

GUSTAVO LUÍS SANT' ANA DIAS

**SINTOMAS DE INTOXICAÇÃO DE CULTURAS POR HERBICIDAS**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2015

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

D541s  
2015  
Dias, Gustavo Luis Sant' Ana, 1980-  
Sintomas de intoxicação de culturas por herbicidas /  
Gustavo Luis Sant' Ana Dias. – Viçosa, MG, 2015.  
xiii, 52f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Antônio Alberto da Silva.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f.49-52.

1. Herbicidas. 2. Plantas - Efeito de herbicidas.  
3. Herbicidas - Toxicologia. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-graduação em  
Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 632.954

GUSTAVO LUÍS SANT' ANA DIAS

**SINTOMAS DE INTOXICAÇÃO DE CULTURAS POR HERBICIDAS**

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

Aprovada: 20 de fevereiro de 2015.



---

Arildo Ferreira Lopes Machado



---

Francisco Cláudio Lopes de Freitas



---

Leonardo d'Antonino



---

Antônio Alberto da Silva  
(Orientador)

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pai, de infinita bondade e misericórdia, que vem me proporcionando grandes maravilhas, sendo uma delas a oportunidade de cursar e concluir esse projeto de pós-graduação.

Aos meus pais José Maria Moreira Dias e Inez das Graças Sant' Ana Dias, por me proporcionarem todas as oportunidades e pelo apoio incondicional em todos os momentos da minha vida, sendo o meu norte e minha referência de vida.

Ao meu irmão Leandro Sant' Ana Dias, que é o meu espelho e referência de vida, pela constante preocupação, pelas palavras de incentivo e de apoio em momentos de incerteza e insegurança e pelo grande apoio emocional.

Às minhas tias Ana Maria da Conceição Sant' Ana e Maria Aparecida Sant' Ana, pelo carinho, pela atenção e pelo apoio.

Aos familiares e aos amigos, pela demonstração de alegria pelo meu sucesso e pelo suporte nos momentos difíceis.

Aos primos que em especial sempre torceram pelo meu sucesso e vitória.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade ímpar concedida para a realização do meu curso de mestrado.

Ao meu orientador, Professor Antonio Alberto da Silva, pilar na realização deste trabalho e no meu ingresso na pós-graduação, pela amizade, confiança, compreensão, dedicação, força, orientação e pelo apoio.

Ao meu coorientador, Professor Leonardo d'Antonino, esteio na realização deste trabalho, pelos conselhos, pela amizade, compreensão, dedicação, força, orientação e pelo apoio.

Aos Professores Lino Roberto Ferreira e Francisco Affonso Ferreira da Silva, pela amizade, pela força e pelas sugestões para a execução e conclusão deste trabalho.

Ao Técnico Agrícola Luís Henrique Lopes de Freitas, pela amizade, pelo companheirismo, pela paciência, dedicação e sempre disponibilidade na execução deste projeto.

Aos colegas de pós-graduação Antônio dos Santos Júnior, Autieres Teixeiras de Faria e Felipe Paolinelli de Carvalho, pela amizade e sempre disponibilidade no auxílio de todas as atividades inerentes ao projeto, assim como em todo o meu curso de pós-graduação.

A todos os integrantes dos laboratórios de Manejo Integrado de Plantas Daninhas e de Herbicida no Solo, pela convivência, os quais, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Professor Aluizio Borém de Oliveira, pela paciência, orientação, pelo diálogo e contínuo incentivo em todos os projetos acadêmicos e pessoais.

Aos Professores Mauri Martins Teixeira, Raul Narciso Carvalho Guedes, Rubens Alves Oliveira, Sérgio Yoshimitsu Motoike, Wagner Campos Ottoni e Fernando Pinheiro Reis, e respectivas famílias, pela atenção, pelo carinho, pelas palavras de apoio, pela orientação e pelos inúmeros conselhos.

Aos amigos Efigênia Ribeiro de Castro (in memorian), Luiz Carlos de Castro, pelas orações, apoio espiritual e moral e carinho desde os tempos de outrora.

A Paloma Marília Cardoso Firmino pelas palavras de apoio e incentivo em momentos difíceis do curso.

Ao amigo Vitor Rafael Barra, quem foi meu primeiro incentivador na realização da pós-graduação.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

GUSTAVO LUÍS SANT' ANA DIAS, filho de José Maria Moreira Dias e Inez das Graças Sant' Ana Dias, nasceu na cidade de Viçosa, Minas Gerais, em 25 de outubro de 1980.

Em dezembro de 2008, graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Em agosto de 2013, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, em nível de Mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em 20 de fevereiro de 2015.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	vi
RESUMO .....	x
ABSTRACT .....	xii
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	4
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	6
3.1 Caracterização dos sintomas causados por herbicidas auxínicos.....	6
3.2 Caracterização dos sintomas causados por herbicidas inibidores do FSI .....	9
3.3 Caracterização dos sintomas causados por herbicidas inibidores do FSII.....	11
3.4 Caracterização dos sintomas causados por herbicidas inibidores da enzima EPSPs.....	15
3.5 Caracterização dos sintomas causados por herbicidas inibidores da enzima ALS .....	19
3.6 Caracterização dos sintomas causados por herbicidas inibidores da enzima ACCase .....	36
3.7 Caracterização dos sintomas causados por herbicidas inibidores da síntese de carotenoides .....	40
3.8 Caracterização dos sintomas causados por herbicidas inibidores da enzima PROTOX (PPO) .....	43
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	47
REFERÊNCIAS .....	49

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Sintomas de intoxicação de plantas de soja causados pelo herbicida 2, 4-D.....	7
<b>Figura 2</b> - Sintomas de intoxicação de plantas de feijão causados pelo herbicida 2, 4-D.....	7
<b>Figura 3</b> - Sintomas de intoxicação de plantas de algodão causados pelo herbicida 2, 4-D.....	8
<b>Figura 4</b> - Sintomas intoxicação de plantas de algodão causados pelo herbicida paraquat. ....	10
<b>Figura 5</b> - Sintomas de intoxicação de plantas de milho causados pelo herbicida paraquat. ....	10
<b>Figura 6</b> - Sintomas de intoxicação de plantas desoja causados pelo herbicida ametryn.....	12
<b>Figura 7</b> - Sintomas de intoxicação de plantas de tomate causados pelo herbicida atrazine. ....	13
<b>Figura 8</b> - Sintomas de intoxicação de plantas de feijão causados pelo herbicida diuron. ....	14
<b>Figura 9</b> - Sintomas de intoxicação de plantas de soja causados pela mistura dos herbicidas (diuron+hexazinone). ....	15
<b>Figura 10</b> - Sintomas de intoxicação de plantas de café causados pelo herbicida glyphosate.....	16
<b>Figura 11</b> - Sintomas de intoxicação de plantas de café causados pelo herbicida glyphosate.....	17

