inicial, ocorre a rápida necrose das folhas devido à destruição das membranas celulares. Os sintomas manifestam-se inicialmente nas bordas das folhas e progridem por todo o tecido foliar, com a morte das plantas daninhas.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Estudos com Glyphosate

5.1.1 Estudo 1 - Brasil

O experimento foi conduzido em vasos, em casa de vegetação, com temperatura controlada variando de 24 a 28°C, localizada no Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NuPAM), pertencente ao Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal da Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Campus de Botucatu (SP), entre novembro e dezembro de 2011.

Como substrato foi utilizado solo coletado de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd), textura média, localizado na unidade Patrulha da Fazenda Experimental Lageado – Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Campus de Botucatu (SP), cujas análises química e granulométrica estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2

Tabela 1 – Análise química da amostra de solo utilizado nos vasos.

Solo	pH	M.O.	P res.	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	H ⁺ +Al ⁺³	SB	T	M
	(CaCl ₂)	(g dm ⁻¹)	(µg dm ⁻¹)			(mmolc dm ⁻¹)				(%)
LVd	4,3	19	1	0,6	10	4	58	14,6	73	21

Tabela 2 – Análise granulométrica do solo utilizado no experimento.

Granulometria (%)	Classe de solo						Classe textural
	Argila	Limo	Areia			Total	
			Fina	Média	Grossa		
LVd	20	4	22,9	35,7	17,4	76	Média

A pulverização do herbicida foi realizada por meio de um pulverizador estacionário instalado em laboratório do NuPAM. A barra de pulverização era constituída por quatro pontas de pulverização XR 11002 VS, espaçadas de 0,5 m e posicionadas a 0,5 m de altura em relação à superfície das unidades experimentais. Para as pulverizações do herbicida, o sistema foi operado com velocidade de deslocamento de 3,6 km h⁻¹, o que correspondeu a 45,0 Hertz no modulador de frequência, com consumo de calda correspondente a 200 L ha⁻¹. O equipamento foi operado com pressão constante de 1,5 bar pressurizado por ar comprimido.

As unidades experimentais foram constituídas por vasos de 7 L de capacidade volumétrica. Os vasos foram preenchidos com o solo corrigido e adubado conforme análise química. A soja, cultivar Embrapa 48 – convencional, sensível ao glyphosate (tratada com o fungicida Maxim XL, na dose de 100 mL 100 kg⁻¹ de sementes) foi semeada e depois desbastada, mantendo-se duas plantas por vaso. Durante o ensaio, o solo foi mantido com umidade próxima à capacidade de campo.

Quando as plantas se apresentavam no estágio V2 foi realizada a aplicação do glyphosate (Roundup Original 360 g de equivalente ácido L⁻¹) nas doses de 0; 1,8; 3,6; 7,2; 36; 180 e 720 g e.a.ha⁻¹, sempre adicionado à calda de pulverização 0,5% de Aterbane (também pulverizado na testemunha).

Os tratamentos foram arranjados em blocos inteiramente casualizados com 4 repetições. As plantas foram coletadas aos 30 dias após aplicação (DAA) para determinar a massa de matéria seca da raiz, parte aérea e total (raiz + parte aérea).

Aos 7 DAA, plantas de soja foram coletadas para análise das concentrações de ácido chiquímico, ácido benzoico, ácido salicílico, AMPA, fenilalanina, tirosina e triptofano. Estas plantas foram secas em estufa de circulação forçada de ar, a 45°C, por um período de 72 horas. Após secagem das amostras, estas foram moídas em moinho de rotor vertical com facas móveis e fixas (Marconi MA-340) com velocidade fixa

de 1750 rpm e peneira de 10 mesh. Após moídas, obteve-se a massa de cerca de 100 mg da amostra que foram acondicionadas em tubos de centrifuga de 15 ml de capacidade. As amostras foram extraídas com 10 mL de água (pH 2,5) em banho de ultrassom à 60°C por 30 minutos.

Após realização da extração as amostras foram submetidas à centrifugação a 4000 rpm, durante 10 min a 20°C (centrífuga Rotanta 460R). O sobrenadante foi coletado e filtrado em filtro Millex HV (Milipore 0,45 µm, com membrana durapore 13 mm, e acondicionadas em vial âmbar 9 mm, com 2 ml de capacidade, para posterior quantificação por LC-MS/MS.

O sistema LC-MS/MS é composto por um Cromatógrafo Líquido de Alta Eficiência (HPLC), Shimadzu, modelo Proeminence UFLC, equipado com duas bombas LC-20AD, autoinjeter SIL-20AC, degazeificador DGU-20A5, sistema controlador CBM-20A e forno CTO-20AC. Acoplado ao HPLC está o espectrômetro de massas 3200 Q TRAP (Applied Biosystems), híbrido triplo quadrupolo, onde Q1 e Q3 são utilizados como filtros de massa e Q2 é uma célula de colisão onde as moléculas intactas e fragmentos de Q1 são quebrados em fragmentos de massas menores. Para otimizar as condições do espectrômetro de massas foram realizadas infusões, ou seja, injeções diretas no espectrômetro de massas, com solução analítica padrão de 1 mg L⁻¹ de cada composto individualmente. A partir das infusões, foi escolhido o modo de ionização da fonte (ESI – Ionização por eletrospray), que produz íons do analito na fase líquida antes de entrarem no espectrômetro de massas. O modo de ionização negativo foi utilizado para os seguintes compostos: ácido chiquímico, ácido quínico, ácido desidrochiquímico, glyphosate e AMPA. Para os três aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina e triptofano), foi utilizado o modo de ionização positivo.

Foram realizadas avaliações da taxa de transporte de elétrons (ETR) no fotossistema II em 0, 24, 216, 336 e 696 Horas após a aplicação (HAA), que correspondem a 0, 1, 9, 14 e 30 DAA, das doses do glyphosate. O aparelho utilizado nessa avaliação foi um fluorômetro portátil (Multi-Mode Chlorophyll Fluorometer OS5p – Opti Sciences), com leituras realizadas em duas folhas por planta, de uma planta de cada repetição e o protocolo utilizado foi o Yield

Para análises do efeito de hormesis, foi utilizado o modelo de regressão apresentado por Brain e Cousens (1989) para descrever a curva de dose-resposta com estímulo em baixas doses:

$$y = F(x) = \frac{k + fx}{1 + e^{bg} x^b} + d$$

Onde y = produção do tratamento; x = dose do herbicida; k = resposta média da testemunha; f = taxa de estímulo em doses próximas a zero; d = resposta em doses infinitas; b = determina como a produção decresce com a dose; g = $-\log_e(ED_{50})$

Os dados de ETR foram analisados através da área abaixo da curva de ETR nos diferentes períodos, por meio da seguinte fórmula:

$$y = (ETR_i + ETR_f) \cdot (t_f - t_i) / 2$$

Onde y = área abaixo da curva de ETR; ETR_i = ETR inicial; ETR_f = ETR final; t_f = Tempo final; t_i = Tempo inicial.

Foi calculado ainda o intervalo de confiança a 95% para os dados de ETR.

Somando-se as áreas abaixo da curva de ETR obteve-se a Área Acumulada Abaixo da Curva de ETR, e esta foi analisada por meio da seguinte regressão linear:

$y = bx + a$, considerando o valor de interseção = 0 (zero), temos:

$$y = bx$$

Onde y = ETR; b = Coeficiente Angular; x = tempo

Para análise dos compostos químicos ácido chiquímico, ácido quínico, ácido desidrochiquímico, glyphosate AMPA, fenilalanina, tirosina e triptofano os dados foram submetidos à análise de variância e suas médias comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

5.1.2 Estudo 2 – EUA

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação, com controle de temperatura e umidade e luz suplementar para promover 14 horas de luz diária no Natural Products Utilization Research, pertencente ao United States Department of Agriculture (USDA) em Oxford, Mississippi, Estados Unidos da América. O experimento considerou dois blocos experimentais, com 3 repetições no primeiro e 5 no segundo, sendo que o primeiro bloco foi conduzido entre fevereiro e março e o segundo entre abril e maio

de 2012. Os dois blocos, separados no tempo, foram mantidos nas mesmas condições experimentais. Este experimento contou, portanto, com dois blocos e 8 repetições.

Cinco sementes de soja convencional (sensível ao glyphosate), variedade 477.TCS (eMerge Genetics) foram semeadas em vasos de 7,6 L, contendo substrato comercial (Scotts Premium TopSoil). O substrato foi adubado e irrigado conforme as necessidades das plantas e após a emergência as plantas foram desbastadas de forma a manter uma planta uniforme por vaso.

Quando as plantas se apresentavam no estágio V2 foi realizado pré-tratamento com subdoses de glyphosate e 14 dias depois foi realizada a segunda aplicação, novamente com o glyphosate sobre as plantas inicialmente pré-tratadas, em um esquema fatorial 4 x 7, sendo 4 doses de glyphosate no pré-tratamento e 7 doses na segunda aplicação, conforme as doses apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Doses do glyphosate utilizadas no pré-tratamento e na segunda aplicação do ensaio.

Herbicida glyphosate	Doses (g e.a.ha ⁻¹)							Aplicação
Doses do pré-tratamento	0	1,8	3,6	7,2				V2
Doses da 2ª aplicação	0	1,8	3,6	7,2	36	180	720	14 DAA1*

*14 Dias após a primeira aplicação

A calda de pulverização foi preparada utilizando glyphosate-isopropylammonium técnico (>95% de pureza) com Tween 20 (Sigma-Aldrich) na concentração de 0,25% da calda. O glyphosate técnico foi usado para minimizar interferências associadas com desconhecidos ingredientes das formulações comerciais. A testemunha também foi tratada com Tween 20.

Todas as aplicações foram realizadas utilizando uma câmara de aplicação (Generation III Spray Booth) equipada com uma ponta TeeJet EZ 8002, jato cônico e ângulo de aplicação de 80°. O equipamento foi regulado para mover sobre as plantas em velocidade de 1,5 km h⁻¹ e calibrado para fornecer um volume de aplicação de 360 L ha⁻¹.

Os tratamentos foram arranjados em blocos inteiramente casualizados com três repetições no primeiro experimento e cinco no segundo, totalizando 8 repetições. As plantas foram coletadas aos 21 dias após a segunda aplicação (21 DAA2 ou 35 DAA1), para determinar a massa de matéria seca da raiz, parte aérea e total (raiz + parte aérea).

As concentrações do ácido chiquímico nas folhas de soja foram avaliadas segundo metodologia desenvolvida por Shaner et al., (2005), e os valores expressos em $\mu\text{g mL}^{-1}$ de solução de HCl. Um disco foliar (4 mm de diâmetro) foi retirado de uma folha jovem de soja aos 7 dias após a segunda aplicação e colocadas em poços separados de uma placa de microtitulação, cada um contendo 100 μL de 10 mM de amônio fosfato monobásico (pH 4,4)/0,25% (v/v) de Tween 20. As placas foram colocadas em um freezer -80°C por uma hora e descongelada em 60°C por 30 min, 25 μL de 1,25 N HCl foi adicionado em cada poço, e as placas foram encubadas a 60°C por 15 min. Aliquotas de 25 μL foram transferidas para outra placa com 100 μL de 0,25% de ácido periódico/0,25% de sódio *m*-periodato em cada poço e mantida a 25°C por 90 min e então 100 μL de 0,6 N NaOH/0,22 M sulfito de sódio foi adicionado em cada poço. O ácido chiquímico foi determinado com ajuda de um espectrofotômetro a 380 nm.

As análises estatísticas utilizadas foram as mesmas apresentadas no Experimento 1.

5.2 Estudo com outros herbicidas

O experimento foi conduzido em vasos, em casa de vegetação, com temperatura controlada variando de 24 a 28°C , localizada no Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NuPAM), pertencente ao Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal da Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Campus de Botucatu (SP), entre abril e maio de 2011.

Como substrato foi utilizado solo coletado de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd), textura média, localizado na unidade Patrulha da Fazenda Lageado – Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Campus de Botucatu (SP), cujas análises química e granulométrica foram apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

A pulverização dos herbicidas foi realizada utilizando os mesmos equipamentos e condições descritas no Experimento 1.

As unidades experimentais foram constituídas por vasos de 7 L de capacidade volumétrica. Os vasos foram preenchidos com o solo corrigido e adubado conforme análise química. A soja, cultivar V Max RR (tratada com o fungicida Maxim

XL, na dose de 100 mL 100 kg⁻¹ de sementes) foi semeada e depois desbastada, mantendo-se duas plantas por vaso. Durante o ensaio, o solo foi mantido com umidade próxima à capacidade de campo.

Quando as plantas se apresentavam no estágio V2 foi realizada a aplicação dos herbicidas nas doses testadas, conforme Tabela 2. Foi adicionado a calda de pulverização 0,5% de Aterbane (também pulverizado na testemunha).

Os tratamentos foram arranjados em blocos inteiramente casualizados com 4 repetições. As plantas foram coletadas aos 34 dias após aplicação para determinar o peso seco da parte aérea das plantas de soja.

Tabela 4. Produtos e doses utilizadas no ensaio.

Herbicida	Doses (g i.a.ha ⁻¹)						Produto Comercial	Mecanismo de ação	Concentração
Amicarbazone	3,5	7	14	70	350	1400	Dinamic	Inibidor do fotossistema II	700 g Kg ⁻¹
Mesotrione	0,96	1,92	4,8	9,6	48	192	Callisto	Inibidor de carotenóides	480 g L ⁻¹
Imazapic	0,525	1,05	5,25	10,5	56	150,5	Plateau	Inibidor da ALS	700 g Kg ⁻¹
Carfentrazone	0,25	0,5	1	5	10	50	Aurora	Inibidor da Protox	400 g Kg ⁻¹

Foram realizadas avaliações da taxa de transporte de elétrons (ETR) no fotossistema II em 0, 4, 24, 48, 96, 144, 264, 336, 504 e 816 Horas após a aplicação (HAA) das doses do amicarbazone e carfentrazone e 0, 24, 48, 96, 144, 264, 336, 504 e 816 Horas após a aplicação (HAA) das doses do mesotrione e imazapic. Iniciou-se a avaliação 4 HAA somente dos herbicidas amicarbazone e carfentrazone pois estes apresentaram resposta mais rápida que os demais herbicidas testados. O aparelho utilizado nessa avaliação foi um fluorômetro portátil (Multi-Mode Chlorophyll Fluorometer OS5p – Opti Sciences), com leituras realizadas em duas folhas por planta, e o protocolo utilizado foi o Yield

Os dados de ETR foram analisados através da Área Abaixo da Curva de ETR nos diferentes períodos, através da seguinte fórmula:

$$y = (ETR_i + ETR_f) \cdot (t_f - t_i) / 2$$

Onde y= Área Abaixo da Curva de ETR; ETR_i = ETR inicial; ETR_f = ETR final; t_f = Tempo final; t_i = Tempo inicial.

Foi calculado ainda o intervalo de confiança a 95% para os dados de ETR.

Como não houve hormesis nas subdoses destes herbicidas testados, os dados de massa residual seca foram analisados através da aplicação do teste F sobre a análise de variância, com objetivo de detectar a significância da interação. Quando significativos, os níveis do fator herbicida (doses) foram analisados com emprego de regressão não-linear do tipo logístico. A variável controle foi ajustada ao modelo proposto por Streibig et al., (1988):

$$y = \frac{a}{1 + \left(\frac{x}{x_0} \right)^b}$$

Onde y = porcentagem de controle; x = dose do herbicida; e a , x_0 e b = parâmetros da curva, de modo que a é a diferença entre o ponto máximo e mínimo da curva, x_0 é a dose que proporciona 50% de resposta da variável e b é a declividade da curva.

O modelo logístico apresenta vantagens, uma vez que um dos termos integrantes da equação é uma estimativa do valor de C_{50} (*control by 50%*) e o GR_{50} (*growth reduction by 50%*) que são as doses do herbicida que proporcionam 50% de controle ou de redução de massa da planta daninha, respectivamente (Christoffoleti, 2002).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Glyphosate

6.1.1. Estudo 1 – Brasil

O glyphosate aplicado na dose de 720 g e.a. ha⁻¹ matou as plantas soja e por isso os dados desta dose não foram utilizados na confecção da curva de regressão, já que esta não se ajustava devido aos valores “0”. Com exceção da massa seca total, cuja curva de regressão não se ajustou sem esta dose. Os valores máximos da massa seca de raiz, parte aérea e total foram estimados para as doses de 0,4; 0,2 e 3,9 g e.a. ha⁻¹ respectivamente (Tabela 5).

Observa-se na Figura 2, que o estímulo promovido pelo glyphosate sobre as plantas de soja foi significativamente maior nas raízes, com incremento máximo em relação à testemunha de 254%, do que na parte aérea da planta, com incremento máximo em relação à testemunha de 133%, isto provavelmente por ocasião do encerramento do ensaio aos 30 DAA. Velini et al. (2008) acreditam que para observar efeitos nas raízes é necessário maior tempo de cultivo das plantas, já que em seu estudo, foi observado o incremento no sistema radicular em plantas de eucalipto e pinus que foram cultivadas por maior tempo (60 DAA) e não houve incremento em plantas de soja e milho que foram cultivadas por período mais curto (14 – 21 DAA).

Avaliações de ETR, como a área abaixo da curva de ETR (Figura 3), indicam que houve resposta positiva da aplicação de subdoses de glyphosate já em 24 horas após a aplicação (HAA), na dose de 1,8 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate que apresentou ETR superior à testemunha e manteve-se mais alta, em relação à testemunha, até 216 HAA. Nas avaliações seguintes, 336 e 696 HAA, este incremento da ETR promovida pelas subdoses do glyphosate não foram observadas. Havaux e Niyogi (1999) e Osmond (1994) citam que em plantas sob condições de estresse, a menor eficiência fotossintética pode ser causada pela menor dissipação de energia através do transporte de elétron (ETR). Segundo Ahsan et al. (2008), o glyphosate pode ainda afetar diretamente a fotossíntese da planta, reduzindo a atividade da ribulose bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco), do ácido 3-fosfoglicérico, diminuindo a síntese de clorofila e interferindo na organização do aparelho fotossintético (MARIA et al., 2005; AHSAN et al., 2008).