<b>Figura 12</b> - Sintomas de intoxicação de plantas de eucalipto causados pelo herbicida glyphosate.....	17
<b>Figura 13</b> - Sintomas de intoxicação de plantas de eucalipto causados pelo herbicida glyphosate.....	18
<b>Figura 14</b> - Sintomas de intoxicação de plantas de milho causados pelo herbicida glyphosate.....	18
<b>Figura 15</b> - Sintomas de intoxicação de plantas de algodão causados pelo herbicida chlorimuron-ethyl.....	20
<b>Figura 16</b> - Sintomas de intoxicação no sistema radicular e na parte aérea de plantas de algodão causados pelo herbicida chlorimuron-ethyl.....	21
<b>Figura 17</b> - Sintomas de intoxicação de plantas de milho causados pelo herbicida chlorimuron-ethyl.....	21
<b>Figura 18</b> - Sistema radicular de plantas de milho com crescimento normal e com sintomas de intoxicação causados pelo herbicida chlorimuron-ethyl.....	22
<b>Figura 19</b> - Sintomas de intoxicação de plantas de soja causados pelo herbicida chlorimuron-ethyl.....	22
<b>Figura 20</b> - Sintomas de intoxicação no sistema radicular e na parte aérea de plantas de soja causados pelo herbicida chlorimuron-ethyl. ..	23
<b>Figura 21</b> - Sintomas de intoxicação de plantas de algodão causados pelo herbicida imazethapyr. ....	24
<b>Figura 22</b> - Sintomas de intoxicação no sistema radicular e na parte aérea de plantas de soja causados pelo herbicida imazethapyr. ....	24
<b>Figura 23</b> - Sintomas de intoxicação de plantas de milho causados pelo herbicida imazethapyr. ....	25
<b>Figura 24</b> - Sintomas de intoxicação do sistema radicular e da parte aérea de plantas de milho causados pelo herbicida imazethapyr.....	25
<b>Figura 25</b> - Sintomas de intoxicação de plantas de sorgo causados pelo herbicida imazethapyr. ....	26
<b>Figura 26</b> - Sintomas de intoxicação do sistema radicular e da parte aérea de plantas de sorgo causados pelo herbicida imazethapyr. ....	26
<b>Figura 27</b> - Sintomas de intoxicação de plantas de algodão causados pelo herbicida metsulfuron-methyl. ....	27

<b>Figura 28</b> - Sintomas de intoxicação do sistema radicular e da parte aérea de plantas de algodão causados pelo herbicida metsulfuron-methyl.....	28
<b>Figura 29</b> - Sintomas de intoxicação em plantas de milho causados pelo herbicida metsulfuron-methyl. ....	28
<b>Figura 30</b> - Sintomas de intoxicação no sistema radicular de plantas de milho causados pelo herbicida metsulfuron-methyl. ....	29
<b>Figura 31</b> - Sintomas de intoxicação em plantas de soja causados pelo herbicida metsulfuron-methyl .....	29
<b>Figura 32</b> - Sintomas de intoxicação no sistema radicular e na parte aérea de plantas de soja causados pelo herbicida metsulfuron-methyl.	30
<b>Figura 33</b> - Sintomas de intoxicação em plantas de sorgo causados pelo herbicida metsulfuron-methyl. ....	30
<b>Figura 34</b> - Sintomas de intoxicação no sistema radicular e na parte aérea de plantas de sorgo causados pelo herbicida metsulfuron-methyl.....	31
<b>Figura 35</b> - Sintomas de intoxicação em plantas de milho causados pelo herbicida nicosulfuron.....	32
<b>Figura 36</b> - Sintomas de intoxicação em plantas de milho causados pelo herbicida nicosulfuron.....	32
<b>Figura 37</b> - Sintomas de intoxicação em plantas de algodão causados pelo herbicida diclosulan. ....	33
<b>Figura 38</b> - Sintomas de intoxicação no sistema radicular e na parte aérea de plantas de algodão causados pelo herbicida diclosulan.....	34
<b>Figura 39</b> - Sintomas de intoxicação em plantas de soja causados pelo herbicida diclosulan. ....	34
<b>Figura 40</b> - Sintomas de intoxicação no sistema radicular de plantas de soja causados pelo herbicida diclosulan. ....	35
<b>Figura 41</b> - Sintomas de intoxicação em plantas de sorgo causados pelo herbicida diclosulan. ....	35
<b>Figura 42</b> - Sintomas de intoxicação no sistema radicular e na parte aérea de plantas de sorgo causados pelo herbicida diclosulan. ....	36
<b>Figura 43</b> - Sintomas de intoxicação de milho causados pelo herbicida fluazifop-p-butil. ....	37
<b>Figura 44</b> - Sintomas de intoxicação em plantas de milho causados pelo herbicida fluazifop-p-butil. ....	38

<b>Figura 45</b> - Sintomas de intoxicação em plantas de milho causados pelo herbicida haloxyfop-methyl. ....	38
<b>Figura 46</b> - Sintomas de intoxicação em plantas de milho causados pelo herbicida haloxyfop-methyl. ....	39
<b>Figura 47</b> - Sintomas de intoxicação em plantas de milho causados pelo herbicida fenoxaprop-p-ethyl. ....	39
<b>Figura 48</b> - Sintomas de intoxicação em plantas de milho causados pelo herbicida fenoxaprop-p-ethyl. ....	40
<b>Figura 49</b> - Sintomas de intoxicação em plantas de algodão causados pelo herbicida clomazone. ....	41
<b>Figura 50</b> - Sintomas de intoxicação em plantas de cana-de-açúcar causados pelo herbicida clomazone. ....	42
<b>Figura 51</b> - Sintomas de intoxicação em plantas de sorgo causados pelo herbicida clomazone. ....	42
<b>Figura 52</b> - Sintomas de intoxicação em plantas de algodão causados pelo herbicida sulfentrazone. ....	44
<b>Figura 53</b> - Sintomas de intoxicação no sistema radicular e na parte aérea de plantas de algodão causados pelo herbicida sulfentrazone. ...	44
<b>Figura 54</b> - Sintomas de intoxicação em plantas de milho causados pelo herbicida sulfentrazone. ....	45
<b>Figura 55</b> - Sintomas de intoxicação em plantas de sorgo causados pelo herbicida sulfentrazone. ....	45
<b>Figura 56</b> - Sintomas de intoxicação no sistema radicular e na parte aérea em plantas de sorgo causados pelo herbicida sulfentrazone. ....	46
<b>Figura 57</b> - Sintomas de intoxicação em plantas de milho causados pelo herbicida fomesafen. ....	47

## RESUMO

DIAS, Gustavo Luís Sant' Ana, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2015. **Sintomas de intoxicação de culturas por herbicidas.** Orientador: Antônio Alberto da Silva.

O uso de moléculas químicas tem sido a prática mais adotada no controle de plantas daninhas. Isso ocorre porque o método químico para realização dessa prática cultural é eficiente, rápido e tem menor custo. Todavia, antes de se recomendar um herbicida, é necessário conhecer a tolerância da cultura a esse produto e, também, as suas interações com o ambiente. Esse conhecimento irá permitir ao técnico fazer um diagnóstico de possíveis falhas na aplicação, bem como verificar se o aparecimento de sintomas de intoxicação nas culturas foi provocado pelos herbicidas aplicados, ou decorrente de outras causas. Este trabalho teve como objetivo caracterizar, por meio de fotografias, os sintomas de intoxicação de culturas causados por herbicidas de grande utilização no Brasil. Foram caracterizados os sintomas de intoxicação de 24 herbicidas, pertencentes a 9 mecanismos de ação, recomendados para as culturas de algodão, café, cana-de-açúcar, eucalipto, feijão, milho, soja, sorgo e tomate. O substrato utilizado para o cultivo das culturas foi composto por uma mistura de solo peneirado e adubado com fertilizante 8-28-16 (NPK). Esse substrato foi colocado em vasos plásticos recobertos internamente com sacolas de policloreto de vinil. A capacidade desses vasos variou de 3, 0 a 10, 0 L, de acordo com o porte da cultura estudada. A caracterização dos sintomas de intoxicação das culturas, das partes aérea e radicular, pelos herbicidas foi feita por

meio de fotografias utilizando-se uma câmera fotográfica de alta resolução. Os resultados observados neste trabalho consistiram na elaboração de 57 fotografias para compor a dissertação de mestrado, as quais, numa segunda etapa, serão utilizadas na elaboração de um manual de consulta desses sinais de intoxicação de herbicidas nas principais culturas de grande interesse econômico do Brasil. Acredita-se que esse material será de grande utilidade aos profissionais da área para uso em campo.

## ABSTRACT

DIAS, Gustavo Luís Sant' Ana, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2015.  
**Symptoms of herbicide intoxication in crops.** Adviser: Antônio Alberto da Silva.

The use of chemical molecules has been the practice mostly used practice in weed control. This happens because the chemical method is an efficient and fast practice and has less costs. However, before to recommending a herbicide it is necessary to know the tolerance of the crop to this product and also their interactions with the environment. This knowledge will allow the professional to diagnose possible failures in the application and the appearance of symptoms of intoxication presented by crops was that were caused by the herbicides applied or if they were due to other causes. This study has aimed to characterize, through by means of photographs, the symptoms of crops intoxicated by herbicides widely used in Brazil. Symptoms of intoxication of 24 herbicides were characterized, belonging to 9 mechanisms of action, recommended for crops of cotton, coffee, sugarcane, eucalyptus, beans, corn, soybeans, sorghum and tomato. The substrate used for the cultivation of the crops consisted of a mixture of sifted soil and fertilized with 8-28-16 (NPK) fertilizer. This substrate was placed in plastic pots internally coated with polyvinyl chloride bags. The ability capacity of these pots has ranged from 3.0 to 10.0 L, according to the size of the studied culture. The characterization of the symptoms of poisoning of the crops, of aerial and root and shoot parts, by the herbicides was done by means of photographs, using a high resolution

camera. The results of this study consisted in the development of 57 photographs to compose a master's degree dissertation, which, in a second stage, will be used preparation of a reference manual for the these signs of intoxication of herbicides on the main crops of great economic interest to Brazil. It is believed that this material will be useful to professionals in the field.

## **1 INTRODUÇÃO**

No Brasil, atualmente pratica-se em larga escala uma agricultura com alto nível de tecnologia. Isso, associando a grande disponibilidade de áreas agricultáveis e às excelentes condições de solo e clima do País, tem resultado em elevada produtividade proporcionando ao Brasil sucessivos recordes na produção de grãos. Contudo, o modelo de agricultura contemporâneo, amparado no uso de modernas tecnologias, tem como característica o elevado uso de insumos químicos, quando comparado aos cultivos de subsistência ou da agricultura familiar. Hoje o agronegócio é a principal atividade econômica brasileira, respondendo por cerca de 34% do produto interno bruto (PIB) e, também, por cerca de 38% dos empregos formais (MAPA, 2015).

Nas cadeias do agronegócio, o cultivo de plantas de grandes áreas tem posição de destaque, pois o Brasil é um dos maiores produtores de grãos do planeta. Todavia, alguns riscos são assumidos pelos agricultores ao ingressarem nessa atividade, como os ataques de pragas e doenças, bem como o manejo das plantas infestantes sem interesse comercial, as quais competem por fatores de crescimento com as culturas. Um dos pilares de sustentação dos sucessivos recordes na produção de grãos no Brasil pode ser atribuído ao desenvolvimento da ciência das plantas daninhas. Avanços nessa ciência tornaram possível a consolidação do sistema de plantio direto e o cultivo de extensas áreas com pouca demanda de mão de obra, além da expansão de novas fronteiras agrícolas no País.

Interferindo na atividade humana direta ou indiretamente, algumas plantas são consideradas daninhas, pois competem com culturas comerciais por luz, água, nutrientes e CO<sup>2</sup>, nas fases de desenvolvimento da planta de interesse. Esses recursos naturais do ambiente podem se tornar limitados pela presença de outras plantas no mesmo espaço, que também lutam pelos mesmos fatores de crescimento, gerando, assim, uma relação de competição entre plantas vizinhas, sejam estas da mesma espécie ou de espécies diferentes (SILVA et al., 2007). Isso se torna mais grave porque, quase sempre, as plantas daninhas são mais competitivas que as culturas de interesse. Estas podem apresentar algumas características fisiológicas que as fazem melhor competidoras por esses recursos que as plantas comerciais. Plantas daninhas são mais rústicas, possuem grande diversidade genética, podem produzir grande número de sementes por planta e quase sempre estão adaptadas às condições adversas, podendo resistir ao ataque de pragas e doenças e a outras condições adversas. Por essas razões, essas plantas devem ser controladas, visto que causam prejuízos diretos e indiretos ao produtor, levando a perdas parciais ou totais de sua produtividade (SILVA et al., 1999).

A fim de manejar as plantas daninhas, são empregados diversos métodos de controle. De todos, o controle químico atualmente é o mais eficiente e o mais utilizado, uma vez que permite rapidez na operação, tornando possível o cultivo de extensas áreas rapidamente, o que é necessário para evitar perdas por competição das culturas com as plantas daninhas. Além disso, tem menor custo que os demais métodos de controle disponíveis. Isso tem sido possível graças aos novos compostos químicos com atividade herbicida sintetizados principalmente após a Segunda Guerra Mundial. No entanto, seu uso indiscriminado pode levar à intoxicação das culturas e à contaminação e poluição do ambiente, trazendo severos prejuízos ao produtor e à população como um todo. Quando mal utilizados, podem proporcionar danos irreversíveis às culturas comerciais, levando à perda parcial ou total da produção final (THILL, 2003).

Para evitar o uso inadequado antes de se fazer a recomendação de um herbicida, é necessário que o técnico conheça a tolerância da cultura a esse produto e também as suas interações com o ambiente. Isso permitirá fazer um diagnóstico no campo de possíveis falhas na aplicação, bem como verificar se o aparecimento de sintomas de intoxicação apresentados pelas culturas foi provocado pelos herbicidas aplicados ou decorrente de outras causas (SILVA et al., 2007). No entanto, não há disponibilidade de um manual prático de caracterização de sintomas de herbicidas em culturas para os técnicos que atuam no campo. Para elaboração desse manual, é

necessário descrever com exatidão os sintomas de intoxicação causados pelos herbicidas nas culturas. Essas intoxicações se distinguem por lesões nas plantas, que poderão ser caracterizadas e agrupadas de acordo com o mecanismo de ação do herbicida. O mecanismo de ação refere-se à primeira lesão bioquímica ou biofísica que resulta na morte ou ação final do composto (ALVES, 2009). Contudo, um mesmo herbicida pode influenciar vários processos metabólicos na planta (THILL, 2003). Desse modo, o agrupamento de herbicidas quanto aos mecanismos de ação visa à organização dos diferentes tipos de sintomas provocados pelos herbicidas, agregando-os de acordo com o tipo de lesão que causam na planta, e como esta será levada à morte (SILVA et al., 2007). Essas características individuais permitem estabelecer grupos afins de herbicidas com base em sua seletividade, época de aplicação, translocação, estrutura química e mecanismo de ação (WELLER, 2003a). Neste trabalho, foram caracterizados, por meio de 57 fotografias, os sintomas de intoxicação de 24 herbicidas, pertencentes a seis mecanismos de ação, recomendados para as culturas de algodão, café, cana-de-açúcar, eucalipto, feijão, milho, soja, sorgo e tomate.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado em casa de vegetação localizada na Estação Experimental Diogo Alves de Mello e no Laboratório de Herbicida na Planta, pertencentes à Universidade Federal de Viçosa, situados na cidade de Viçosa, MG (altitude: 648, 74 m; latitude: 20°45'14"S; longitude: 42° 52' 53" W; coordenadas UTM (m): 7. 703. 630 N e 720. 570 E).