Tabela 5. Parâmetros das equações de regressão para análise da massa seca residual da raiz, parte aérea e total das plantas de soja aos 30 DAA, valores máximos de crescimento estimados e dose do glyphosate para estes valores.

Parte da planta	Parâmetros da regressão					R ²	F	Valores máximos	
	<i>g</i>	<i>b</i>	<i>k</i>	<i>d</i>	<i>f</i>			% da testemunha	Dose glyphosate (g e.a. ha ⁻¹)
Raiz	0,9876	1,9533	-13,063	113,036	789,5157	0,9134	47,3327**	253,88	0,4
Parte aérea	2,0999	1,3383	26,162	73,8414	740,0316	0,9564	450,6799**	133,33	0,2
Total	-1,528	1,0295	834,731	-731,93	190,266	0,8058	12,3918**	124,07	3,9

**Significativo a 1% de probabilidade

A análise das mudanças da fluorescência da clorofila oferece muitas possibilidades não só para determinar o local de inibição do transporte de elétrons pelo herbicida, mas também para relacionar as injúrias do herbicida com taxa de absorção e/ou concentração aplicada (RICHARD Jr et al., 1983). Guidi et al. (2000) observaram diminuição no transporte de elétrons em folhas de *Phaseolus vulgaris* tratadas com paraquat. Assim como Chagas (2007), trabalhando com a cultivar SP 80-3280 de cana-de-açúcar, verificou diminuição no transporte de elétrons com aplicação de paraquat, ou seja, um decréscimo na eficiência quântica que danifica o aparato fotossintético. Esses autores inferiram que o paraquat foi capaz de induzir danos ao PSII, excedendo a capacidade fotoprotetora da planta.

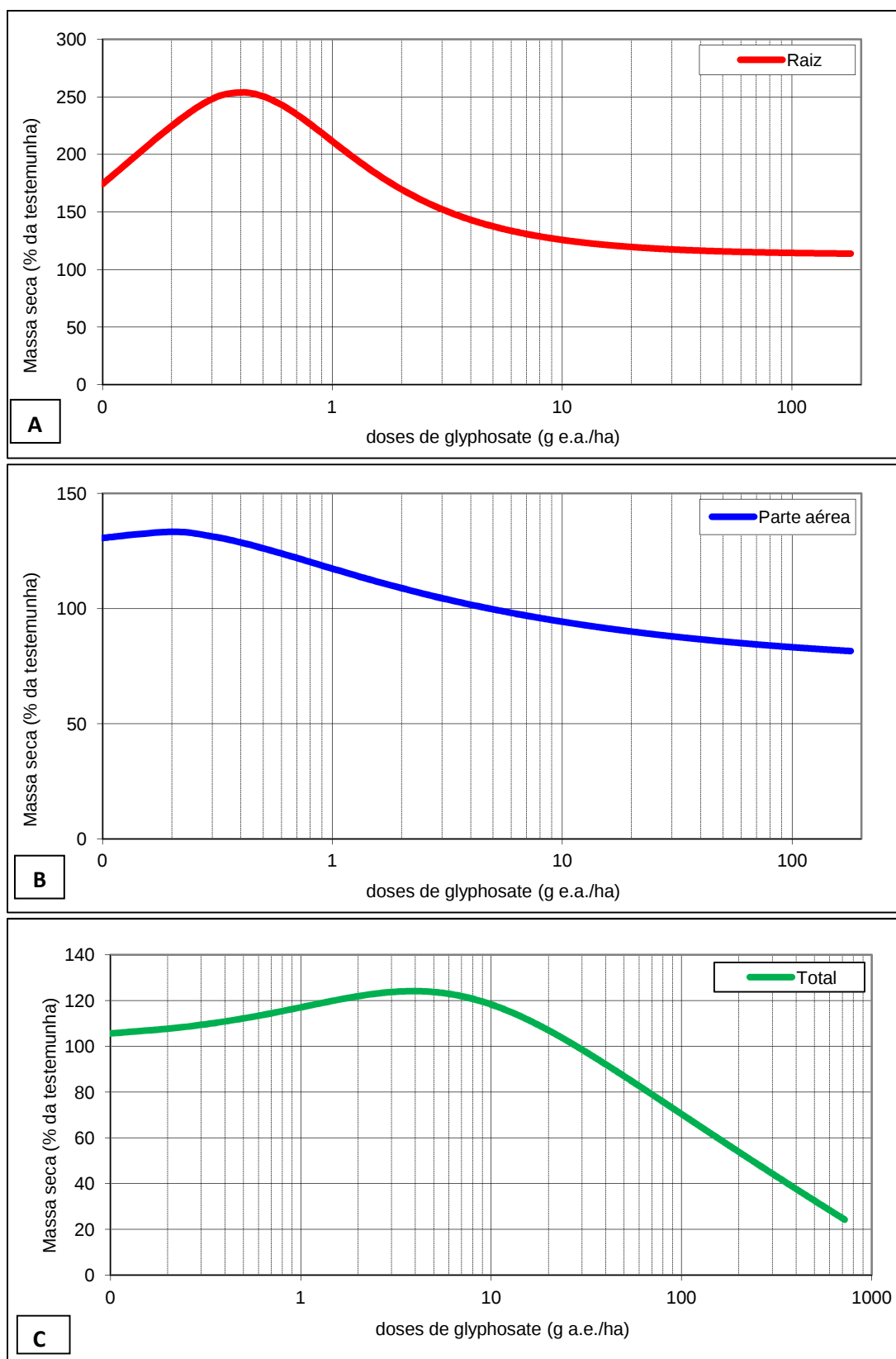


Figura 2. Curvas representando a massa seca residual das plantas de soja da raiz (A), parte aérea (B) e massa seca total (C) aos 30 dias após aplicação do glyphosate.

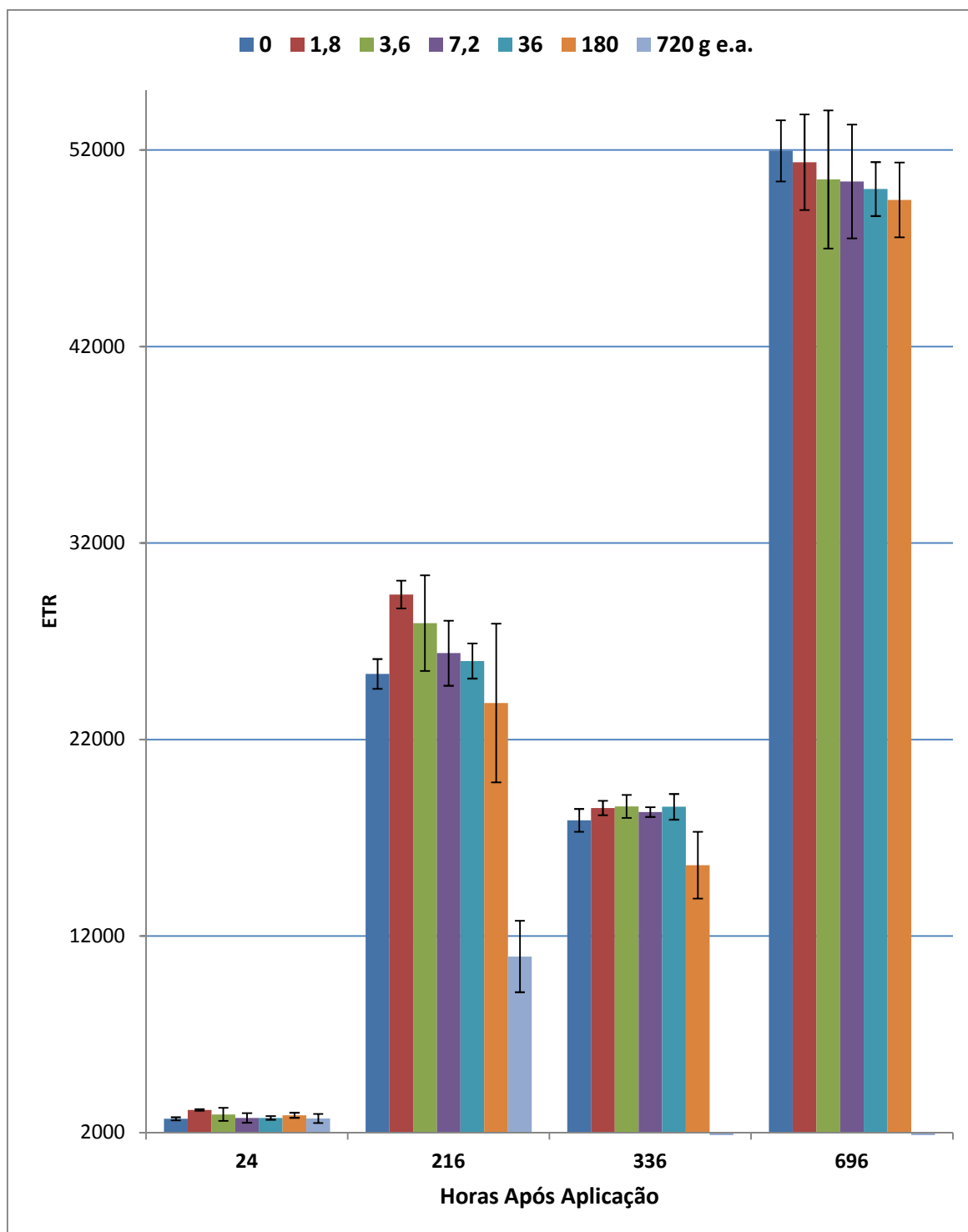


Figura 3. Área abaixo da curva de ETR e intervalo de confiança (95%) em 24, 216, 336 e 696 Horas após a aplicação do glyphosate.

Na avaliação da área acumulada abaixo da curva de ETR (Figura 4), nota-se que até as 336 HAA do glyphosate as retas das doses de 1,8 e 3,6 g e.a. ha⁻¹ foram superiores à testemunha, mas esta diferença tendeu a diminuir e se igualar ao final

do experimento (696 HAA). Também é possível observar na Tabela 6 o efeito de hormesis na ETR promovido pelas subdoses do glyphosate por meio do incremento no coeficiente angular das retas da Figura 3, principalmente nos períodos de 24 a 216 e 24 a 336 HAA após a aplicação em que o incremento produzido pela dose de 1,8 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate foi de 16 e 12,5% respectivamente. No período de 24 horas até o final do experimento, 696 HAA, o efeito de hormesis é diluído. Machado et al., (2010) observaram estímulo na taxa de fotossíntese e na eficiência no uso de água por plantas de eucalipto submetidas a aplicação de subdoses 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 a subdoses de glyphosate, sendo que esse efeito persistiu até a colheita.

Estes dados de ETR que demonstram que o efeito de hormesis é mais intenso em períodos mais curtos após a aplicação do glyphosate, em 216 e 336 HAA ou 9 e 14 DAA também podem ser observados através da Figura 5, que apresenta imagens das plantas de soja aos 9, 14 DAA e ao final do ensaio (30 DAA), com claro efeito visual de hormesis nas subdoses do glyphosate aos 14 DAA e praticamente sem efeito das subdoses aos 30 DAA. Apesar de se observar uma pequena diferença de crescimento das plantas com aplicação das subdoses do glyphosate aos 9 DAA em relação à testemunha, inclusive com valor de ETR superior ao da testemunha neste período, a resposta em ganho de massa, visualmente, foi mais contundente somente aos 14 DAA.

Na Tabela 6, além dos parâmetros das regressões lineares das Áreas acumuladas abaixo das curvas de ETR apresentadas na Figura 3, observa-se também o Incremento no coeficiente Angular (%) em relação à testemunha, que é outra maneira de observar o efeito de hormesis na ETR medida nos diferentes períodos. No primeiro período, entre 24 e 216 HAA foi observado o maior incremento no coeficiente angular (16%) na dose de 1,8 g ha⁻¹ de glyphosate e este incremento se manteve, mesmo que pequena, até a dose de 36 g ha⁻¹. A mesma resposta foi observada no período de tempo seguinte (24 – 336 HAA), ainda com alto incremento na dose de 1,8 g ha⁻¹ de glyphosate com 12,5% e este incremento reduz muito no período total de avaliação (24 – 696 HAA), com um incremento máximo de 6,5% na dose de 1,8.

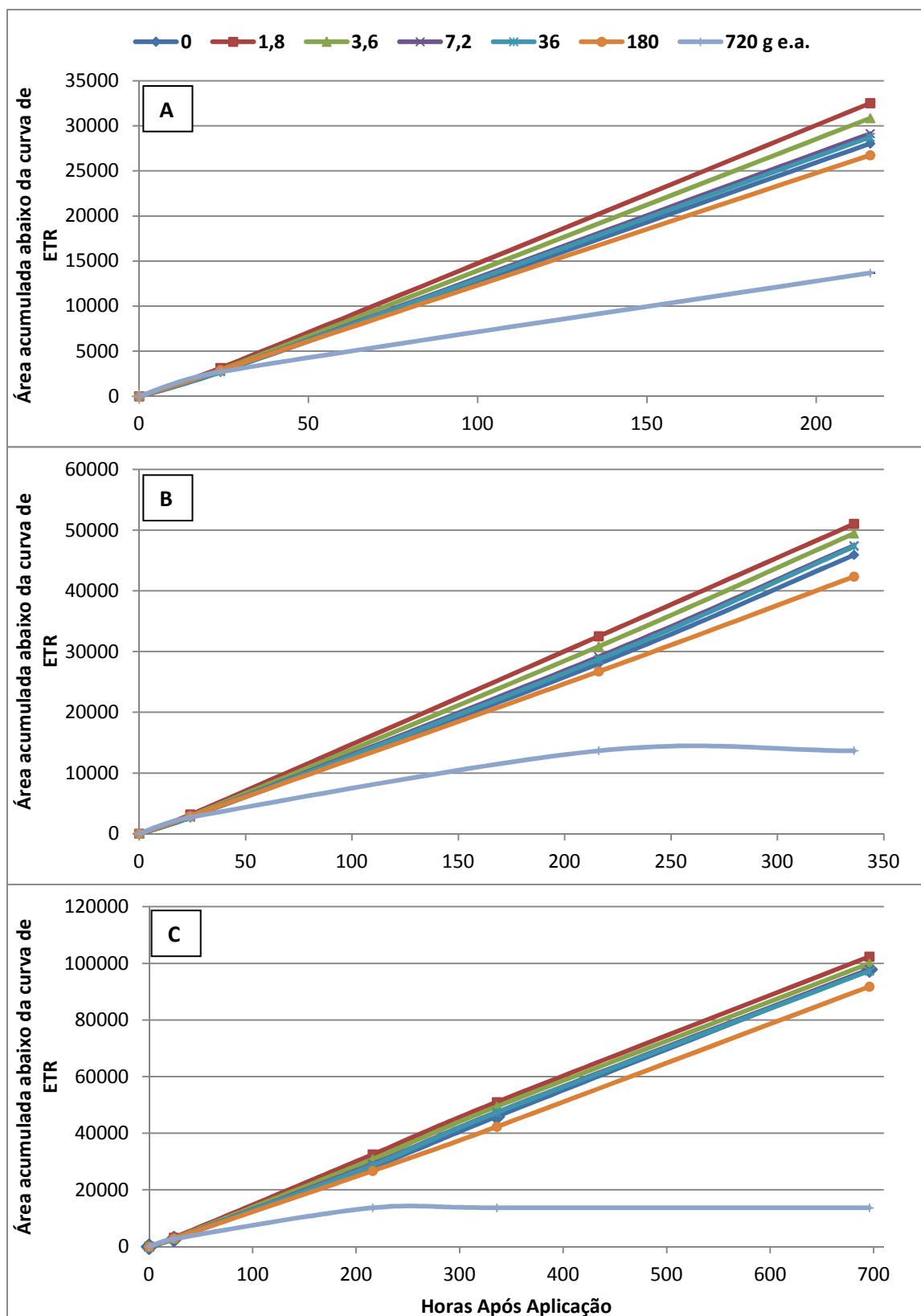


Figura 4. Área acumulada abaixo da curva de ETR, de 24 – 216 (A), 24 – 336 (B) e 24 – 696 (C) Horas após a aplicação do glyphosate.

Tabela 6. Parâmetros da regressão linear entre área acumulada abaixo da curva de ETR e os diferentes períodos avaliados (24 – 216, 24 – 336 e 24 – 696 Horas após a aplicação) para cada dose do glyphosate e incremento percentual no coeficiente angular em relação à testemunha (Increm.).