O substrato utilizado para o cultivo das culturas foi composto por uma mistura de solo peneirado e adubado com fertilizante 8-28-16 (NPK). Esse substrato foi depositado em vasos plásticos recobertos internamente com sacolas de policloreto de vinil. A capacidade desses vasos variou de 3,0 a 10,0 L, de acordo com o porte da cultura. Uma vez preenchidos, os vasos foram direcionados e organizados por cultura nas bancadas da casa de vegetação.

Nesses vasos foram feitos os cultivos das seguintes culturas: cana-de-açúcar, milho, soja, sorgo, eucalipto, algodão, feijão, café e tomate. Nessas culturas foram aplicados 24 herbicidas, pertencentes a nove mecanismos de ação distintos. Os herbicidas seletivos para as culturas selecionadas foram aplicados em doses suficientes, para que ocorresse a intoxicação nas mesmas, ao passo que aqueles não seletivos foram aplicados em menores doses, suficientes para provocar sintomas visuais de toxidez às culturas. Essas doses foram definidas em experimentos preliminares.

De acordo com as características dos herbicidas, estes foram aplicados em pré-emergência ou em pós-emergência. Os herbicidas pós-emergentes foram aplicados

diretamente sobre as culturas; neste caso, as aplicações foram feitas em torno de 9 a 15 dias logo após o surgimento dos primeiros pares de folhas. Na aplicação foi utilizado um pulverizador costal de precisão, calibrado à pressão de 300 KPa, munido de duas pontas TT 110-02, com volume de calda equivalente a 150 L ha<sup>-1</sup> de calda.

Para essa caracterização, foi construído e utilizado um estúdio móvel fotográfico, utilizando-se uma câmera digital de alta resolução (EOS Rebel T3i, com kit ótico 18-135 mm IS), equipada com tripé para fixação, empregando um tecido de algodão de coloração preta como plano de fundo. As fotos foram feitas logo após o aparecimento dos primeiros sintomas de intoxicação e repetidas uma semana depois, afim de registrar a evolução das manifestações dos sintomas causados pelos herbicidas avaliados. Todas as fotos foram tomadas à luz do dia, com o objetivo de caracterizar os sintomas de intoxicação de herbicidas nas culturas. As fotografias obtidas foram selecionadas e editadas, para elaboração da dissertação de mestrado. Elas, posteriormente, deverão ser utilizadas na construção de um manual técnico a ser disponibilizado para técnicos que atuam no campo. Para isso, as fotografias foram agrupadas de acordo com o mecanismo de ação dos herbicidas. Esses sintomas foram caracterizados por herbicida e cultura de maneira visual (fotografias) e também de forma descritiva.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Caracterização dos sintomas causados por herbicidas auxínicos**

Os herbicidas auxínicos, ou mimetizadores de auxinas, têm importância em todo o mundo. São extensivamente utilizados nas culturas de arroz, milho, trigo, cana-de-açúcar, pastagens e, também, em mistura com glyphosate em aplicações dirigidas para dessecação da vegetação, visando ao plantio direto (SILVA et al., 2013). Esses herbicidas foram os primeiros compostos orgânicos com atividade herbicida seletiva sintetizados pela indústria (VIDAL et al., 2001). São conhecidos como herbicidas hormonais ou reguladores de crescimento, pois provocam mudanças metabólicas e bioquímicas nas plantas em virtude de sua ação sobre o crescimento das mesmas (SENSEMAN, 2007). Acredita-se que esses produtos interfiram na ação da enzima RNA-polimerase e, conseqüentemente, na síntese de ácidos nucleicos e proteínas (THILL, 2003a). Como consequência disso, as espécies dicotiledôneas, quando tratadas com esses herbicidas, passam a apresentar crescimento desordenado dos tecidos vegetais (OLIVEIRA; CONSTANTIN, 2011). Os primeiros sintomas observados nas plantas tratadas com os herbicidas auxínicos são epinastia das folhas, pecíolo, ramos e caules, alteração na venação das folhas e encarquilhamento. A seguir, o caule fica quebradiço e ocorrem obstrução do floema, a clorose, murchamento, necrose das folhas e alterações no crescimento (Figuras 1, 2 e 3) e atrofia das raízes. Esses sintomas são também descritos por Vidal et al. (2002). A morte das plantas suscetíveis ocorre de

forma lenta, podendo variar entre uma e cinco semanas após a aplicação (VIDAL; MEROTTO JR., 2001; SILVA et al., 2007).



**Figura 1** - Sintomas de intoxicação de plantas de soja causados pelo herbicida 2,4-D.



**Figura 2** - Sintomas de intoxicação de plantas de feijão causados pelo herbicida 2,4-D.



**Figura 3** - Sintomas de intoxicação de plantas de algodão causados pelo herbicida 2,4-D.

Esses herbicidas não atuam sobre plantas monocotiledôneas, sobretudo aquelas da família das poáceas (gramíneas). Plantas dessa família apresentam características morfogênicas e mecanismos que atuam sobre esses herbicidas, reduzindo o seu efeito. Essas características são: anatomia (câmbio revestido pelo esclerênquima, o que torna mais difícil o seu rompimento), exsudação radicular (o herbicida é absorvido pelas folhas e eliminado pelas raízes) e degradação (produto é degradado a partir de reações de oxidação).

O 2, 4-D é um herbicida seletivo recomendado para uso em pré e em pós-emergência, sendo indicado para controle das plantas infestantes nas culturas de cana-de-açúcar, milho, arroz, trigo, soja e café (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). No Brasil, o 2, 4-D é comercializado apenas em formulações na forma de sal. Na formulação éster, é prontamente absorvido pelas folhas, ao passo que aquelas à base de sal são mais rapidamente absorvidas pelo sistema radicular das plantas. Em ambas as formulações, o 2, 4-D transloca-se por toda a planta, pois se movimenta tanto pelo floema quanto pelo xilema. O 2, 4-D transloca-se com grande eficiência em plantas com elevada atividade metabólica. Em geral, plantas ganham maior tolerância com a idade, porém, durante o florescimento, a resistência aos herbicidas hormonais é reduzida (SILVA et al., 2007).

Quanto ao comportamento no ambiente, o 2, 4-D apresenta residual médio no solo de 30 dias; essa persistência pode variar, dependendo das condições de solo e clima. Estudos mostram que 15 dias após a aplicação, em regiões úmidas e quentes e com solos mais argilosos, já não há mais resíduos desse herbicida no solo (d'ANTONINO et al., 2009).

### **3.2 Caracterização dos sintomas causados por herbicidas inibidores do FSI**

Os herbicidas inibidores do FSI (paraquat e diquat) são derivados da amônia quaternária e possuem característica de bases fortes. Por serem não seletivos e não apresentarem efeito residual no solo são utilizados como dessecantes no plantio direto, na pré-colheita de grãos e em aplicações dirigidas, em diversas culturas (SILVA et al., 2007). Além disso, atualmente estão sendo muito usados no controle de culturas tigueras e biótipos de plantas daninhas resistentes, principalmente ao glyphosate. Têm como característica a alta solubilidade em água e, por apresentarem dupla carga positiva, as moléculas são fortemente sorvidas e inativadas pelos coloides do solo. Ademais, são rapidamente absorvidos pelas folhas. A ocorrência de chuvas após 30 minutos de sua aplicação não influencia a eficiência de controle das plantas daninhas (SILVA, A. A.; D'ANTONINO, L.; FERREIRA, F. A., 2014).