24 - 216 HAA				24 - 336 HAA				24 - 696 HAA			
Dose Glyphosate	Equação	R ²	Increm. (%)	Equação	R ²	Increm. (%)		Equação	R ²	Increm. (%)	
0	y= 129,60 x	0,9995	-	y= 134,6 x	0,9980	-		y= 139,14 x	0,9987	-	
1,8	y= 150,37 x	0,9995	16,03	y= 151,4 x	0,9997	12,53		y= 148,23 x	0,9995	6,53	
3,6	y= 142,58 x	0,9994	10,02	y= 145,8 x	0,9991	8,34		y= 144,16 x	0,9997	3,61	
7,2	y= 134,68 x	0,9993	3,92	y= 139,3 x	0,9983	3,49		y= 140,28 x	0,9996	0,82	
36	y= 132,86 x	0,9994	2,52	y= 138,4 x	0,9977	2,89		y= 139,51 x	0,9995	0,27	
180	y= 123,76 x	1,0000	-4,51	y= 125,3 x	0,9998	-6,86		y= 130,29 x	0,9987	-6,36	
720	y= 63,95 x	0,9763	-50,66	y= 47,5 x	0,7578	-64,66		y= 26,59 x	-0,2560	-80,89	
1440	y= 72,44 x	0,9820	-44,10	y= 53,9 x	0,7692	-59,94		y= 30,15 x	-0,2180	-78,33	

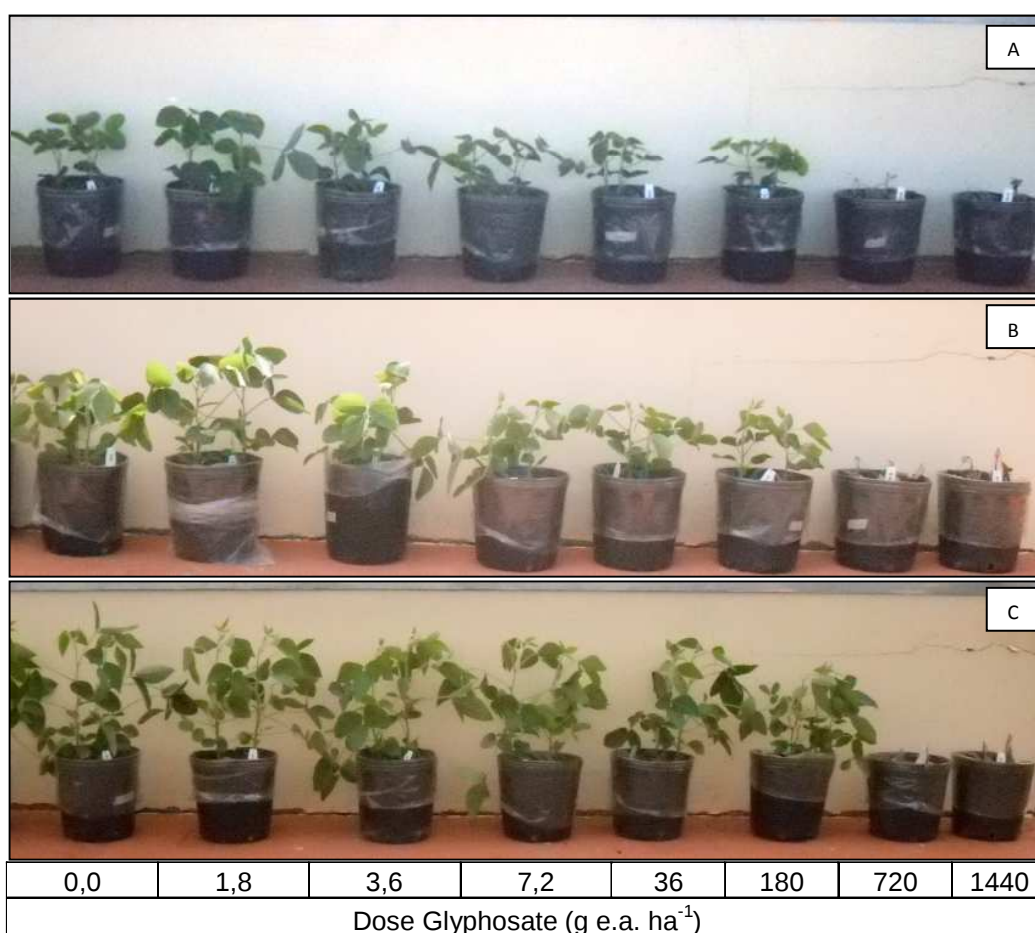


Figura 5. Plantas de soja aos 9 (A), 14 (B) e 30 (C) Dias após a aplicação das diferentes doses do glyphosate.

A análise do ácido chiquímico das folhas de plantas coletadas aos 7 DAA não detectou diferenças estatísticas no acúmulo do ácido nas doses inferiores à 180 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate (Tabela 7). Velini et. al. (2008) conseguiram observar quantidades de ácido chiquímico em subdoses de glyphosate em folhas de plantas coletadas aos 21 DAA, quantidades estas significativamente superiores à testemunha, seguindo metodologia desenvolvida por Singh e Shaner (1998), mas a dose de 1,8 g de glyphosate, por exemplo, não diferenciou da maior dose de glyphosate testada (720 g e.a. ha⁻¹). Portanto, através desta metodologia, um período maior do que 7 dias entre a aplicação do produto e análise química deve ser respeitado. Um estudo de aplicação subdoses de glyphosate com avaliação de ácido chiquímico em diferentes períodos poderia determinar o melhor momento após aplicação para avaliação, criando uma maior correlação com a dose do herbicida e o acúmulo do chiquimato.

Tabela 7. Concentração dos compostos, da rota do ácido chiquímico, na massa seca da soja aos 7 DAA.

Dose Glyphosate (g e.a.ha ⁻¹)	Concentração dos compostos (µg g ⁻¹)						
	Ampa	Ácido Chiquímico	Ácido Benzoico	Ácido Salicílico	Fenilalanina	Tirosina	Triptofano
0	0,0002 b	0,0850 c	0,0140 b	0,0389 a	19,1000 a	3,1350 b	10,5950 a
1,8	0,0002 b	0,0590 c	0,0254 ab	0,0710 a	23,7250 a	4,1103 ab	9,1425 a
3,6	0,0001 b	0,0406 c	0,0425 a	0,1052 a	22,4000 a	2,6775 b	13,9250 a
7,2	0,0000 b	0,0769 c	0,0255 ab	0,0469 a	24,3000 a	4,9000 ab	14,6750 a
36	0,0000 b	0,4658 c	0,0257 ab	0,0740 a	20,5500 a	4,4700 ab	11,9750 a
180	0,0004 b	8,0475 b	0,0251 ab	0,0564 a	16,7475 a	7,8825 a	10,9300 a
720	0,0046 a	83,2000 a	0,0193 ab	0,0598 a	13,2475 a	1,9950 b	7,8825 a
F	48,22**	73,70**	2,96*	1,07 ^{NS}	1,77 ^{NS}	4,47**	1,90 ^{NS}
C.V. (%)	2,12	37,47	13,65	25,99	19,87	24,34	22,03
Incremento em relação à testemunha (%)							
0	-	-	-	-	-	-	-
1,8	17,0	-30,6	81,3	82,6	24,2	31,1	-13,7
3,6	-67,0	-52,3	203,2	170,5	17,3	-14,6	31,4
7,2	-100,0	-9,5	81,8	20,5	27,2	56,3	38,5
36	-76,0	447,9	82,9	90,3	7,6	42,6	13,0
180	91,5	9366,2	78,6	44,9	-12,3	151,4	3,2
720	2185,8	97767,0	37,6	53,6	-30,6	-36,4	-25,6

Médias seguidas de mesma letra, não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

** e * Significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F. NS não significativo.

O Ampa só diferenciou da testemunha na dose de 720 g de glyphosate e o ácido benzoico apresentou incremento em relação à testemunha em todas as doses, apesar de diferenciar estatisticamente apenas na dose de 3,6 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate, com incremento de 203 % (Tabela 7). O ácido salicílico apesar de não diferir estatisticamente, também apresentou incremento em todas as doses do glyphosate, em especial na dose de 3,6 g e.a. ha⁻¹, com incremento de 170 %. O ácido salicílico é um composto fenólico de grande relevância e tem sido bastante discutida a relação do

glyphosate com a síntese deste composto, em função do mesmo induzir a resistência a patógenos. O ácido salicílico é o principal composto sinalizador envolvido no acionamento de genes de resistência a patógenos biotróficos (SHAH, 2003).

A via do ácido chiquímico, a principal rota comum de produção dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano, constitui uma parte do metabolismo somente de plantas e microorganismos, não sendo encontrada em animais (HERRMANN; WEAVER, 1999). Para estes aminoácidos, é possível observar que houve uma resposta positiva, com aumento destes nas menores doses, em relação à testemunha, e redução nas doses mais elevadas. Segundo Herrmann (1995), os aminoácidos aromáticos não são somente utilizados para a produção de proteínas em plantas, mas também como precursores de um grande número de metabólitos secundários (pigmentos, flavonóides, auxinas, fitoalexinas, lignina e taninos). Estima-se que, sob condições normais de desenvolvimento, 20% do carbono fixado pelas plantas pode ser direcionado para a rota do ácido chiquímico (HASLAM, 1993). Portanto, o aumento destes aminoácidos com baixas doses do glyphosate, pelo efeito de hormesis, pode resultar no aumento da biomassa das plantas.

6.1.2. Estudo 2 – EUA

Após os resultados do Experimento 1, em especial os dados de ETR que demonstraram que o efeito de hormesis tem um pico e depois com o tempo tal efeito é estabilizado, chegando aos mesmos patamares que a testemunha este experimento teve como objetivo estimular o efeito de hormesis com subdoses do glyphosate e depois reaplicar o herbicida na tentativa de manter a hormesis por mais tempo.

Os coeficientes de determinação e níveis de significância para o modelo de hormesis adotado para os dados de matéria seca da parte aérea, raiz e total com os pré-tratamentos de 0,0; 1,8; 3,6 e 7,2 g e.a.ha⁻¹ e o crescimento máximo estimado pelos modelos e a dose de glyphosate para estes máximos valores estão na Tabela 8.

Observa-se que nos três parâmetros avaliados, parte aérea, raiz e total, na Tabela 8, houve tendência da dose mais alta do pré-tratamento (7,2 g e.a. ha⁻¹) apresentar os valores máximos de hormesis em doses mais altas de glyphosate, ou seja, com a dose mais alta do pré-tratamento foi necessário maior quantidade de glyphosate para se atingir o máximo de hormesis, ocorrendo um deslocamento da curva de hormesis para

frente. Com o pré-tratamento na dose de 7,2 g e.a. ha⁻¹, a quantidade de glyphosate necessária para se atingir o máximo incremento em relação à testemunha foram de 47, 17 e 18 g e.a. ha⁻¹, respectivamente para parte aérea, raiz e total, sendo estes, as mais altas doses de glyphosate dentro de cada parâmetro avaliado.

Tabela 8. Parâmetros das equações de regressão para análise da massa seca residual da raiz, parte aérea e total das plantas de soja aos 30 DAA, valores máximos de crescimento estimados e dose do glyphosate para estes valores.

Dose pré-tratamento	Parâmetros da regressão					R ²	F	Valores máximos	
	<i>g</i>	<i>b</i>	<i>k</i>	<i>d</i>	<i>f</i>			% da testemunha	Dose glyphosate
Parte aérea									
0,0	-4,05	1,00	14479,00	-14379,60	252,50	0,9257	125,26**	106,56	18,2
1,8	-3,92	1,00	15097,03	-14996,00	300,81	0,9886	510,50**	104,91	9,0
3,6	0,43	0,62	-42,47	136,57	-10,97	0,9928	753,23**	115,63	3,2
7,2	-5,10	1,28	175,46	-77,85	1,02	0,9480	140,84**	108,01	47,0
Raiz									
0,0	-2,96	1,13	187,48	-88,73	10,11	0,9706	171,91**	107,16	7,4
1,8	-2,75	1,32	90,06	-7,44	7,18	0,9739	145,93**	96,91	8,3
3,6	-2,36	1,00	6895,89	-6806,67	657,41	0,9485	79,00**	120,26	11,3
7,2	-3,36	1,27	125,77	-30,67	5,54	0,9226	63,23**	114,83	16,6
Total									
0,0	-3,08	1,01	2872,85	-2774,77	132,31	0,9487	148,46**	107,10	10,3
1,8	-2,26	1,01	1384,87	-1292,05	146,63	0,9439	90,92**	100,70	5,3
3,6	-3,47	1,06	362,03	-262,80	11,52	0,8845	42,52**	107,68	12,8
7,2	-4,33	1,13	278,23	-181,26	3,82	0,9543	145,18**	110,26	18,2

**Significativo a 1% de probabilidade

As curvas de regressão da massa seca da parte aérea das plantas de soja (Figura 6) apresentaram bom ajuste com o R² entre 0,93 e 0,99 para os pré-tratamentos. Os valores máximos da matéria seca da parte aérea foram estimados nas doses de 18,2; 9,0; 3,2 e 47,0 g e.a.ha⁻¹ de glyphosate, respectivamente para os pré-tratamentos com 0,0; 1,8; 3,6 e 7,2 g de glyphosate. E destes, o maior estímulo de crescimento foi obtido no pré-tratamento com 3,6 g de glyphosate em que o valor máximo percentual de massa seca em relação à testemunha foi de 115,6 %, seguido pelos pré-tratamentos com 7,2; 0,0 e 1,8 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate (Tabela 8). Ou seja, baseado nos resultados, para se obter o máximo crescimento da parte aérea das plantas de soja o melhor tratamento seria a aplicação de 3,6 g de glyphosate no pré-tratamento, seguido pela aplicação de 3,2 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate 14 dias após o pré-tratamento.

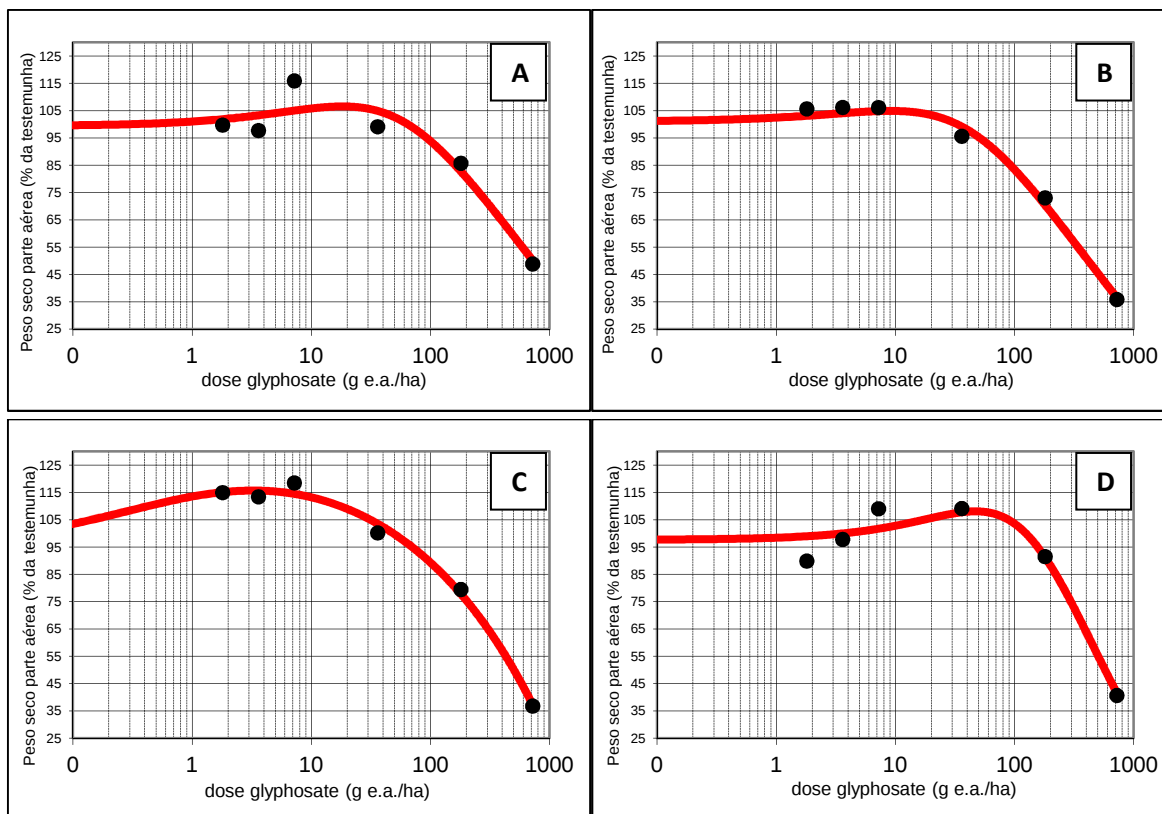


Figura 6. Curvas representando a massa seca residual da parte aérea das plantas de soja aos 21 dias após a segunda aplicação (DAA2) do glyphosate e 35 dias após primeira aplicação (DAA1) dos pré-tratamentos, com 0,0; 1,8; 3,6 e 7,2 g e.a.ha⁻¹, respectivamente em A, B, C e D.

O maior crescimento de raízes foi novamente observado no pré-tratamento com 3,6 g e.a. ha⁻¹, com a segunda aplicação na dose de 11,3 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate com incremento de 120% em relação à testemunha absoluta (sem aplicação do glyphosate). O pré-tratamento com 1,8 g e.a. ha⁻¹ glyphosate não apresentou incremento na produção de massa seca da raiz em relação à testemunha absoluta, mas é possível observar que sua curva de regressão, na Figura 7-B, apresentou hormesis em relação à sua testemunha que recebeu o pré-tratamento (na dose de 1,8 g e.a. ha⁻¹), mas não recebeu a segunda aplicação de glyphosate, com valores saindo de 83% na dose 0,0 de glyphosate na segunda aplicação (testemunha deste tratamento, que recebeu a pré-aplicação na dose de 1,8) e chegando ao máximo de 97% na dose de 8,3 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate. De acordo com Cedergreen (2008), o estímulo no crescimento é relativamente pequeno e sua significância é muito dependente de variações no controle do crescimento das plantas. Alocação de biomassa entre partes de plantas podem ocorrer em plantas tratadas com todos os herbicidas, mas esta não é a causa da hormesis.

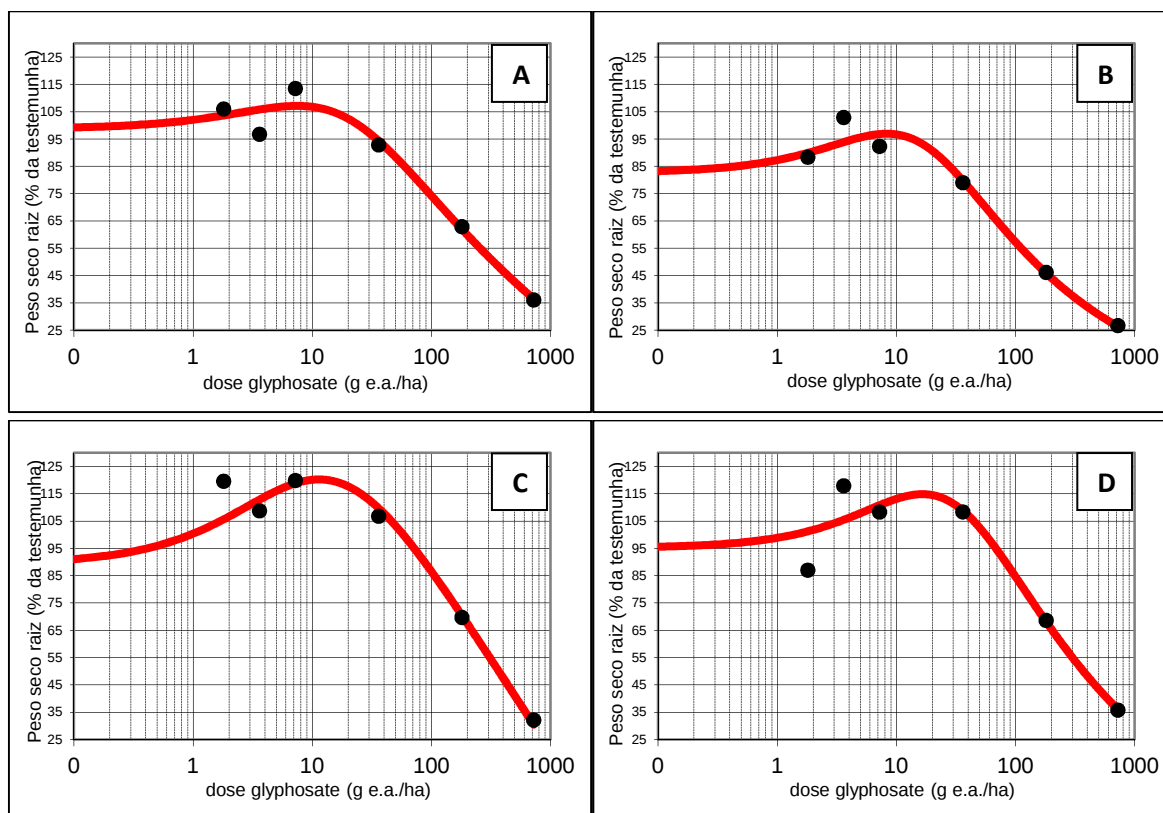


Figura 7. Curvas representando a massa seca residual da raiz das plantas de soja aos 21 dias após a segunda aplicação (DAA2) do glyphosate e 35 dias após primeira aplicação (DAA1) dos pré-tratamentos, com 0,0; 1,8; 3,6 e 7,2 g e.a.ha⁻¹, respectivamente em A, B, C e D.

As curvas da massa seca total das plantas de soja apresentaram bom ajuste das curvas de regressão, com o R^2 variando entre 0,94 e 0,95, com exceção do pré-tratamento com 3,6 g de glyphosate, em que o R^2 foi de 0,89. As doses de glyphosate em que obteve-se o máximo crescimento em relação à testemunha absoluta foram de 10,3; 5,3; 12,8 e 18,2 g e.a. ha⁻¹, com valores de 107, 101, 108 e 110%, respectivamente para os pré tratamentos com 0,0; 1,8; 3,6 e 7,2 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate. Assim como ocorreu para a variável raiz, na massa seca total, o pré-tratamento com 1,8 g de glyphosate praticamente não apresentou hormesis em relação à testemunha absoluta, mas observa-se o efeito de hormesis em sua curva de regressão (Figura 8-B), em que a testemunha deste pré-tratamento apresentou 93% do peso de massa seca em relação à testemunha absoluta e chegou ao valor máximo de 101% na dose de 5,3 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate.

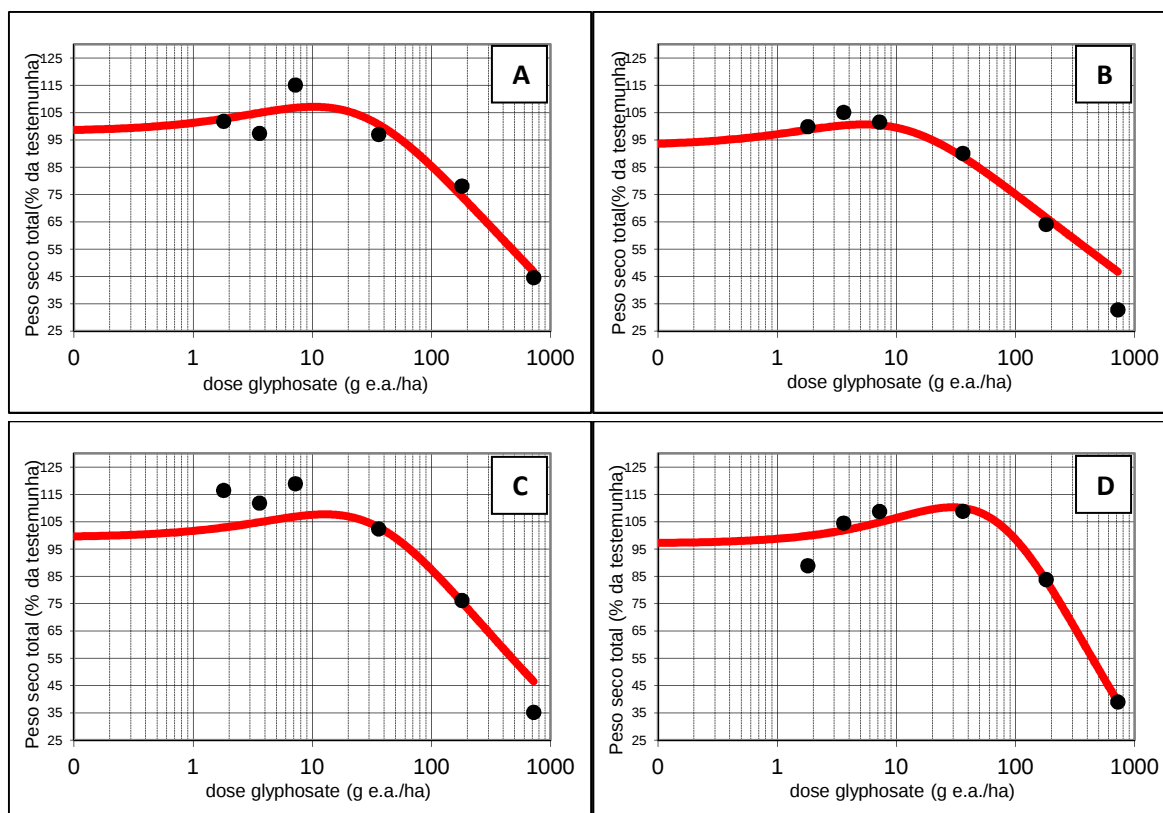


Figura 8. Curvas representando a Massa seca residual total das plantas de soja aos 21 dias após a segunda aplicação (DAA2) do glyphosate e 35 dias após primeira aplicação (DAA1) dos pré-tratamentos, com 0,0; 1,8; 3,6 e 7,2 g e.a.ha⁻¹, respectivamente em A, B, C e D.

O mecanismo causador de incrementos no crescimento de plantas após aplicação de subdoses de herbicidas ainda é desconhecido, mas em trabalho conduzido por Cedergreen e Olesen (2010), estes observaram que baixas doses de glyphosate podem estimular a fotossíntese. Porém, apesar de seu benefício, baixas doses de glyphosate não são recomendadas como estimulante de crescimento para culturas, pois a dose de hormesis poderia variar consideravelmente, dependendo de muitos fatores, como clima, cultivar, estágio fenológico e formulação de glyphosate (VELINI et al., 2010). Carvalho et al. (2013) verificaram que o estágio de aplicação de subdoses do glyphosate influenciou na ocorrência ou não de hormesis em plantas de café recém transplantadas, sendo que as plantas que receberam as subdoses mais tardiamente após o transplântio apresentaram hormesis.

Glyphosate em subdoses de forma comercial é aplicado para estimular o acúmulo de sacarose e evitar o florescimento em cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) (ARALDI et al., 2010; BENNETT; MONTES 2003; CASTRO 1999;

CASTRO; MESCHEDE 2009; CASTRO et al., 2002; CLOWES 1978; 1980; CLOWES; INMAN-BAMBER 1980; DUSKY et al., 1986; MCDONALD et al., 2000; MESCHEDE et al., 2009; SUBIROS 1990; SU et al., 1992; VELINI et al., 2009).

Na avaliação do ácido chiquímico, a partir dos discos foliares de soja deste segundo experimento, é possível observar um aumento do ácido já a partir da dose de 1,8 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate em relação à testemunha (Figura 9), apesar de não diferir estatisticamente. Com relação ao pré-tratamento, estes não apresentaram diferenças estatísticas de acúmulo de ácido chiquímico, apesar de na dose de 720 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate ser possível observar uma tendência de aumento do chiquimato, com o aumento das doses de glyphosate usadas no pré-tratamento.

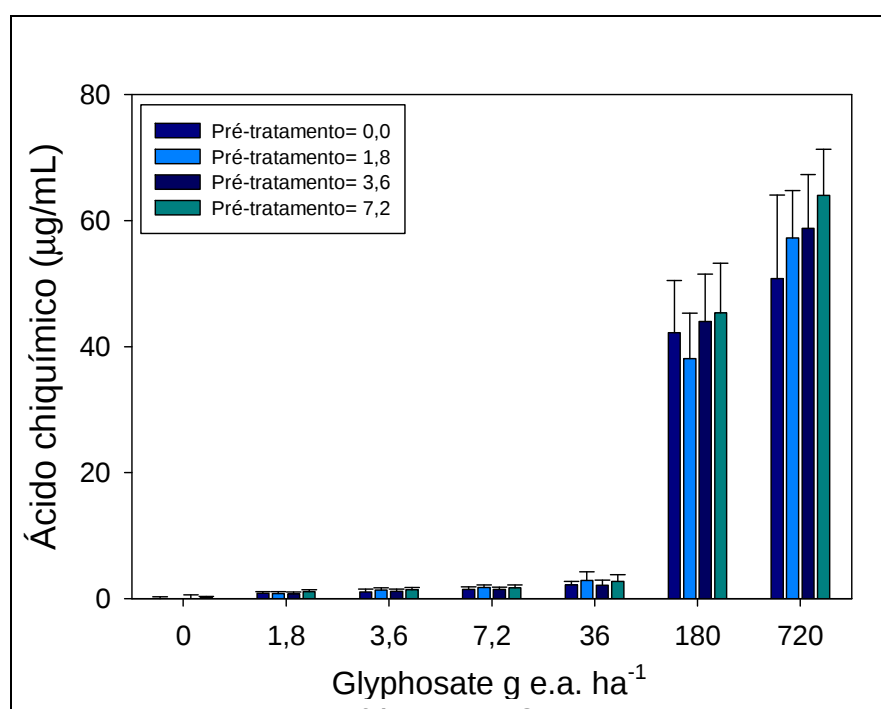


Figura 9. Avaliação do ácido chiquímico de folhas coletadas aos 7 dias após a segunda aplicação das diferentes doses do glyphosate.

6.2. Outros herbicidas

As subdoses dos outros herbicidas testados (amicarbazone, mesotrione, imazapic e carfentrazone), ao contrário do glyphosate não apresentaram efeito de hormesis. Portanto os dados aqui apresentados são de controle da soja e não aumento no

crescimento. Cedergreen (2008) cita que apenas alguns herbicidas, podem induzir um real estímulo em aumento de biomassa quando aplicado em doses correspondentes a 5 – 10% da dose de campo.

Os parâmetros da regressão e níveis de significância do modelo Logístico para os dados de massa seca da parte aérea das plantas de soja após a aplicação de doses crescentes de amicarbazone, mesotrione, imazapic e carfentrazone estão na Tabela 9. Nesta tabela também é possível observar o C_{50} , que é a dose do herbicida necessário para proporcionar 50% de controle, representado pelo parâmetro x_0 na equação de regressão.

Tabela 9. Parâmetros das equações de regressão para análise da Massa seca residual da parte aérea das plantas de soja aos 34 DAA.

Herbicida	Parâmetros da regressão			R^2	F
	a	b	x_0		
Amicarbazone	99,2741	1,6756	61,1049	0,9953	425,2670**
Mesotrione	99,5132	1,3046	2,5156	0,9873	155,4775**
Imazapic	104,0857	0,7982	15,7784	0,9807	101,4122**
Carfentrazone	114,9808	0,5888	3,1208	0,9805	100,7835**

**Significativo a 1% de probabilidade

O herbicida amicarbazone, cuja curva de regressão encontra-se na Figura 10, apresentou alto ajuste com coeficiente de determinação de 0,995 e C_{50} de 61 g i.a. ha^{-1} (Tabela 9). Este herbicida é um inibidor do fotossistema II, recomendado para aplicação em cana-de-açúcar e apresenta absorção radicular e foliar (RODRIGUES e ALMEIDA, 2005; TOLEDO et al., 2004).

O amicarbazone, devido seu mecanismo de ação, inibe a fotossíntese das plantas e o transporte de elétrons, além de paralisar a fixação de CO_2 e $NADPH_2$ (TOLEDO et al., 2004). Neste experimento, nas doses mais altas (350 e 1400 g i.a. ha^{-1}) mataram as plantas de soja (Figura 11).

Araldi et al., (2008) verificaram que a redução dos valores do ETR é um parâmetro que pode ser utilizado para indicar o nível de intoxicação em plantas daninhas, tais como *Ipomoea grandifolia*, *Brachiaria decumbens* e *Digitaria horizontalis*, e estas podem apresentar respostas diferenciadas quando submetidas à ação de herbicidas.

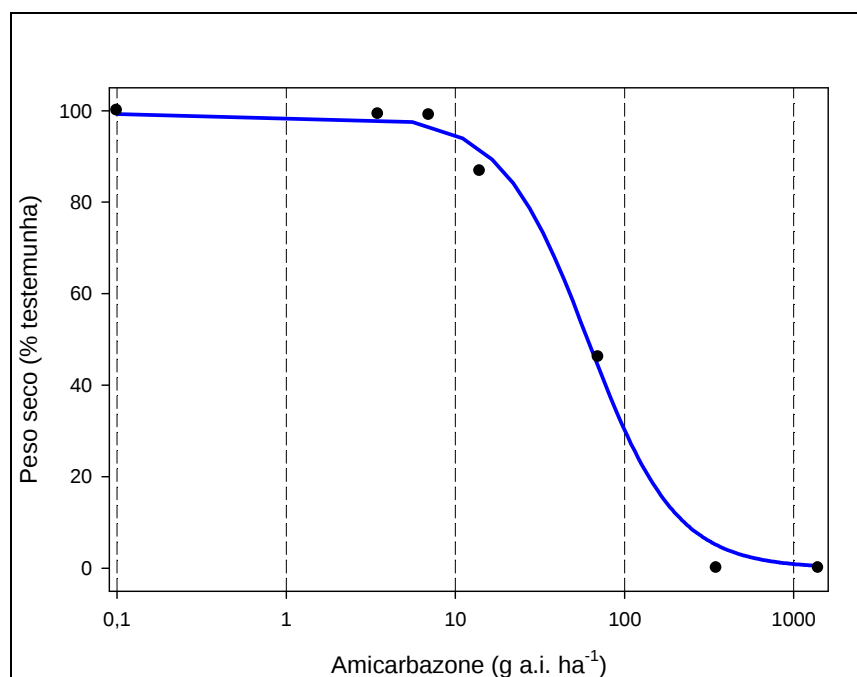


Figura 10. Massa seca residual (%) da parte aérea das plantas de soja quando submetidas a diferentes doses do herbicida amicarbazone.

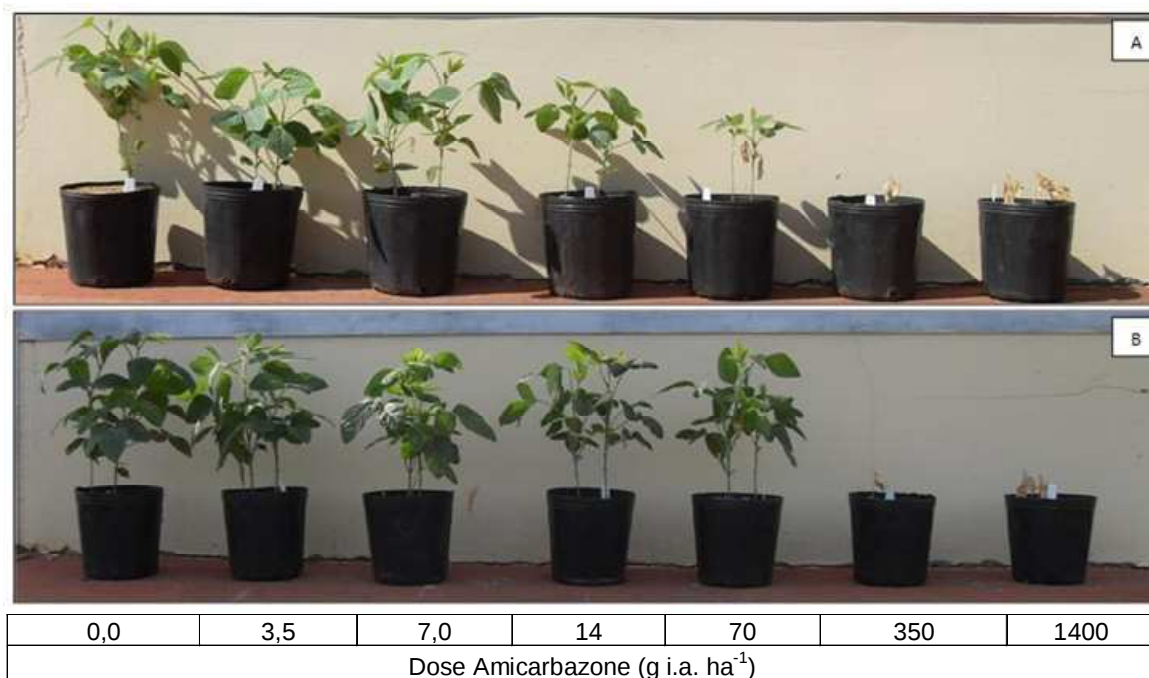


Figura 11. Plantas de soja aos 21 (A) e 34 (B) dias após a aplicação de diferentes doses do herbicida amicarbazone.

Por sua ação no transporte de elétrons, observou-se, já na avaliação de 4 HAA que os dados da área abaixo da curva de ETR foram reduzidos em relação à testemunha (Figura 12). E seu efeito foi ainda mais significativo nas avaliações seguintes de 24, 48 e 96 HAA e somente em 144 HAA os tratamentos com as doses mais baixas do herbicida começaram a recuperar os valores de ETR, que continuaram baixos para a dose de 70 g i.a. ha^{-1} até 264 HAA, enquanto que as doses de 350 e 1400 g i.a. já não apresentavam leituras de ETR a partir de 48 HAA. Araldi et al., (2011) observaram que para *I. Grandifolia* em 48 horas após a aplicação, a inibição em folhas adultas foi de 87%.