Os herbicidas paraquat e diquat, quando absorvidos pelas folhas, possuem alta capacidade de captar elétrons provenientes da fotossíntese no fotossistema I e formar peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), o qual, em altas concentrações no citoplasma celular, induz a rápida formação de radicais livres, que irão destruir as membranas celulares e, conseqüentemente, o tecido vegetal (SILVA et al., 2007). Estes herbicidas (paraquat e diquat) atuam como catalisadores enzimáticos para produção do  $H_2O_2$ , pois sofrem oxidação seguida de redução, produzindo de maneira intermitente (reação de dismutação) altas concentrações desse composto no citoplasma celular. O  $H_2O_2$ , na presença de Mg, produz radicais hidroxil, os quais promovem a degradação das membranas (peroxidação de lipídios), causando vazamento celular e a morte do tecido (Figuras 4 e 5). Quando as plantas não estão realizando a fotossíntese – por exemplo, quando aplicados à noite, a ação desses herbicidas será mais lenta, pois nessa condição eles irão capturar apenas os elétrons provenientes da respiração para formarem os radicais tóxicos (WELLER, 2003c). Quando empregados na dessecação, visando ao plantio direto, ou em aplicações dirigidas em culturas de milho, algodão, café e fruteiras.



**Figura 4** - Sintomas intoxicação de plantas de algodão causados pelo herbicida paraquat.



**Figura 5** - Sintomas de intoxicação de plantas de milho causados pelo herbicida paraquat.

e para limpeza de áreas cultivadas, é comum utilizar a mistura de um herbicida inibidor do FSI (paraquat) com o diuron. Nesse caso, ocorrerá pequena translocação do paraquat, garantindo melhor controle da planta daninha. Todavia, essa mistura não poderá ser usada para antecipar a colheita de grãos, pois haverá alta possibilidade de contaminação dos grãos com o inibidor do FSI.

### **3.3 Caracterização dos sintomas causados por herbicidas inibidores do FSII**

Os herbicidas inibidores do FSII são de grande importância na agricultura brasileira e mundial. Em todas as culturas que possuem grandes áreas cultivadas no Brasil, há pelo um herbicida desse grupo registrado para o seu uso (MAPA, 2015). Esses herbicidas atuam impedindo o fluxo de elétrons do FSII para o FSI. Isso tem como consequência a inibição da formação do ATP e do NADPH. Com o bloqueio dos elétrons, haverá uma sobrecarga de energia sobre os carotenoides, o que provoca a fotoxidação das moléculas de clorofila, resultando em clorose seguida de necrose das plantas. Essa necrose deve-se a rompimentos na membrana dos pigmentos causados pela peroxidação de lipídios (ácidos graxos insaturados) da membrana (SILVA et al., 2007).

Todos os herbicidas inibidores do FSII se locomovem nas plantas exclusivamente via xilema. Por isso, quando utilizados em pós-emergência, para que sejam eficientes todas as partes da planta devem ser pulverizadas. São produtos praticamente não tóxicos a animais; contudo, podem provocar sérios impactos ambientais, por atuarem matando a base da cadeia alimentar, ou seja, organismos que realizam a fotossíntese (SILVA et al., 2007). Apresentam como características: a taxa de fixação de CO<sub>2</sub> pelas plantas sensíveis, tratadas com esses herbicidas, declina poucas horas após o tratamento; e não provocam nenhum sinal visível de intoxicação no sistema radicular das plantas. Aparentemente, todos eles podem ser absorvidos pelas raízes; entretanto, a velocidade de absorção foliar é diferente para cada composto desse grupo.

Quando esses herbicidas são usados em pós-emergência, necessita-se de boa cobertura foliar da planta e, ainda, de adição de adjuvantes (estes produtos podem apresentar difícil penetração foliar e não são sistêmicos); normalmente, não apresentam problemas de deriva por volatilização, pois possuem pressão de vapor muito baixa. Plantas que estão se desenvolvendo em condições de baixa luminosidade são mais

suscetíveis a esses herbicidas (SILVA et al., 2007). Tem sido observado, com relativa frequência, o aparecimento de novas espécies de plantas daninhas resistentes a esses herbicidas (atuam em sítio de ação específico), tornando-se necessário fazer rotação com herbicidas que apresentam mecanismo de ação diferente. Em geral, estes herbicidas são muito adsorvidos pelos coloides orgânicos e minerais do solo e apresentam pouca ou média mobilidade no seu perfil; portanto, as doses recomendadas, quando aplicadas diretamente no solo, são variáveis para cada tipo de solo.

Entre os herbicidas desse grupo, serão apresentados os sintomas de intoxicação causados por ametryn, atrazine e diuron. Esses herbicidas são os de maior uso dentro do grupo, e os seus sintomas são semelhantes aos provocados por diversos inibidores do FSII em uso no Brasil. O ametryn (Figura 6) é o principal herbicida recomendado para cana-de-açúcar. É medianamente lixiviável e apresenta persistência média em solos tropicais e subtropicais, podendo ser maior que nove meses, dependendo do clima e tipo de solo (meia-vida média no solo é de 60 dias). É pouco móvel no solo, por ser muito adsorvido por coloides orgânicos e minerais, e influenciado também pelo pH (ANDRADE et al., 2010; SILVA et al., 2012; KASOZI et al., 2012).



**Figura 6** - Sintomas de intoxicação de plantas de soja causados pelo herbicida ametryn.

O atrazine caracteriza-se por ser o herbicida mais utilizado nas culturas de milho e sorgo. Além disso, pode ser usado em diversas outras culturas (AGROFIT, 2015). Esse herbicida é moderadamente adsorvido pelos coloides orgânicos e minerais do solo (KASOZI et al., 2012). Quando utilizado em solos arenosos e com baixo teor de matéria orgânica, pode ser lixiviado para grandes profundidades e contaminar águas subterrâneas (PRADO et al., 2014). Isso ocorre porque apresenta mobilidade média no perfil do solo e meia-vida média de 60 dias (SILVA et al., 2007). Essa persistência no solo pode ser muito maior se ele for lixiviado para camadas onde ocorre baixa atividade biológica. Diversas pesquisas relatam que a principal fonte de degradação do atrazine no ambiente são os microrganismos (MUDHOO; GARG, 2011; PRADO et al., 2014). Em solos tropicais e subtropicais, sua persistência pode também ser maior que 12 meses, se usado em doses elevadas e em condições de pH do solo elevado, clima frio e seco. Pode ser aplicado em pós-emergência mesmo com doses menores que as usadas em pré-emergência, porém é necessário adicionar óleo mineral à calda, além de proporcionar ótima cobertura da calda nas plantas alvo. Os sintomas de intoxicação em plantas provocados pelo atrazine caracterizam-se por clorose seguida de necrose (Figura 7).



**Figura 7** - Sintomas de intoxicação de plantas de tomate causados pelo herbicida atrazine.

O diuron é um herbicida muito utilizado nas culturas de cana-de-açúcar e algodão. Além disso, pode ser usado em diversas outras culturas (AGROFIT, 2015). Esse herbicida pode ser fortemente adsorvido pelos coloides orgânicos e minerais do solo (ROCHA et al., 2013a).

Os sintomas de intoxicação em plantas provocados pelo diuron caracterizam-se por clorose das nervuras foliares, seguida de necrose do limbo foliar e morte das plantas (Figura 8).

Na cultura da cana-de-açúcar, com frequência, o diuron é aplicado em misturas com outros herbicidas inibidores do FS II ou que possuem outros mecanismos de ação. Quando utilizado em solos arenosos e com baixo teor de matéria orgânica, perde a sua seletividade para a cultura do algodão (SILVA, A. A.; D'ANTONINO, L.; FERREIRA, F. A.). O diuron apresenta persistência no solo de 4-8 meses (ROCHA et al., 2013b). Em cultivos de soja em sucessão essas misturas podem provocar intoxicação (Figura 9).