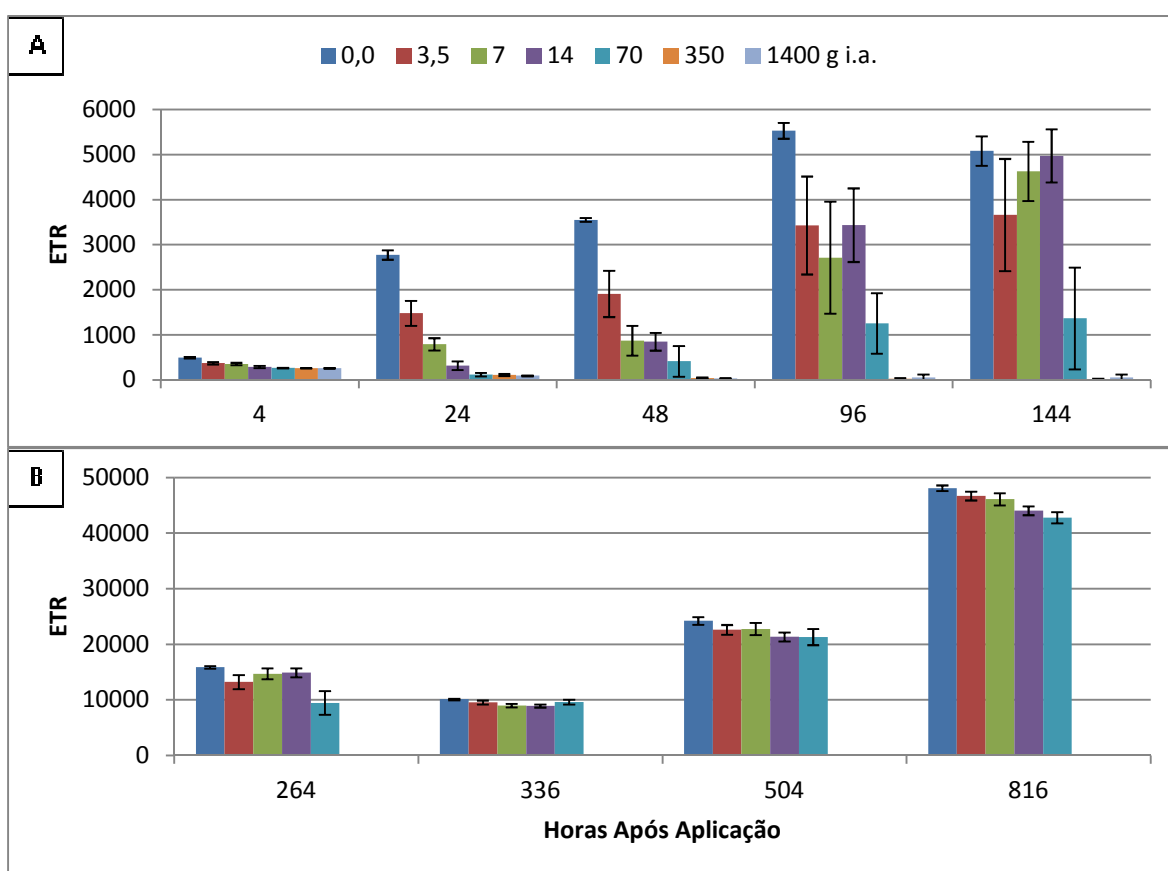


Figura 12. Área abaixo da curva de ETR em 4, 24, 48, 96 e 144 (A) e 264, 336, 504 e 816 (B) Horas após a aplicação do amicarbazone.

A curva de regressão do mesotrione (Figura 13) demonstra que, assim como o amicarbazone, apresentou um baixo C_{50} , quando comparado com a dose comercial para as culturas que apresenta registro, e também nas duas doses mais altas levou as plantas de soja à morte, como pode-se observar na Figura 14. O C_{50} do mesotrione foi de 2,5 g i.a. ha^{-1} (Tabela 9).

Segundo Rodrigues e Almeida (2005), o mesotrione é absorvido tanto pelas raízes quanto pelas folhas e ramos e possui translocação apoplasmática. Apesar de ser bastante móvel na planta, o efeito das subdoses do herbicida foi mais tardio, quando comparado ao amicarbazone, com decréscimos de ETR nas menores doses apenas em 48 HAA, como é demonstrado na Figura 15, que apresenta a área abaixo da curva de ETR. As duas doses que levaram as plantas de soja à morte (48 e 192 g i.a. ha⁻¹) só deixaram de acumular ETR na avaliação de 504 HAA.

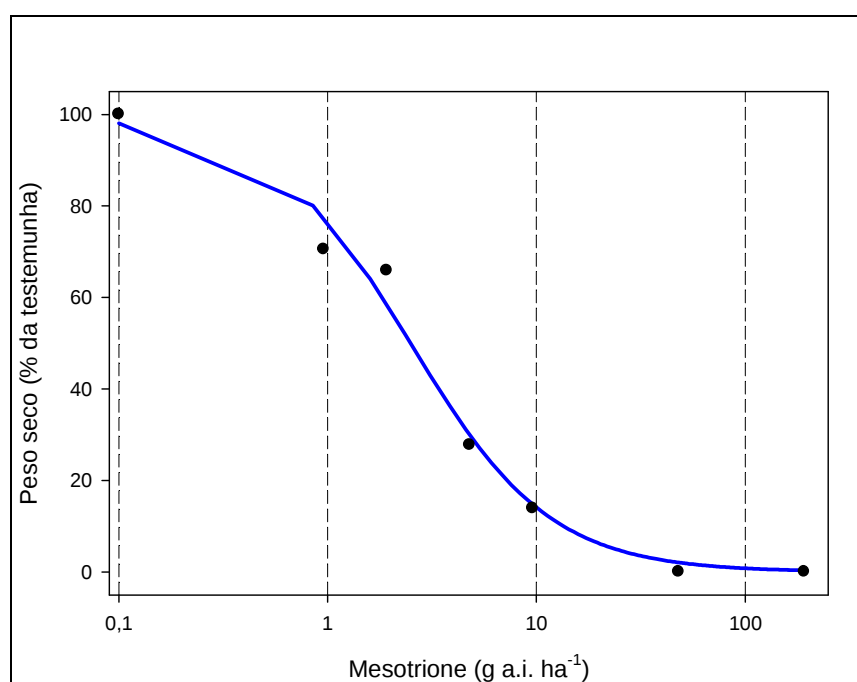


Figura 13. Massa seca residual (%) da parte aérea das plantas de soja quando submetidas a diferentes doses do herbicida mesotrione.

O efeito mais lento do mesotrione em relação aos amicarbazone sobre a ETR se deve por este último ter efeito direto sobre a taxa de transporte de elétrons, enquanto que o mesotrione por atuar na inibição de carotenóides terá um efeito indireto sobre a ETR. Mas após o início do efeito do herbicida sobre a ETR, em 48 HAA, o mesotrione apresentou o maior efeito em relação à testemunha em 144 HAA e manteve seu efeito na redução da ETR até o final do experimento. Cavalieri et al., (2012) também observaram o efeito do mesotrione sobre a taxa de transporte de elétrons em tomateiro, o qual reduziu de forma significativa a ETR em relação à testemunha somente depois de 120 horas após o tratamento.

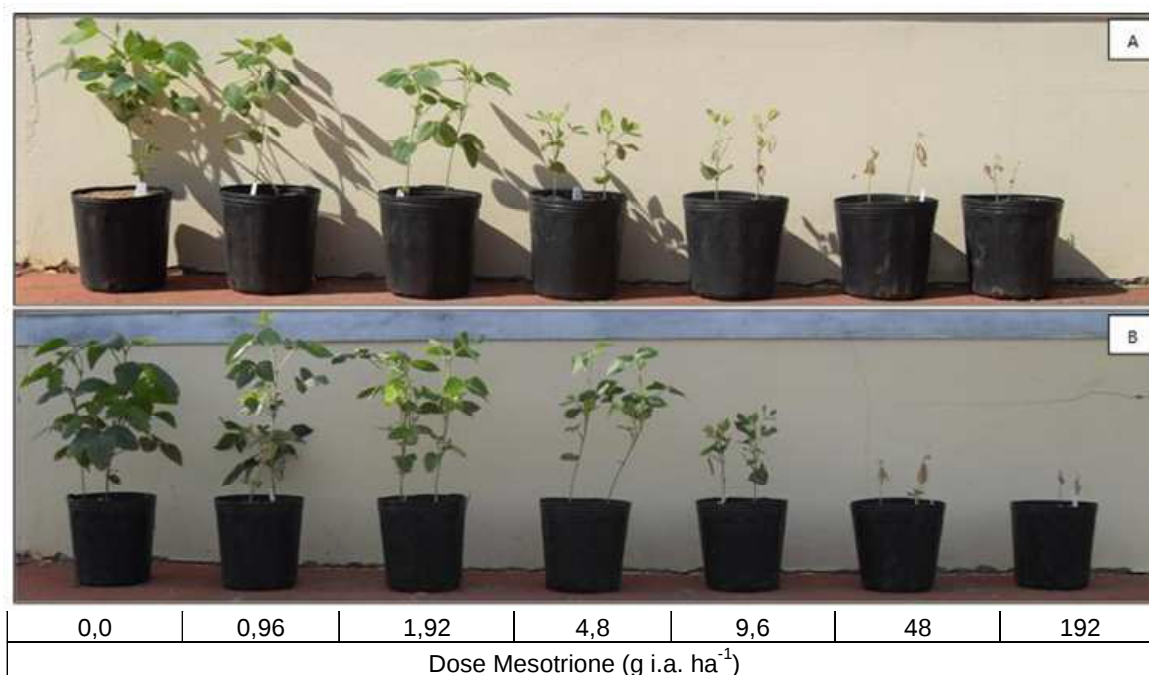


Figura 14. Plantas de soja aos 21 (A) e 34 (B) dias após a aplicação das diferentes doses do herbicida mesotrione.

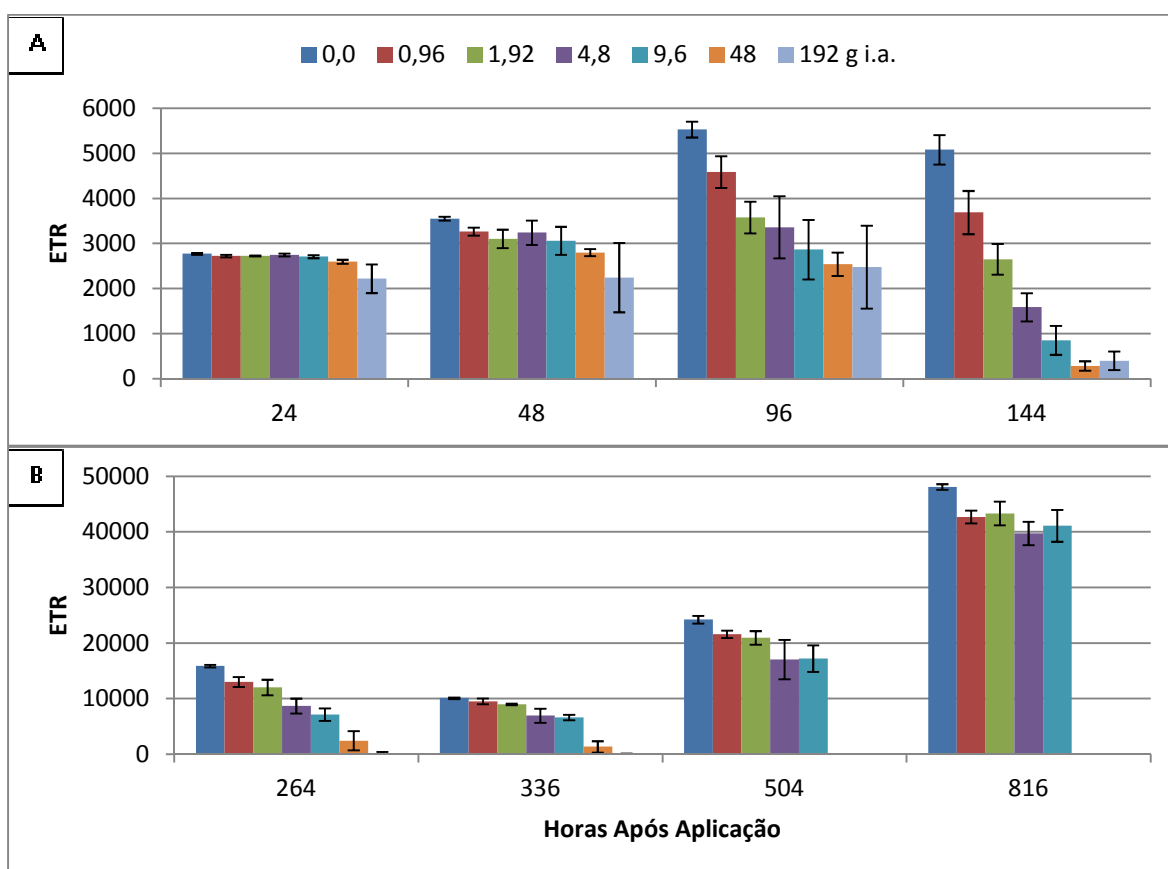


Figura 15. Área abaixo da curva de ETR em 24, 48, 96 e 144 (A) e 264, 336, 504 e 816 (B) Horas após a aplicação do mesotrione.

Cavalieri et al., (2010) observaram efeito de estímulo de crescimento com a aplicação de subdoses de imazapic sobre grama Esmeralda. Houve incremento na altura média da grama nas doses de 2,5 e 5 g i.a. ha⁻¹ aos 40 DAA, mas não houve incremento na massa seca. Da mesma forma, a aplicação do imazapic sobre plantas de soja não apresentou incrementos na massa seca ao final do experimento.

O C₅₀ estimado pela curva de regressão (Figura 16) foi de 15,8 g i.a. ha⁻¹ (Tabela 9). O herbicida, mesmo na dose mais alta, não matou as plantas de soja, mas causou redução na massa seca acima de 80%.

Visualmente as plantas de soja que receberam as menores doses de imazapic apresentaram boa recuperação quando comparadas as imagens de 21 e 34 DAA (Figura 17).

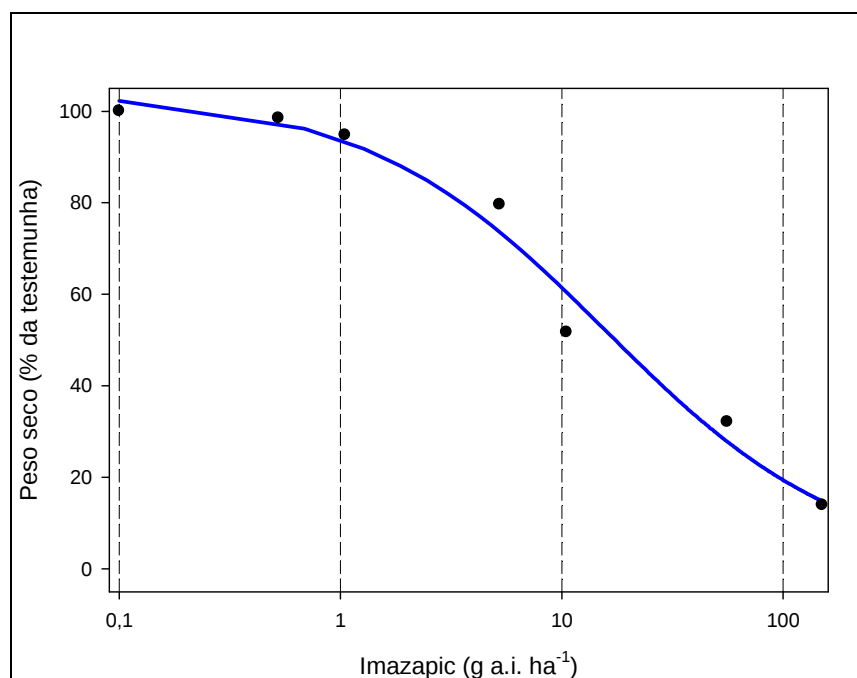


Figura 16. Massa seca residual (%) da parte aérea das plantas de soja quando submetidas a diferentes doses do herbicida imazapic.

O imazapic por atuar na inibição da ALS não apresentou grandes respostas na redução da taxa de transporte de elétrons, sendo que somente nas duas doses mais altas (56 e 150,5 g i.a. ha⁻¹) apresentou redução da área abaixo da curva de ETR na avaliação de 144 HAA. Este efeito de pequena redução da ETR permaneceu até o final do experimento, inclusive com as doses mais baixas a partir de 264 HAA (Figura 18).

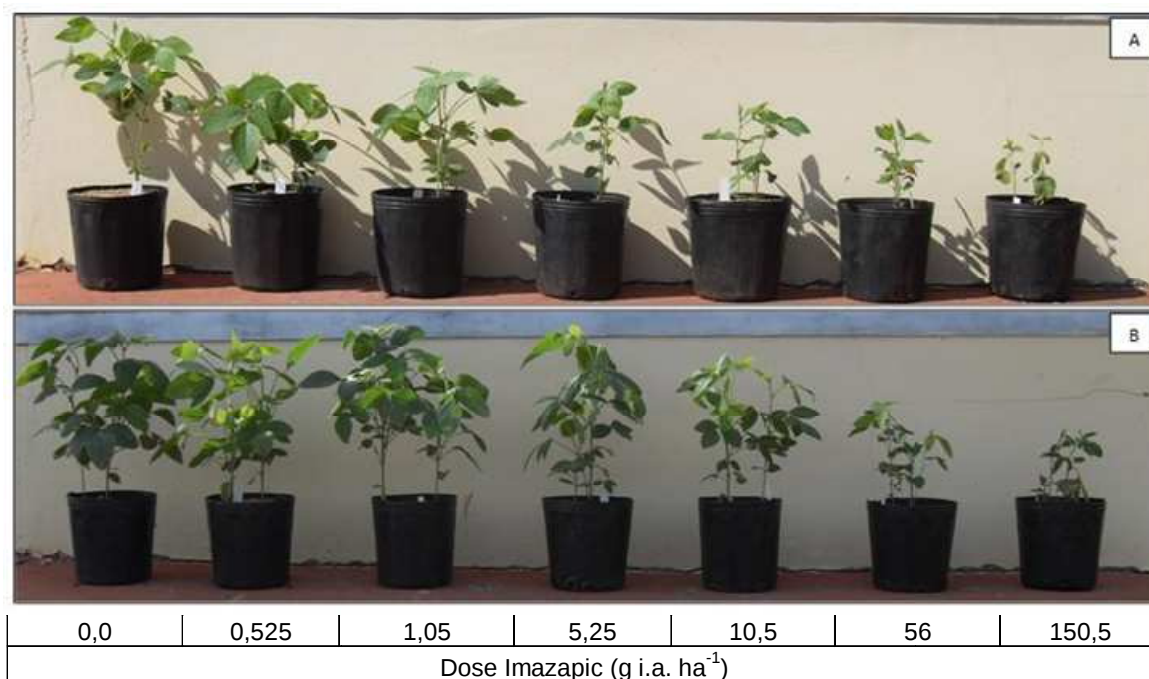


Figura 17. Plantas de soja aos 21 (A) e 34 (B) dias após a aplicação das diferentes doses do herbicida imazapic.

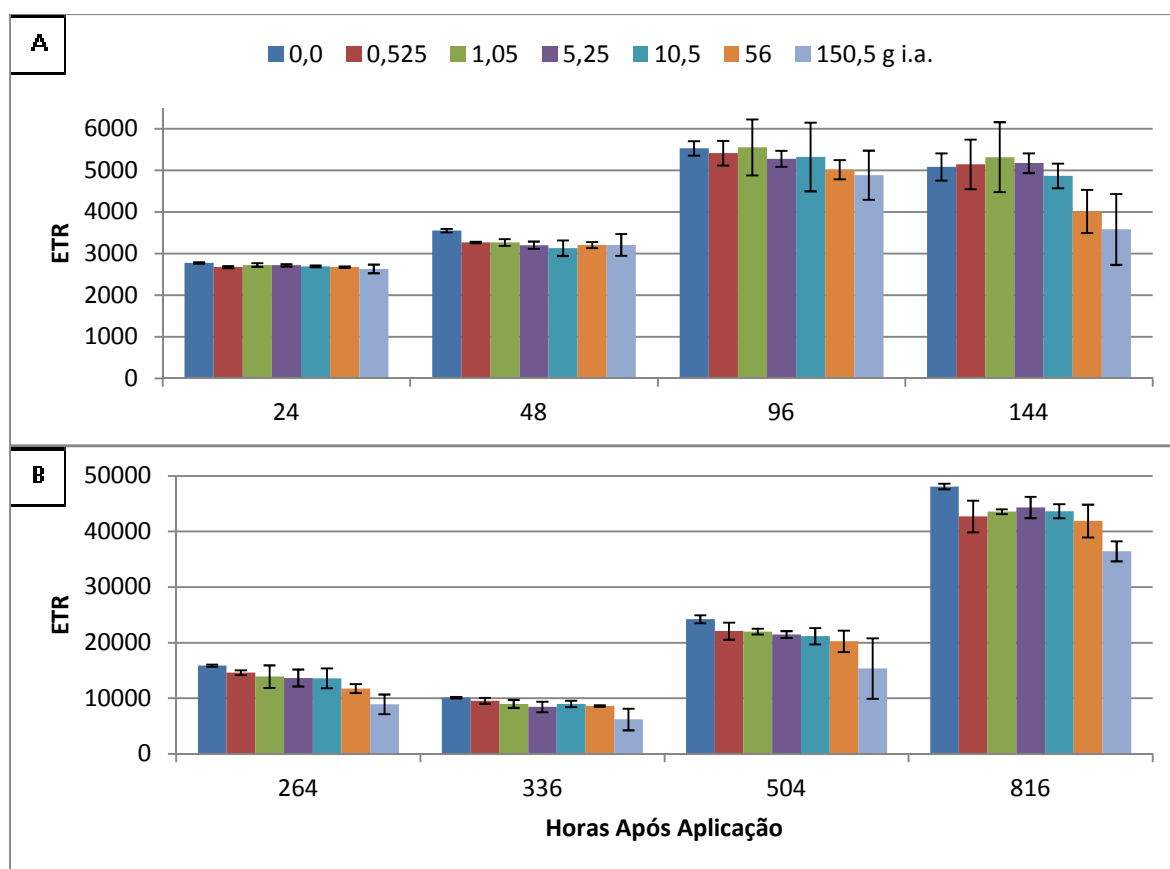


Figura 18. Área abaixo da curva de ETR em 24, 48, 96 e 144 (A) e 264, 336, 504 e 816 (B) Horas após a aplicação do herbicida imazapic.

A curva de regressão do herbicida carfentrazone sobre a massa seca residual da parte aérea de soja apresentou excelente ajuste, com coeficiente de determinação de 0,98 (Tabela 9). Observa-se pelas Figuras 19 e 20 que mesmo na maior dose o carfentrazone não controlou 100% as plantas de soja, mas o C_{50} estimado pela regressão foi de 3,1 g i.a. ha^{-1} .

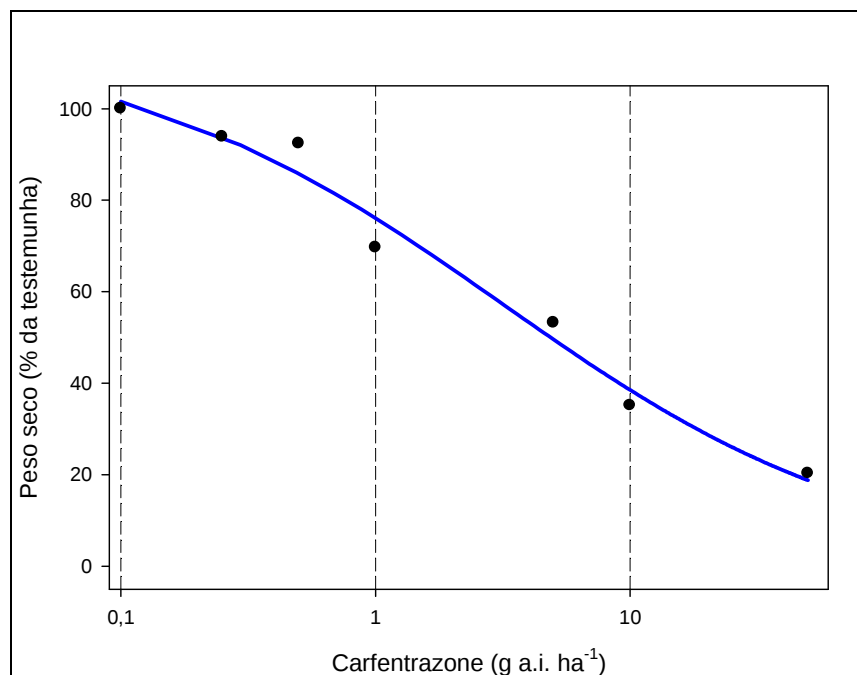


Figura 19. Massa seca residual (%) da parte aérea das plantas de soja quando submetidas a diferentes doses do herbicida carfentrazone.

O carfentrazone atua inibindo a enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), envolvida na rota biossintética da clorofila (HRAC, 2001). Na avaliação da área abaixo da curva de ETR (Figura 21) observa-se que já na primeira avaliação a 4 HAA o herbicida nas doses mais altas promoveu redução na ETR. Em 24 HAA as menores doses do carfentrazone também contribuíram na redução da Taxa de transporte de elétrons e mantiveram até 96 HAA, onde as menores doses, até 5 g ha^{-1} estabilizaram em relação à testemunha e só voltaram a apresentar redução a partir de 336 HAA. As maiores doses do herbicida (10 e 50 g i.a. ha^{-1}) apresentaram menor área abaixo da curva de ETR em todas as avaliações, apesar da dose de 10 g i.a. ha^{-1} não diferir significativamente da testemunha nas avaliações de 96 e 144 HAA.

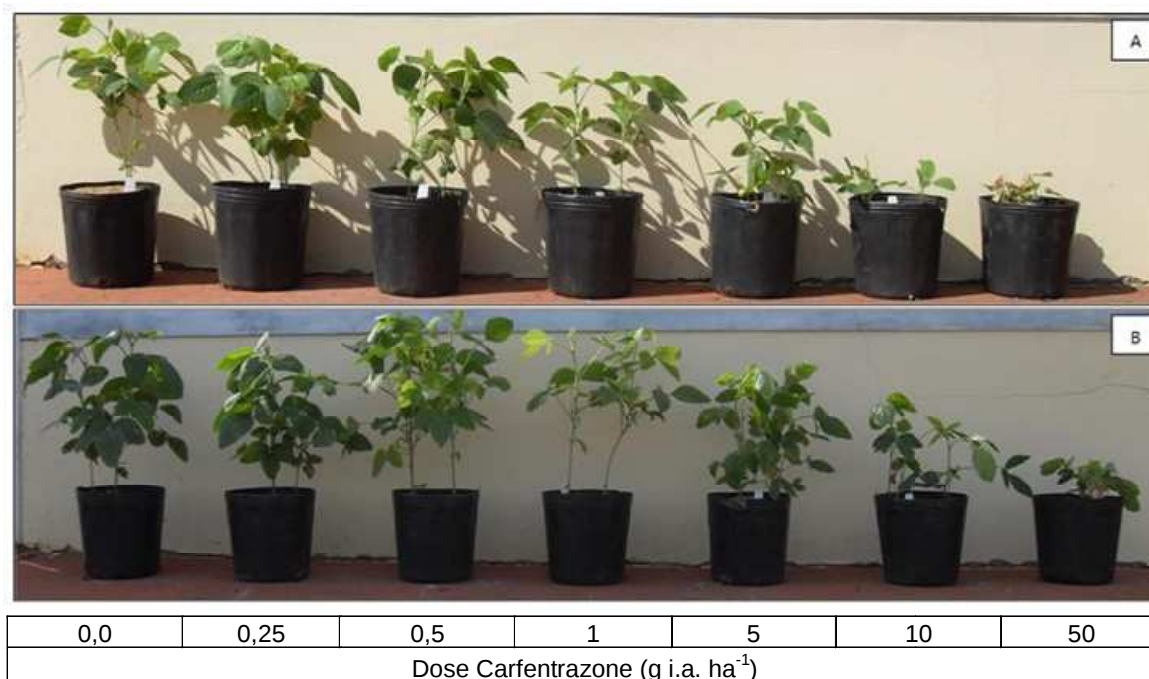


Figura 20. Plantas de soja aos 21 (A) e 34 (B) dias após a aplicação das diferentes doses do herbicida carfentrazone.

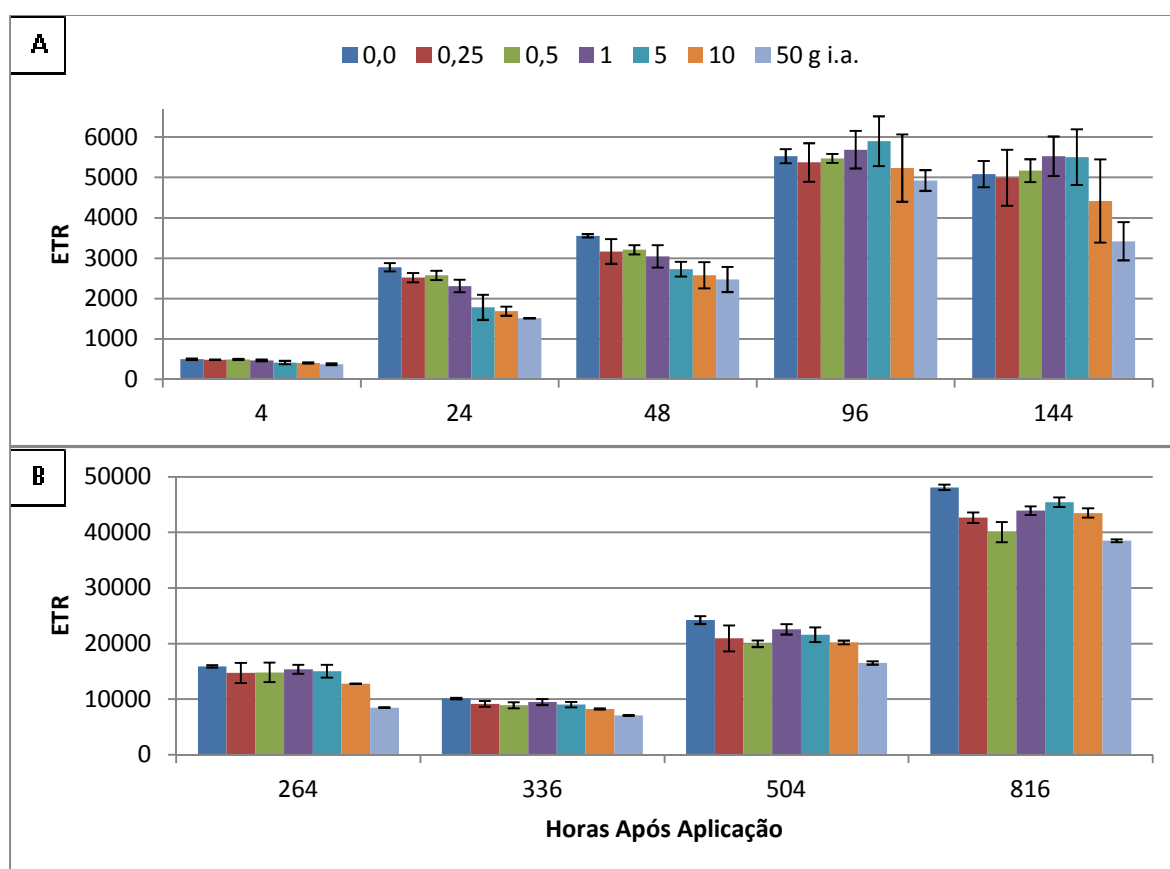


Figura 21. Área abaixo da curva de ETR em 4, 24, 48, 96 e 144 (A) e 264, 336, 504 e 816 (B) Horas após a aplicação do carfentrazone.

7 CONCLUSÕES

Nas condições em que foram realizados os estudos, pode-se concluir que:

Em baixas doses o glyphosate estimulou a ETR e aumentou a biomassa. Sendo que a taxa de transporte de elétrons (ETR) pode ser utilizada como uma ferramenta para avaliação de hormesis promovida por subdoses de glyphosate.

Os compostos da rota do ácido chiquímico como o ácido benzoico e salicílico apresentaram, respectivamente, incrementos de 203 e 170% na subdose de 3,6 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate e para os aminoácidos fenilalanina, tirosina e triptofano também houve uma resposta positiva da aplicação do glyphosate, com aumento da concentração destes nas menores doses e redução nas doses mais elevadas.

A dose mais alta do pré-tratamento (7,2 g e.a.ha⁻¹) necessitou de uma maior dose de glyphosate para se atingir o máximo de hormesis.

O pré-tratamento com 3,6 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate foi o que melhor promoveu hormesis para as raízes e parte aérea da soja, nas doses estimadas de 11,3 e 3,2 g e.a. ha⁻¹, respectivamente, na segunda aplicação.

Para a massa seca total, a dose de 7,2 g e.a.ha⁻¹ no pré-tratamento foi a que apresentou maior hormesis, na dose estimada de 18,2 g e.a.ha⁻¹ de glyphosate na segunda aplicação.

Os herbicidas amicarbazone, mesotrione, imazapic e carfentrazone nas doses testadas não apresentaram hormesis ou estímulo na parte aérea da soja.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

ALLENDER, W.J. Effect of trifluoperazine and verapamil on herbicide stimulated growth of cotton. **Journal of Plant Nutrition**, n. 20, p. 69-80, 1997.

ALLENDER, W.J.; CRESSWELL, G.C.; KALDOR, J.; KENNEDY, I.R. Effect of lithium and lanthium on herbicide induced hormesis in hydrophonically-grown cotton and corn. **Journal of Plant Nutrition**, n.20, p.81–95, 1997.

ALMEIDA, I. M. L.; RODRIGUES, J. D.; ONO, E. O. Application of plant growth regulators at pre-harvest for fruit development of ‘PÊRA’ oranges. **Brazilian Archiv. Biol. Technol.** v.47, p.511-520, 2004.

ALMEIDA, I. M. L.; RODRIGUES, J. D.; ONO, E. O. Harvest season extent of tangerin Ponkan fruits with the application of GA3 AND 2,4-D. **Ciênc. agrotec.**, v.32, p.834-839, 2008.

AMRHEIN, N.; DEUS, B.; GEHRKE, P.; HOLLANDER, H.; SCHAB, J.; SCHULZ, A.; STEINRÜCKEN, H.C. Interference of glyphosate with the shikimate pathway. **Proc. Plant Growth. Regul. Soc. Am.** v. 8, p.99-106, 1981.

AMRHEIN, N.; DEUS, B.; GEHRKE, P.; STEINRÜCKEN H.C. The site of inhibition of the shikimate pathway by glyphosate. II. Interference of glyphosate with chorismate formation *in vivo* and *in vitro*. **Plant Physiol.** v.66, p.830-834, 1980.

ANDERSON, J.A.; KOLMER, J.A. Rust control in glyphosate tolerant wheat following application of the herbicide glyphosate. **Plant Dis.** v.89, n.1136–1142, 2005.

ANTHONY, M. F.; COGGINS Jr, C. W. The efficacy of five forms of 2,4-D in controlling preharvest fruit drop in citrus. **Sci. Hortic.** v. 81, p. 267-277, 1999.

APPLEBY, A.P. The practical implications of hormetic effects of herbicides on plants. **Belle Newsletter**, October, p. 1–3, 2001.

ARALDI, R.; SILVA, F.M.L ; ONO, E.O.; RODRIGUES, J.D. Florescimento em cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v.40, n.3, p.694-702, 2010.

ATAMNA, H.; FREY II, W.H. A role for heme in Alzheimer's disease: Heme binds amyloid β and has altered metabolism. **PNAS**, v.101, n.30, p.11153-11158, 2004.