**Figura 8** - Sintomas de intoxicação de plantas de feijão causados pelo herbicida diuron.



**Figura 9** - Sintomas de intoxicação do sistema radicular de plantas de soja causados pela mistura dos herbicidas (diuron e hexazinone).

### **3.4 Caracterização dos sintomas causados por herbicidas inibidores da enzima EPSPs**

O único inibidor da EPSPs (5 enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase) no mundo é o glyphosate, em razão de ser não seletivo (com exceção de transgênicos), sua eficiência no controle de inúmeras espécies de plantas daninhas e sua diversidade de uso (controle de plantas daninhas em áreas não agrícolas, como dessecante na implantação do plantio direto de culturas, renovação de pastagens, aplicação dirigida em culturas perenes, como regulador de florescimento de cana-de-açúcar e controle seletivo em culturas geneticamente modificadas (SILVA, A. A.; D'ANTONINO, L.; FERREIRA, F. A.).

O glyphosate atua inibindo a enzima EPSPs bem como a síntese dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano. Após a aplicação desse herbicida, as plantas têm o crescimento paralisado, podendo ocorrer clorose, seguida de murcha das folhas e morte das plantas. Em algumas espécies de plantas perenes, como o café, pode ocorrer, além da clorose, o estreitamento do limbo foliar (Figuras 10, 11, 12, 13 e 14). O glyphosate é um herbicida que possui ação sistêmica, sendo absorvido e translocado com maior eficiência por plantas que estão com a cutícula bem hidratada e com boa atividade

fotossintética. A morte da planta intoxicada pelo glyphosate poderá ocorrer em um intervalo de 7 a 30 dias após a aplicação, dependendo da espécie tratada, do seu estágio de desenvolvimento e da dose aplicada. A absorção do glyphosate pelas plantas é lenta e dependente da formulação comercial do herbicida. Em geral, o intervalo desejável sem ocorrência de chuva varia de quatro a seis horas após a aplicação (SILVA, A. A.; D'ANTONINO, L.; FERREIRA, F. A.).



**Figura 10** - Sintomas de intoxicação de plantas de café causados pelo herbicida glyphosate.



**Figura 11** - Detalhes de sintomas de intoxicação de plantas de café causados pelo herbicida glyphosate.



**Figura 12** - Sintomas de intoxicação de plantas de eucalipto causados pelo herbicida glyphosate.



**Figura 13** - Detalhes de sintomas de intoxicação de plantas de eucalipto causados pelo herbicida glyphosate.



**Figura 14** - Sintomas de intoxicação de plantas de milho causados pelo herbicida glyphosate.

No Brasil, o glyphosate é comercializado formulado em três diferentes sais: sal isopropilamina, sal de amônia e sal potássico. Os produtos à base de sais de isopropilamina e sal de potássio são comercializados na forma líquida, e à base de sal de amônio, na forma sólida. Dentro de cada tipo de formulação existem diversas marcas comerciais que podem apresentar diferentes concentrações do equivalente ácido glyphosate, assim como toxicidade e tempo de penetração foliar diferentes.

### **3.5 Caracterização dos sintomas causados por herbicidas inibidores da enzima ALS**

Os herbicidas inibidores da ALS são de grande importância na agricultura brasileira e mundial. No Brasil, herbicidas desse grupo são registrados para as culturas de trigo, soja, arroz, milho, feijão, batata, beterraba, algodão, coníferas e cana-de-açúcar (MAPA, 2015). Esses herbicidas atuam inibindo a enzima acetolactato sintase (ALS), impedindo a síntese dos aminoácidos ramificados (leucina, isoleucina e valina). Essa inibição interrompe a síntese proteica, que por sua vez interfere na síntese do DNA e no crescimento celular. As plantas sensíveis tratadas com esses herbicidas tornam-se cloróticas, definham e morrem no intervalo de 7 a 14 dias após o tratamento (SILVA et al., 2007). Segundo VIDAL, R. A.; MEROTTO JR., A. et al 2014, os herbicidas inibidores da ALS são de grande importância para a agricultura mundial em razão do elevado número de ingredientes ativos disponíveis e de sua grande utilização. São utilizados em baixas doses se pouco tóxicos, apresentando amplo aspecto de controle, elevada seletividade, alta eficiência e flexibilidade em sua utilização (SHANER, 1999). Neste trabalho foram caracterizados, por meio de fotografias, os sintomas de intoxicação em culturas dos herbicidas chlorimuron-ethyl, imazethapyr, metsulfuron-methyl, nicosulfuron e diclosulan.

O chlorimuron-ethyl, no solo, apresenta adsorção e lixiviação moderadas e meia-vida média de 7, 5 semanas. A sua persistência é maior em solos com pH mais elevado e de clima temperado (WANG et al., 2010). Recomenda-se, nas condições brasileiras, manter um intervalo de 60 dias entre a aplicação do chlorimuron-ethyl e a semeadura de trigo, milho, feijão e algodão, devido à sua persistência (XU et al., 2014). Controla essencialmente espécies anuais de dicotiledôneas, sendo mais efetivo quando estas se encontram na fase inicial de crescimento (até seis folhas). As plantas tratadas com esse herbicida têm o seu crescimento paralisado e ficam cloróticas, seguidas com

posterior necrose e morte (Figuras 15, 16, 17, 18, 19 e 20). É comum misturá-lo com outros herbicidas, no controle de dicotiledôneas em soja, porém não deve ser misturado com graminicidas (SILVA et al., 2007). Trata-se de um herbicida seletivo de ação sistêmica, pertencente ao grupo químico das sulfonilureias, recomendado para o controle de plantas daninhas de folhas largas na cultura da soja (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).



**Figura 15** - Sintomas de intoxicação de plantas de algodão causados pelo herbicida chlorimuron-ethyl.



**Figura 16** - Sintomas de intoxicação no sistema radicular e na parte aérea de plantas de algodão causados pelo herbicida chlorimuron-ethyl.



**Figura 17** - Sintomas de intoxicação de plantas de milho causados pelo herbicida chlorimuron-ethyl.



**Figura 18** - Sistema radicular de plantas de milho com crescimento normal e com sintomas de intoxicação causados pelo herbicida chlorimuron-ethyl.



**Figura 19** - Sintomas de intoxicação de plantas de soja causados pelo herbicida chlorimuron-ethyl.



**Figura 20** - Sintomas de intoxicação no sistema radicular e na parte aérea de plantas de soja causados pelo herbicida chlorimuron-ethyl.

O imazethapyr é fracamente adsorvido em solo com pH alto, podendo ter adsorção média naqueles com pH baixo (DIOURI et al., 2011). Sua persistência no solo é longa, podendo apresentar carryover em culturas em rotação (SOUSA et al., 2012; XU et al., 2013). O imazethapyr controla essencialmente espécies anuais de dicotiledôneas. É registrado no Brasil para uso exclusivo na cultura da soja. Recomenda-se sua aplicação em pós-emergência precoce, estando às dicotiledôneas no estágio cotiledonar, com até quatro folhas, e as monocotiledôneas, entre uma e quatro folhas, o que geralmente acontece entre 5 e 15 dias após a semeadura da soja (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). As plantas tratadas com esse herbicida têm o crescimento paralisado e ficam cloróticas (Figuras 21, 22, 23, 24, 25 e 26), com posterior necrose e morte. É comum misturá-lo com outros herbicidas para o controle de dicotiledôneas em soja, porém não deve ser misturado com graminicidas e com herbicidas que apresentem o mesmo mecanismo de ação (SILVA et al., 2007).



**Figura 21** - Sintomas de intoxicação de plantas de algodão causados pelo herbicida imazethapyr.



**Figura 22** - Sintomas de intoxicação no sistema radicular e na parte aérea de plantas de soja causados pelo herbicida imazethapyr.



**Figura 23** - Sintomas de intoxicação de plantas de milho causados pelo herbicida imazethapyr.



**Figura 24** - Sintomas de intoxicação do sistema radicular e da parte aérea de plantas de milho causados pelo herbicida imazethapyr.



**Figura 25** - Sintomas de intoxicação de plantas de sorgo causados pelo herbicida imazethapyr.



**Figura 26** - Sintomas de intoxicação do sistema radicular e da parte aérea de plantas de sorgo causados pelo herbicida imazethapyr.

O metsulfuron-methyl é fracamente adsorvido em solo com pH alto, podendo ter adsorção média naqueles com pH baixo (SINGH; SINGH, 2014). Dependendo das características do solo e clima, sua persistência (meia-vida) no solo varia de 30 a 120 dias, observando-se com frequência carryover em culturas em rotação (ZANINI et al., 2009; BRIGANTE et al., 2013). O metsulfuron-methyl é registrado no Brasil para controle de plantas daninhas de folhas largas, algumas gramíneas e ciperáceas nas culturas de trigo, arroz, cana-de-açúcar, aveia, cevada, manejo de inverno e pastagens. É recomendado para uso em pós-emergência, devendo ocorrer intervalo de seis horas sem chuva após a sua aplicação (SILVA et al., 2007). Na cultura da cana-de-açúcar em áreas infestadas com *Cyperus rotundus* e dicotiledôneas, pode ser utilizado em mistura com ametryn, podendo ser aplicado em pré ou em pós-emergência das plantas daninhas. A ação do composto nas plantas daninhas sensíveis pode ser observada por meio da clorose das folhas e morte das gemas apicais, com evolução para morte das plantas até 21 dias após aplicação (Figuras 27, 28, 29, 30, 31 e 32).



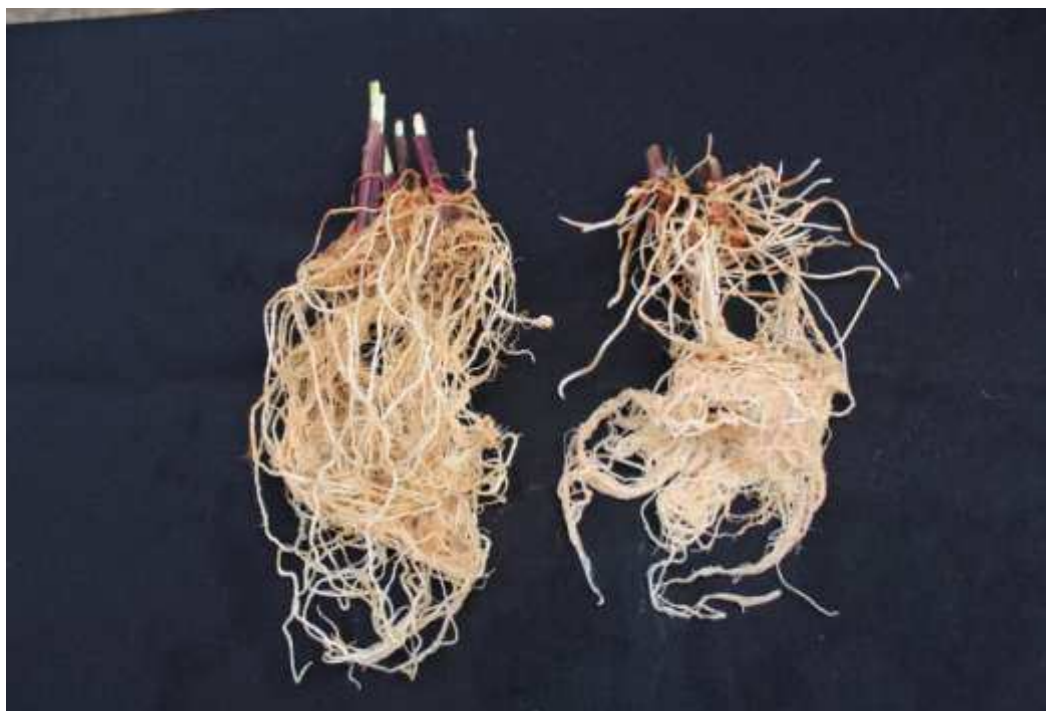
**Figura 27** - Sintomas de intoxicação de plantas de algodão causados pelo herbicida metsulfuron-methyl.



**Figura 28** - Sintomas de intoxicação do sistema radicular e da parte aérea de plantas de algodão causados pelo herbicida metsulfuron-methyl.



**Figura 29** - Sintomas de intoxicação em plantas de milho causados pelo herbicida metsulfuron-methyl.



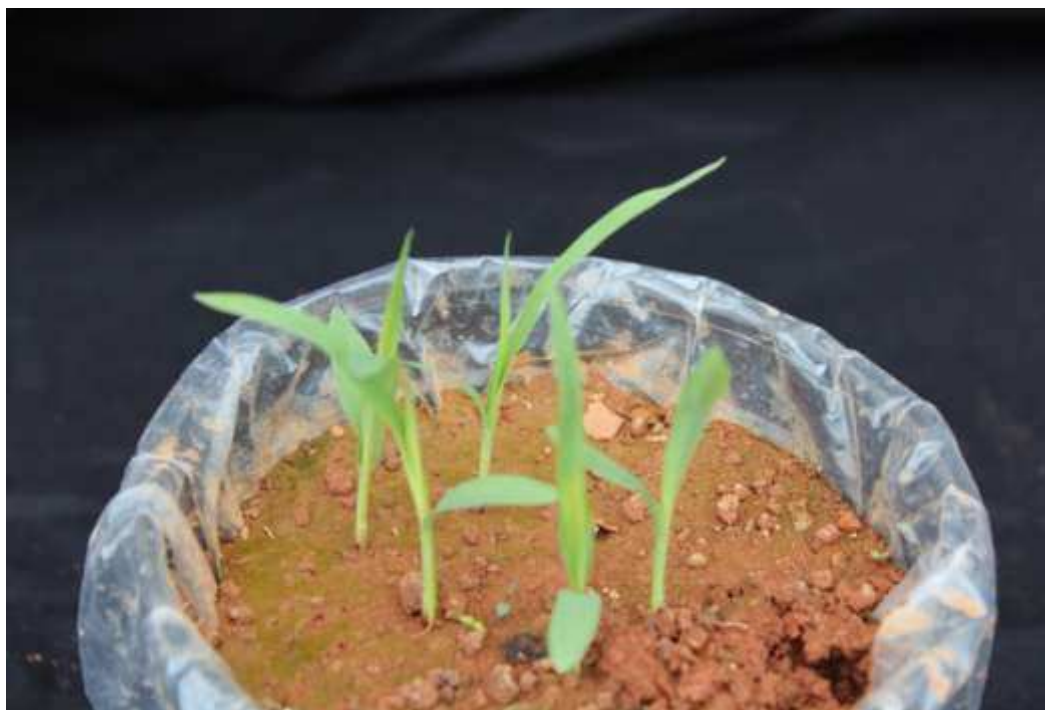
**Figura 30** - Sintomas de intoxicação no sistema radicular de plantas de milho causados pelo herbicida metsulfuron-methyl.