ATAMNA, H.; KILLILEA, D.W.; KILLILEA, A.N.; AMES, B.N. Heme deficiency may be a factor in the mitochondrial and neuronal decay of aging. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA.**, v.99, n.23, p.14807-12, 2002.

BECERRIL, J.; DUKE, S.O.; LYDON, J. Glyphosate effects on shikimate pathway products in leaves and flowers of velvetleaf. **Phytochemistry** v.28, p.695-699. 1989.

BELZ, R.G.; CEDERGREEN, N. Parthenin hormesis in plants depends on growth conditions. **Environ. Exp. Bot.**, v.69, n.3, p.293-301, 2010.

BELZ, R.G.; CEDERGREEN, N.; DUKE, S.O. Herbicide hormesis – can it be useful in crop production? **Weed Research**. v,51, p.321-332, 2011.

BENNETT, P.G.; MONTES, G. Effect of glyphosate formulation on sugarcane ripening. **Sugar Journal** v.66, n.1, p.22, 2003.

BOTT, S.; TEFAMARIAM, T.; KANIA, A.; EMAN, B.; ASLAN, N.; RÖMHELD, V.; NEUMANN, G. Phytotoxicity of glyphosate soil residues re-mobilised by phosphate fertilisation. **Plant and Soil**, v.342, p.249-263, 2011.

BRAIN, P.; COUSENS R. An equation to describe dose–responses where there is stimulation of growth at low doses. **Weed Res.**, v.29, p.93–96, 1989.

BUDOI, G.; RIES, S. K. Absorption of radioactive simazin: increased protein content due to atrazine application to rye plants. **Studii si Cercetari di Biochimie**, v.11, p. 371-375, 1968.

BUKOWSKI, J.A.; LEWIS, R.J. Hormesis and health: A little of what you fancy may be good for you. **Southern Medical Journal**, v. 93, p. 371-374, 2000.

BURKE, I. C., W. E. THOMAS, A. WENDY, L. PLIN-SRNIĆ, L. R. FISHER, W. D. SMITH AND J. W. WILCUT. Yield and physiological response of flue-cured tobacco to simulated glyphosate drift. **Weed Technol**, v.19, p.255-260, 2005.

BUTOV, A., JOHNSON, T., CYPSEK, J., SANNIKOV, I. VOLKOV, M., SEHL, M. & YASHIN, A. Hormesis and debilitation effects in stress experiments using the nematode worm *Caenorhabditis elegans*: the model of balance between cell damage and HSP levels. **Experimental Gerontology**. v.37, p.57-66, 2001.

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. **European Journal of Agronomy**. v.31, p.114-119, 2009.

CALABRESE, E. J. Paradigm lost, paradigm found: The reemergence of hormesis as a fundamental dose response model in the toxicological sciences. Geneva, **Environ. Pollution**, n. 138 p. 378-411, 2005.

CALABRESE, E.J. Historical blunders: how toxicology got the dose-response relationship half right. **Cellular and Molecular Biology**. v.51, p.643–654, 2005.

CALABRESE, E.J.; BALDWIN, L.A. History of chemical hormesis. **Human and Experimental Toxicology**, v. 19, p. 2-31, 2000.

CALABRESE, E.J.; BALDWIN, L.A. Hormesis: U-shaped dose responses and their centrality in toxicology. **Trends in Pharmacological Science**, v.22, p.285-291, 2001.

CALABRESE, E.J.; BALDWIN, L.A. Hormesis: a generalizable and unifying hypothesis. **Critical Reviews in Toxicology**, v.31, p.353–424, 2001.

CARVALHO, L.B. **Interferência de *Digitaria insularis* em *Coffea arábica* e resposta destas espécies ao glyphosate**. Tese (Doutorado em Agronomia /Produção Vegetal)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2011.

CARVALHO, L.B.; ALVES, P.L.C.A; DUKE, S.O. Hormesis with glyphosate depends on coffee growth stage. **An Acad Bras Cienc.**, v.85, n.2, p.813-821, 2013.

CASTRO, P.R.C. Maturadores químicos em cana-de-açúcar. **Saccharum**, v.1, p. 12-16, 1999.

CASTRO, P.R.C.; MESCHÉDE, D.K. Glyphosate: uso como maturador em cana-de-açúcar. In: VELINI, E.D. et al., (Org.). **Glyphosate**. 1 ed. Botucatu: FEPAF, v.1, n.429-459, 2009.

CASTRO, P.R.C.; ZAMBON, S.; SANSÍGOLO, M.A.; BELTRAME, J.A.; NOGUEIRA, M.C.S. Ação comparada de Ethrel, Fuzilade e Roundup, em duas épocas de aplicação, na

maturação e produtividade da cana-de-açúcar “SP 70-1143”. **Revista de Agricultura**, v.77, p.23-38, 2002.

CAVALIERI, S.D.; SILVA, F.M.L.; DOURADO, F.W.N.; SÃO JOSÉ, A.R.; JASPER, S.P.; VELINI, E.D. Uso do herbicida imazapic como regulador de crescimento de grama esmeralda (*Zoysia japonica*). In: Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, 27, 2010, Ribeirão Preto, **Resumos...**, Ribeirão Preto: SBCPD, 2010(a). (CD-ROM).

CEDERGREEN, N. Is the growth stimulation by low doses of glyphosate sustained over time? **Environmental Pollution**, v.156, p.1099-1104, 2008.

CEDERGREEN, N.; OLESEN, C.F. Can glyphosate stimulate photosynthesis? **Pesticide Biochemistry and Physiology**, n.96, p.140-148, 2010.

CEDERGREEN, N.; RITZ, C.; STREIBIG, J. C. Improved empirical models describing hormesis. **Environ. Toxicol. Chem.**, v. 24, p. 3166-3172, 2005.

CEDERGREEN, N.; STREIBIG, J.C.; KUDSK, P.; MATHIASSEN, S.K.; DUKE, S.O. The occurrence of hormesis in plants and algae. **Dose-Response**, v.5, p.150-162, 2007.

CHRISTOFFOLETI, P. J. Curvas de dose-resposta de biótipos resistente e suscetível de *Bidens pilosa* L. Aos herbicidas inibidores da ALS. **Sci. Agric.**, v. 59, n. 3, p. 513-519, 2002.

CLOWES, M.S.J. Early and late season chemical ripening of sugarcane. **Proc. S. African Sugar Technologists Assoc**, v.52, p.160-165, 1978.

CLOWES, M.S.J. Ripening activity of the glyphosate salts Mon 8000 and Roundup. **Proc. S. African Sugar Technologists Assoc**, v.54, p.676-693, 1980.

CLOWES, M.S.J.; INMAN-BAMBER, N.G. Effects of moisture regime, amount of nitrogen applied and variety on the ripening response of sugarcane to glyphosates. **Proc. S. African Sugar Technologists Assoc**, v.54, p.127-133, 1980.

COPPING, L.G.; DAVIS, D.E.; PILLAI, C.G.P. Growth regulator-like activity of atrazine and ametryne. **Weed Sci.**, v. 20, p. 274-281, 1972.

CORRÊA, L.E.A.; BORGES, A. Glyphosate + carfentrazone: controle de ervas problemáticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22, 2000, Foz do Iguaçu. **Resumos...** Londrina: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2000. p. 463.

DANN, E. K.; DIERS, B. W.; HAMMERSCHMIDT, R. Suppression of *Sclerotinia* stem rot of soybean by lactofen herbicide treatment. **Phytopathology**, v. 89, p. 598–602, 1999.

DAUGROIS, J.H.; HOY, J.W.; GRIFFIN, J.L. Protoporphyrinogen oxidase inhibitor herbicide effects on *Pythium* root rot of sugarcane, *Pythium* species, and the soil microbial community. **Phytopathology**, v. 95, p. 220-226, 2005.

DAYAN, F. E.; DUKE, S.O.; WEET, J.D.; HANCOOCK, H.G. Selectivity and mode of action of carfentrazone-ethyl, a novel phenyl triazolinone herbicide. **Pestic. Sci.**, v. 51, p. 65-73, 1997.

DAYAN, F.E.; DUKE, S.O. Phytotoxicity of protoporphyrinogen oxidase inhibitors: Phenomenology, mode of action and mechanisms of resistance. In: **Herbicide Activity: Toxicology, Biochemistry and Molecular Biology**, Roe, R. M.; Burton, J. D.; Kuhr, R. J.; Eds. IOS Press: Washington, DC, p. 11-35, 1997.

DAYAN, F.E.; DUKE, S.O.; GROSSMANN, K. 2010. Herbicides as probes in plant biology. **Weed Sci**, v.58, p.340–350.

DISSANAYAKE, N.; HOY, J. W.; GRIFFIN, J. L. Herbicide effects on sugarcane growth, *Pythium* root rot, and *Pythium arrhenomanes*. **Phytopathology**, v. 88, p. 530-535, 1998.

DUKE, S.O. 1988. **Glyphosate**. In: Herbicides, Chemistry, Degradation and Mode of Action, vol. 3, ed. by Kearney, P.C.; Kaufman, D.D.(ed.), Marcel Dekker Inc, New York, pp. 1-70, 1988

DUKE, S.O.; CEDERGREEN, N.; VELINI, E.D.; BELZ, R.G. Hormesis: Is it an important factor in herbicide use and allelopathy? **Outlooks Pest. Manag.**, v. 17, 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.

DUKE, S.O.; WEDGE, D.E.; CERDEIRA, A.L.; MATALLO, M.B. Interactions of synthetic herbicides with plant disease and microbial herbicides. In: **Novel Biotechnologies for Biocontrol Agent Enhancement and Management**. VURRO, M. AND GRESSEL, J. (Ed.), Springer, Dordrecht, The Netherlands, p.277-296, 2007.

DUSKY, J.A.; KANG, M.S.; GLAZ, B.; MILLER, J.D. 1986. Response of eight sugarcane cultivars to glyphosine and glyphosate ripeners. **Plant Growth Regul**, v.4, p.225-235, 1986.

EL-OHTMANI, M.; AGUSTI, M.; AZNAR, M.; ALMELA, V. Improving the size of Fortune mandarin fruits by the auxin 2,4-DP. **Sci Hortic.**, v. 55, p.283–290, 1993.

EL-ZEFTAWI, B. M. Effects of ethephon and 2,4,5-T on fruit size, rind pigments and alternate bearing of Imperial mandarin. **Sci Hortic.**, v.5, p.315–320, 1976.

ENSERINK, M. Oseltamivir becomes plentiful—But still not cheap. **Science**, v.312, p.382-383, 2006.

ESTABROOKS, T.; BROWNE, R.; DONG; Z. 2,4,5-Trichlorophenoxyacetic acid promotes somatic embryogenesis in the rose cultivar ‘Livin’ Easy’ (Rosa sp.). **Plant Cell Rep.**, v. 26, p. 153–160, 2007.

FENG, P.C.C.; BAILEY, G.J.; CLINTON, W.P.; BUNKERS, G.J.; ALIBHAI, M.F.; PAULITZ, T.C.; KIDWELL, K.K. Glyphosate inhibits rust diseases in glyphosate-resistant wheat and soybean. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, v.102, p.17290–17295, 2005.

FENG, P.C.C.; CLARK, C. ANDRADE, G.C. BALBI, M.C.; CALDWELL, P. The control of Asian rust by glyphosate in glyphosate-resistant soybeans. **Pest Manag. Sci.**, v.64, p.353-359, 2008.

FINKEL, T.; HOLBROOK, J. Oxidants, oxidative stress and the biology of aging. **Nature**, v.408, p.239-247, 2000.

FONG, F.; SMITH J. D.; KOEHLER D.E. Early events in maize seed development: 1-Methyl-3-phenyl-5-(3-[trifluoromethyl]phenyl)-4-(1H)-pyridinone induction of vivipary. **Plant Physiol.** v.73, p.899-901, 1983.

FORBES, V.E. Is hormesis an evolutionary expectation? **Functional Ecology**, v.14, p.12–24, 2000.

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.

FRANZ, J.; MAO, M.K.; SIKORSKI, J.A. **Glyphosate**: a unique global herbicide. Washington, D.C.: ACS, 1997. 653p.

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.

FUJIWARA, Y.; TAKAHASHI, T.; YOSHIOKA, T.; NAKASUJI, F. Changes in egg size of the diamondback moth *Phutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) treated with fenvalerate at sublethal doses and viability of the eggs. **Applied Entomology and Zoology**, v.37, p.103–109, 2002.

FURLANI JUNIOR, E.; NEVES, D.C., VALÉRIO FILHO, W.V.; MARINHO, J.F.; SILVA, P.R.T.; RINCÃO, T. Efeito de subdoses de glyphosate na produtividade do algodoeiro. In: **VII Congresso brasileiro do algodão**, 2009, Foz do Iguaçu. Anais do VII Congresso brasileiro do algodão. Campina Grande, Embrapa, p.1295-1300. 2009.

GALLI, A. J. B.; MONTEZUMA, M. C. **Alguns aspectos da utilização do herbicida glyphosate na agricultura**. São Paulo: Monsanto do Brasil; 2005. 60 p.

GARDNER, F. E.; REECE, P. C.; HORANIC, G. E. The effect of 2,4-D on pre-harvest drop of citrus fruit under Florida conditions. **Proc. Fla. State Hort. Soc.**, v. 63, p. 7-11, 1950.

GAZZIERO, D. L. P. et al., Glyphosate deposition for weed control in transgenic soybean. **Planta daninha**, v. 24, p. 173-181, 2006.

GEIGER, D.R.; FUCHS, M.A. Inhibitors of aromatic amino acid biosynthesis (glyphosate). In: BOGER, P.; WAKABAYASHI, K.; HIRAI, K. (Eds.). **Herbicide classes in development**. Berlin: Springer-Verlag, 2002. p.59-85.

GIESY, J. P.; DOBSON, S.; SOLOMON, K. R. Ecotoxicological Risk Assessment for Roundup Herbicide. **Rev. Environ. Contam. Toxicol.**, v. 167, p.35-120, 2000.

GOVER, A.E.; JOHNSON J. M.; KUHNS, L. J. Evaluation of imazapic as a growth regulator in roadside tall fescue. **Proc Northeast. Weed Sci. Soc.**, v.58, p.34–35, 2004.

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.

GRUYS, K.J.; SIKORSKI, J.A. **Inhibitor of tryptophan, phenilalamine and tyrosine biosynthesis as herbicides**, Dekker: New York, 1999.

GUARDIOLA, J.L.; GARCIA-LUIS, A. Increasing fruit size in Citrus. Thinning and stimulation of fruit growth. **Plant Growth Regul.**, v.31, p.121–132, 2000.

GUARENTE, L.; KENYON, C. Genetic pathways that regulate ageing in model organisms. **Nature**, v.408, p.255-262, 2000.

GUILLET, G.; POUPART, J.; BASURCO, J.; LUCA, V.D. Expression of tryptophan decarboxylase and tyrosine decarboxylase genes in tobacco results in altered biochemical and physiological phenotypes. **Plant Physiol**, v.122, p.933-943, 2000.

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

HARRING, T.; STREIBIG, J.C.; HUSTED, S. Accumulation of shikimic acid: A technique for screening glyphosate efficacy. **J. Agric. Food Chem.**, v.46, p.4406-4412, 1998.

HERRMANN, K. M. The shikimate pathway: early steps in the biosynthesis of aromatic compounds. **The Plant Cell**, Rockville, v. 7, p. 907-919, 1995.

HERRMANN, K. M.; WEAVER, L. M. The shikimate pathway. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, p. 473-503, 1999.

HIXSON, A.C.; GANNON T.W.; YELVERTON, F.H. Efficacy of application placement equipment for tall fescue (*Lolium arundinaceum*) growth and seedhead suppression. **Weed Technol.**, v.21, p.801–806, 2007.

JOHANSSON, L.; LINDSKOG, A.; SILFVERSPARRE, G.; CIMANDER, C.; NIELSEN, K.F.; LIDÉN, G. Shikimic acid production by a modified strain of *E. Coli* (W3110.shik1) under phosphate-limited and carbon-limited conditions. **Biotechnol. Bioengineer.**, v.92, p.541–52, 2005.

JOHNSON, T.E.; CASTRO, E.; CASTRO, S.H.; CYPSE, J.; HENDERSON, S.; TEDESCO, P. Relationship between increased longevity and stress resistance as assessed through gerontogene mutations in *Caenorhabditis elegans*. **Experimental Gerontology**, v.36, p.1609-1617, 2001.

JONES, M.P.; YI, Z.; MURCH, S.J.; SAXENA, P.K. Thidiazuron-induced regeneration of *Echinacea purpurea* L.: Micropropagation in solid and liquid culture systems. **Plant Cell Rep.**, v.26, p.13–19, 2007.

KEEN, N.T.; HOLLIDAY, M.J.; YOSHIKAWA, M. Effects of glyphosate on glyceollin production and the expression of resistance to *Phytophthora megasperma* f. sp. *glycinea* in soybean. **Phytopathology**, v.72, p.1467-1470, 1982.

KISHORE, G.M.; SHAH, D.M. Amino acid biosynthesis inhibitors as herbicides. **Annu. Rev. Biochem.**, v.57, p.627–663, 1998.

KLEIJND, D.; VAN GROENENDAEL, J.M. The exploitation of heterogeneity by a clonal plant in habitats with contrasting productivity levels. **Journal of Ecology**, v.87, p.873–884, 1999.

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.

KÖMIVES, T.; CASIDA, J. E. Acifluorfen increases the leaf content of phytoalexins and stress metabolites in several crops. **J. Agric. Food Chem.**, v.31, p.751-755, 1983.

LIOTENBERG, S.; NORTH, H.; MARION-POLL, A. Molecular biology and regulation of abscisic acid in plants. **Plant Physiol.**, v.37, p.341-350, 1999.

LIU, C.A.; VARGAS, J.; PENNER, D.; STICKLEN, M. Prevention of fungal diseases in transgenic, bialaphos- and glufosinate-resistant creeping bentgrass (*Agrostis palustris*). **Weed Sci.**, v.46, p.139–146, 1998.

LYDON, J.; DUKE, S.O. Inhibitors of glutamine biosynthesis. In **Plant Amino Acids: Biochemistry and Biotechnology**, Edited by B.K. Singh, Marcel Dekker, New York, 1999, p. 445-464.

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.

MADHUMITA, J.; SUJATHA, K.; SULEKHA, H. Effect of TDZ and 2,4-D on peanut somatic embryogenesis and *in vitro* bud development. **Plant Cell Tissue Organ Cult.**, v.94, p.85–90, 2008.

MAHALAKSHMI, A.; KHURANA, J. P.; KHURANA, P. Rapid Induction of somatic embryogenesis by 2,4-D in leaf base cultures of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Plant Biotechnology**, v.20, p.267-273, 2003.

MARÍA, N.; FELIPE, M.R.; FERNANDEZ-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.

MAUCH-MANI, B.; SLUSARENKO, A.J., Production of salicylic acid precursors is a major function of phenylalanine ammonia-lyase in the resistance of *Arabidopsis* to *Peronospora parasitica*. **Plant Cell**, v.8, p.203-212, 1996.

MCDONALD, L.M.; MORGAN, T.; KINGSTON, G. Chemical ripeners: an opportunity for the Australian sugar industry. *Proc. Austr. Soc. Sugarcane Technol.*, v.22, p.290-295, 2000.

MESCHEDE, D.K.; SANOMYA, R.; CARBONARI, C.A.; VELINI, E.D. Respostas fisiológicas da cana-de-açúcar ao uso de glyphosate como maturador. In: Velini, E.D., D.K. Meschede, C.A. Carbonari, M.L.B. Trindade. (Org.). **Glyphosate**. 1 ed. Botucatu: FEPAF, 2009, 496p.

MESCHEDE, D.K.; VELINI, E.D.; CARBONARI, C.A. Baixas doses de glyphosate e seus efeitos no crescimento de *Commelina benghalensis*. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.7, n.2, p.53-58, 2008.

MICHALSKI, A.I.; YASHIN, A.I. Detection of hormesis effect in longevity: simulation approach for heterogeneous population. **Mathematical Biosciences**, v.175, p.57-66, 2002.

MOLDES, C.A.; MEDICI, L.O.; ABRAHAO, 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.

MORRÉ, D.J. Chemical hormesis in cell growth: a molecular target at the cell surface. **Journal of Applied Toxicology**, v.20, p.157–163, 2000.

MOUSDALE, D.M.; COGGINS, J.R. Amino Acid Synthesis. In: **Target Sites for Herbicide Action**. Ralph C. Kikwood. University of Strathclyde, Glasgow, United Kingdom. p. 29-56, 1991.

NELSON, K. A.; RENNER, K. A.; HAMMERSCHMIDT, R. Cultivar and herbicide selection affects soybean development and the incidence of *Sclerotinia* stem rot. **Agron. J.**, v. 94, p. 1270–1281, 2002a.

NELSON, K. A.; RENNER, K. A.; HAMMERSCHMIDT, R. Effects of protoporphyrinogen oxidase inhibitors on soybean (*Glycine max* L.) response, *Sclerotinia*

sclerotiorum disease development, and phytoalexin production by soybean. **Weed Technol.**, v.16, p.353–359, 2002b.

NELSON, K.A., RENNER, K.A.; HAMMERSCHMIDT, R. Effects of protoporphyrinogen oxidase inhibitors on soybean (*Glycine max* L.) response, *Sclerotinia sclerotiorum* disease development, and phytoalexin production by soybean. **Weed Technol.**, v.16, p.353–359, 2002.

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.; ROMHELD, V. Relevance of glyphosate transfer to non-target plants via the rhizosphere. **J. Plant Dis. Prot.**, v.20, p.963-970, 2006. (Numero especial).

OLESEN, C.F.; CEDERGREEN, N. Glyphosate uncouples gas exchange and chlorophyll fluorescence. **Pest Manag Sci.**, v.66, n.5, p.536-542, 2010.

OSSIPOV, V.; SALMINEN, J.P.; OSSIPOVA, S.; HAUKIOJA, E.; PIHLAJA, K. Gallic acid and hydrolysable tannins are formed in birch leaves from an intermediate compound of the shikimate pathway. **Biochem System Ecol**, v.31, p.3-16, 2003.

PARSON, P.A. Metabolic efficiency in response to environmental agents predicts hormesis and invalidates the linear No-Threshold Premise: Ionizing radiation as a case study. **Crit. Rev. Toxicol**, v.33, p.443-450, 2003.

PLINE-SRNIC, W. Physiological mechanisms of glyphosate resistance. **Weed Tech.**, v.20, n.2, p.290-300, 2006.

POPOVA, L.P. Fluridone and light-affected chloroplast ultrastructure and ABA accumulation in drought-stressed barley. **Plant Physiol.**, v.36, p.313-319, 1998.

PORPHYRIN. **Wikipedia, the free encyclopedia**. Disponível em <http://en.wikipedia.org/wiki/Porphyrin>.

PRESTON, C.; WAKELIN, A.M.. Resistance to glyphosate from altered herbicide translocation patterns. **Pest Manag. Sci.**, v.64, n.4, p.372-376, 2008.

PULVER, E.L.; RIES, S.K. Action of simazine in increasing plant protein content. **Weed Sci.**, v.21, p.233-237, 1973.

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.

REIS, P.R.; TEODORO, A.V. Efeito de oxicloreto de cobre na reprodução do ácaro-vermelho-do-cafeeiro, *Oligonychus ilicis* (Mcgregor, 1917). **Ciência Agrotécnica**, v.24, p.347-352, 2000.

RENNER, K.A.; MEGGIT, W.F.; PENNER, D. Effect of soil pH on imazaquin and imazethapyr adsorption to soil and phytotoxicity to corn (*Zea mays*). **Weed Science.**, v.36, p.78-83, 1988.

RIES, S.K.; CHMIEL, H.; DILLEY, D.R.; FILNER, P. The increase in nitrate reductase activity and protein content of plants treated with simazine. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, v.58, p.526-532, 1967.

RIES, S.K.; LARSEN, R.P.; KENWORTHY, A.L. Apparent influence of simazine on nitrogen nutrition of peach and apple trees. **Weeds**, v.11, p.270-273, 1963.

RIES, S.K.; MORENO, O.; MEGGITT, W.F.; SCHWEIZER, C.J.; ASHKAR, S.A. Wheat seed protein: chemical influence on and relation to subsequent growth and yield in Michigan and Mexico. **Agron. J.**, v.62, p.746-748, 1970.

RIES, S.K.; WERT, V. Simazine-induced nitrate absorption related to plant protein content. **Weed Sci.**, v.20, p.569-572, 1972.

RIPPERT, P.; SCIMEMI, C.; DUBALD, M.; MATRINGE, M. Engineering plant Shikimate pathway for production of tocotrienol and improving herbicide resistance. **Plant Physiol.**, v.134, p.92-100, 2004.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 5a edição. Londrina: Grarfmake, 2005. 592p.

ROSS, C.W. Hormones and growth regulators: Cytokinins, ethylene, abscisic acid, and other compounds. In: Salisbury, F.B.; Ross, C.W. **Plant Physiology**. Wadsworth Publishing Company Belmont , California, 1992, 4ed, p.382-406.

RUFINI, J.C.M. et al., Harvest season extent of tangerin Ponkan fruits with the application of GA3 AND 2,4-D. **Ciênc. agrotec.**, v.32, p.834-839, 2008.

SAAB, I.N.; SHARP, R.E.; PRITCHARD, J.; VOETBERG, G.S. Increase endogenous abscisic acid maintains primary root growth and inhibits shoot growth of maize seedling at low water potentials. **Plant Physiol.**, v.93, p.1329-1336, 1990.

SANYAL, D.; SHRESTHA, A. Direct effect of herbicides on plant pathogens and disease development in various cropping systems. **Weed Sci.**, v.56, p.155–160, 2008.

SCHABENBERGER, O.; KELLS, J.J.; PENNER, D. Statistical tests for hormesis and effective dosage in herbicide dose-response. **Agronomy Journal**, v.91, p.713-721, 1999.

SCHMIDT, R.R. Classification of herbicides according to mode of action. Brighton crop protection conference: Weeds, **Proceedings of an international conference**, p.1133-1140, 1997.

SHANER, D.L.; NADLER-HASSAR, T.; HENRY, W.B.; KOGER, C.H. A rapid in vivo shikimate accumulation assay with excised leaf discs. **Weed Sci.**, v.53, p.769–774, 2005.

SHANER, D.L.; SINGH, B.K. Phytotoxicity of acetohydroxyacid synthase inhibitors is not due to accumulation of 2-ketobutyrate and/or 2-aminobutyrate. **Plant Physiol.**, v.103, n.4, p.1221-1226, 1993.

SHARON, A.; AMSELLEM, Z.; GRESSEL, J. Glyphosate suppression of an elicited response. Increased susceptibility of *Cassia obtusifolia* to a mycoherbicide. **Plant Physiol.**, v.98, p.654-659, 1992.

SHAH, J. The salicylic acid loop in plant defense. **Current Opinion in Plant Biology**, Stuttgart, v. 6, p. 365-371, 2003.

SHARP, R. E.; LENOBLE, M. E. ABA, ethylene and the control of shoot and root growth under water stress. **J. Exp. Bot.**, v.53, p.33-37, 2002.

SHARP, R.E.; WU, Y.; VOETBERG, G.S.; SAAB, I.N.; LENOBLE, M.E. Confirmation that abscisic acid accumulation is required for maize primary root elongation at low water potentials. **J. Exp. Bot.**, v.45, p.1743-1751, 1994.

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

SINGH, B. K.; SHANER, D.L. Rapid determination of glyphosate injury to plants and identifications of glyphosate-resistant plants. **Weed Technol.** v.12, p.527-530, 1998.

SOARES, R.M.; GAZZIERO, D.L.P.; MORITA, D.A.S.; CILIATO, M.L.; FLAUSINO, A.M.; SANTOS, L.C.M.; JANEGITZ, T. Utilização de glyphosate para o controle de ferrugem da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.473-477, 2008.

SOUSA, S.F.G. **Avaliação da cultura do milho e da decomposição da palhada submetida à hormesis**. 2013. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na

Agricultura)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

SOUTHAM, C. M.; EHRLICH, J. Effects of Extract of western red-cedar heartwood on certain wood-decaying fungi in culture. **Phytopathology**, v.33, p.517-524, 1943.

SOUZA, R.T.; VELINI, E.D.; PALLADINI, L.A. Aspectos metodológicos para análise de depósitos de pulverizações pela determinação dos depósitos pontuais. **Planta daninha**, v. 25, p.1-7. 2007.

SPOLLEN; W.G.; LENOBLE, M.E.; DAMUELS, T.D.; BERSTEIN, N.; SHARP, R.E. Absciscic acid accumulation maintains maize primary root elongation at low water potentials by restricting ethylene production. **Plant Physiol.**, v.122, p.967-976, 2000.

SPURRIER, E.C. Glyphosate: a new broad spectrum herbicide. **Proc. Natl. Acad. Sci.USA**, v.19, p.607-612, 1973.

STEBBING, A.R.D. A theory for growth hormesis. **Mutation Research**, v.403, p.249–258, 1998.

STEBBING, A.R.D. Tolerance and hormesis – increased resistance to copper in hydroids linked to hormesis. **Marine Environ. Res.**, v.54, p.805-809, 2002.

STREIBIG, J.C. Herbicide bioassay. **Weed Res.**, v.28, n.6, p.479-484, 1988.

STREIBIG, J.C. Models for curve-fitting herbicide dose response data. **Acta Agriculturae Scandinavia**, v.30, p.59–64, 1980.

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, p.168-173, 1992.

SUBIROS, J.F. Efecto de la aplicación de glyphosate como madurador em três cultivares de caña de azúcar. **Turrialba**, v.40, p.527-534, 1990.

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

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

TANNER, G.J.; FRANCKI, K.T.; ABRAHAM, S.; WATSON, J.M.; LARKIN, P.J.; ASHTON, A.R. Proanthocyanidin biosynthesis in plants: Purification of legume leucoanthocyanidin reductase and molecular cloning of its cDNA. **J Biol Chem**, v.278, p.31647-31656, 2003.

THAYER, K.A.; MELNICK, R.; BURNS, K.; DAVIS, D.; HUFF, J. Fundamental flaws of hormesis for public health decisions. **Environmental Health Perspectives**, v.113, p.1271-1276, 2005.

TOLEDO, R.E.B. et al., Dinamic (amicarbazone) - novo herbicida seletivo para o controle de plantas daninhas em pré e pós-emergência na cultura da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 24, 2004, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2004. p.451.

TREZZI, M.M.; VIDAL, R.A. Herbicidas inibidores da ALS. **Herbicidologia** / VIDAL, R.A., MEROTTO JR, A. (Editores)-Porto Alegre: 2001, p.331-336, 2001.

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 a deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, v.24, n.2, p.359-364, 2006.

TURTURRO, A.; HASS, B.; HART, R.W. Does caloric restriction induce hormesis? **Nutrition**, v. 17, p. 78-82, 2001.

TWEEDY, J.A., RIES, S.K. Effect of simazine on nitrate reductase activity in corn. **Plant Physiol.**, v.42, p.280-282, 1967.

UCHIMIYA, H. et al., Bialaphos treatment of transgenic rice plants expressing a bar gene prevents infection by the sheath blight pathogen (*Rhizoctonia solani*). **Nature Biotechnology**, v. 11, p. 835–836, 1993.

VELINI, E.D., DUKE, S.O.; TRINDADE, M.L.B.; MESCHEDE, D.K.; CARBONARI, C.A. 2009. Modo de ação de glyphosate. In: VELINI, E.D., TRINDADE, M.L.B.; MESCHEDE, D.K.; CARBONARI, C.A. (Org.). **Glyphosate**. 1ed. Botucatu: FEPAF, 2009, v.1, p.113-134.

VELINI, E.D.; ALVES, E.; GODOY, M.C.; MESCHEDE, D.K.; SOUZA, R.T.; DUKE, S.O. Glyphosate at low doses can stimulate plant growth. **Pest Management Science**, v.64, 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 Science**, v.58, p.351-354, 2010.

VENCILL, W.K. **Herbicide handbook**. 8.ed. Lawrence, K.S.: Weed Science Society of America, 493p, 2002.

VERBEKE, P.; FONAGER, J.; CLARK, B.F.C.; RATTAN, S.I.S. Heat shock response and ageing: mechanisms and applications. **Cell Biology International**, v.25, p.845-857, 2001.

WAGNER JUNIOR, 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 formulacoes comerciais de glyphosate sobre maracujazeiro amarelo. **Planta Daninha**, v.26, n.3, p.677-683, 2008.

WAGNER, R.; KOGAN, M.; PARADA, A.M. Phytotoxic activity of root absorbed glyphosate on corn seedlings (*Zea mays* L.). **Weed Biology and Management**, v.3, p.223-232, 2003.

WANG, Y.; BROWNING, M.; RUEMMELE, B.A.; CHANDLEE, J.M.; KAUSCH, A.P.; JACKSON, N. Glufosinate reduces fungal diseases in transgenic glufosinate resistant bentgrasses (*Agrostis* spp.). **Weed Sci.**, v.51, p.130–137, 2003.

WATANABE, N.; CHE, F.S.; IWANO, M.; TAKAYAMA, S.; YOSHIDA, S.; ISOGAI, A. Dual targeting of spinach Protoporphyrinogen Oxidase II to mitochondria and chloroplasts by alternative use of in-frame initiation codons. **The Journal of Biological Chemistry**, v.273, n.23, p.20447-81, 2001.

WIEDMAN, S. J.; APPLEBY, A.P. Plant growth stimulation by sublethal concentrations of herbicides. **Weed Research**, Oxford, v.12, p.65-74, 1972.

WIJESINGHE, D.K.; HUTCHINGS, M.J. The effects of environmental heterogeneity on the performance of *Glechoma hederacea*: the Interactions Between Patch Contrast and Patch Scale. **Journal of Ecology**, v.87, p.860–872, 1999.

WILD, A.; ZIEGLER, C. The effect of bialaphos on ammonium assimilation and photosynthesis. I. Effect on the enzymes of ammonium assimilation. **Z. Naturforsch.**, v.44c, p.97-102, 1989.

WILDERMUTH, M.C.; DEWDNEY, J.; WU, G.; AUSUBEL, F.M.; Isochorismate synthase is required to synthesize salicylic acid for plant defense. **Nature**, v.44, p.562-571, 2001.

WILLIAMS, G.M.; KROES, R.; MUNRO, I.C. Safety evaluation and risk assessment of the herbicide Roundup® and its active ingredient, glyphosate, for humans. **Regul. Toxicol. Pharmacol.**, v.31, p.117-65, 2000.

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.

YASHIN, A.; CYPSEY, J.R.; JOHNSON, T.E.; MICHALSKI, A.I.; BOYKO, S.I.; NOVOSELTSEV, V.N. Ageing and survival after different doses of heat shock: the results of analysis of data from stress experiments with the nematode worm *Caenorhabditis elegans*. **Mechanisms of Ageing and Development**, v.122, p.1477-1495, 2001.

YELVERTON, F.H.; MCCARTY, L.B.; MURPHY, T.R. Effects of imazameth on the growth of *Paspalum notatum* Fluegge: **Int. Turfgrass Soc.**, v.8, p.1085–1094, 1997.

ZANUNCIO, T.V. **Efeito de doses subletais de permetrina no predador *Supputius cincticeps* (Stål, 1860) (Heteroptera: Pentatomidae)**. 2001. 94 f. Tese (Doutorado em Entomologia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

ZANUNCIO, T.V.; SERRÃO, J.E.; ZANUNCIO, J.C.; GUEDES, R.N.C. Permethrin-induced hormesis on the predator *Supputius cincticeps* (Stål, 1860) (Heteroptera: Pentatomidae). **Crop Protection**, v.22, p.941–947, 2003.

ZOBIOLE, L.H.S.; KREMER, R.J.; OLIVEIRA JUNIOR, 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 JUNIOR, 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 JUNIOR, R.S.; KREMER, R.J.; MUNIZ, A.S.; OLIVEIRA JUNIOR, 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.