**Figura 31** - Sintomas de intoxicação em plantas de soja causados pelo herbicida metsulfuron-methyl.



**Figura 32** - Sintomas típicos de intoxicação no sistema radicular e na parte aérea de plantas de soja causados pelo herbicida metsulfuron-methyl.



**Figura 33** - Sintomas típicos de intoxicação em plantas de sorgo causados pelo herbicida metsulfuron-methyl.



**Figura 34** - Sintomas de intoxicação no sistema radicular e na parte aérea de plantas de sorgo causados pelo herbicida metsulfuron-methyl.

Entre os herbicidas inibidores da ALS, destaca-se também o nicosulfuron, que é seletivo ao milho e, por isso, uma das principais opções para o controle de plantas daninhas gramíneas em pós-emergência nessa cultura. Esse herbicida controla com alta eficiência diversas espécies de plantas daninhas gramíneas. No entanto, para controlar espécies do gênero *Digitaria*, necessita-se aplicar a dose máxima recomendada pelo fabricante. No momento da aplicação, as plantas de milho devem estar com duas a seis folhas, e as plantas daninhas gramíneas, com até dois perfilhos. A aplicação deve ser feita em solo úmido e com as plantas daninhas em pleno vigor vegetativo. A ocorrência de chuvas uma hora após a aplicação não altera a eficiência desse herbicida. Há diferentes níveis de tolerância ao nicosulfuron entre os híbridos de milho disponíveis no mercado brasileiro. Por isso, antes de aplicar esse herbicida na cultura do milho, deve-se consultar a lista de híbridos e variedades tolerantes a ele. A mistura desse herbicida com inseticidas carbamatos e fosforados reduz sua seletividade ao milho (SILVA et al., 2007). Plantas sensíveis, quando tratadas com esse herbicida, apresentam morte da gema terminal e paralisação do crescimento; as folhas podem tomar coloração amarela ou arroxeadada, além de se apresentarem deformadas (Figuras 35 e 36).



**Figura 35** - Sintomas de intoxicação em plantas de milho causados pelo herbicida nicosulfuron.



**Figura 36** - Detalhes de sintomas de intoxicação em plantas de milho causados pelo herbicida nicosulfuron.

Outro herbicida inibidor da ALS de grande uso no Brasil é o diclosulan, o qual é recomendado para uso em pré-emergência ou pré-plantio e incorporado ao solo (PPI) no controle de plantas daninhas de folhas largas, na cultura da soja. A dose a ser aplicada varia com os atributos do solo e com o sistema de plantio adotado. É recomendado também para uso na cultura da cana-de-açúcar (AGROFIT, 2015). Plantas sensíveis, quando tratadas com esse herbicida, apresentam paralisação do crescimento das raízes e da parte aérea; as folhas podem tomar a coloração amarela ou arroxeadada (Figuras 37, 38, 39, 40, 41 e 42).



**Figura 37** - Sintomas de intoxicação em plantas de algodão causados pelo herbicida diclosulan.



**Figura 38** - Sintomas de intoxicação no sistema radicular e na parte aérea de plantas de algodão causados pelo herbicida diclosulan.



**Figura 39** - Sintomas de intoxicação em plantas de soja causados pelo herbicida diclosulan.



**Figura 40** - Sintomas de intoxicação no sistema radicular de plantas de soja causados pelo herbicida diclosulan.



**Figura 41** - Sintomas de intoxicação em plantas de sorgo causados pelo herbicida diclosulan.



**Figura 42** - Sintomas de intoxicação no sistema radicular e na parte aérea de plantas de sorgo causados pelo herbicida diclosulan.

### **3.6 Caracterização dos sintomas causados por herbicidas inibidores da enzima ACCase**

Os herbicidas inibidores da enzima ACCase (acetil co-enzima a carboxilase) surgiram no mercado mundial a partir de 1975. Eles são recomendados para uso em pós-emergência nas culturas dicotiledôneas no controle de plantas gramíneas. Esses herbicidas atuam inibindo a enzima ACCase, interrompendo a síntese de lipídios. Isso resulta na impossibilidade de se formarem e manterem as membranas celulares, o que resulta na morte das espécies de plantas sensíveis (VIDAL, R. A.; MEROTTO JR., A. et al, 2014). São herbicidas sistêmicos e concentram-se nos pontos de crescimento das plantas. A morte das plantas sensíveis ocorre rapidamente porque a enzima ACCase é muito ativa, sobretudo nas regiões que se encontram em divisão celular, resultando na morte da gema apical das gramíneas (SILVA, A. A.; D'ANTONINO, L.; FERREIRA, F. A.).

Para a atividade máxima do herbicida ser atingida, é necessária a adição de um adjuvante à calda. Esses herbicidas são muito efetivos quando aplicados sobre plantas em fase de rápido crescimento. A eficiência deles diminui quando as gramíneas estão se desenvolvendo em condições de déficit hídrico. Normalmente, a morte das plantas

sensíveis tratadas com os herbicidas inibidores da ACCase ocorre de 7 a 15 dias após a aplicação. A enzima afetada por esses herbicidas ocorre também nas células animais; por isso, de maneira geral, eles são tóxicos para mamíferos e peixes (SILVA, A. A.; D'ANTONINO, L.; FERREIRA, F. A.).

No Brasil, estão registrados para uso nas culturas dicotiledôneas os seguintes herbicidas inibidores da ACCase: fluazifop-p-butyl, haloxyfop-methyl e fenoxaprop-p-ethyl, os quais são comercializados em diferentes marcas comerciais. Os sintomas de intoxicação por esses herbicidas caracterizam-se por paralisação do crescimento das plantas sensíveis logo após o tratamento, morte da gema terminal, sendo esta facilmente destacável da planta tratada dois a três dias após a aplicação, clorose e morte das plantas (Figuras 43, 44, 45, 46, 47e 48).



**Figura 43** - Sintomas de intoxicação de milho causados pelo herbicida fluazifop-p-butyl.



**Figura 44** - Sintomas de intoxicação em plantas de milho causados pelo herbicida fluazifop-p-butil.



**Figura 45** - Sintomas de intoxicação em plantas de milho causados pelo herbicida haloxyfop-methyl.



**Figura 46** - Sintomas de intoxicação em plantas de milho causados pelo herbicida haloxyfop-methyl.



**Figura 47** - Sintomas de intoxicação em plantas de milho causados pelo herbicida fenoxaprop-p-ethyl.



**Figura 48** - Sintomas de intoxicação em plantas de milho causados pelo herbicida fenoxaprop-p-ethyl.

### **3.7 Caracterização dos sintomas causados por herbicidas inibidores da síntese de carotenoides**

Os carotenoides apresentam ação fotoprotetora importante para a clorofila e diversas proteínas presentes no cloroplasto. Esses pigmentos são essenciais para absorverem o excesso de energia da clorofila, após excitação pela luz. Desta forma, os pigmentos evitam a fotoxidação da molécula da clorofila e a formação de radicais tóxicos em excesso no citoplasma celular, que vão destruir as membranas plasmáticas. A planta daninha morre pelo estresse oxidativo causado por essas formas reativas de oxigênio (singlete) presentes nas membranas do cloroplasto ou da célula (VIDAL, R. A.; MEROTTO JR., A. et al, 2014). As plantas suscetíveis, quando tratadas com esses herbicidas, produzem folhas albinas, ou seja, perdem a cor verde (HESS; JACHETTA, 2003; HRAC, 2005). O crescimento das plantas tratadas com os herbicidas inibidores de pigmentos continua por alguns dias; contudo, devido à falta de clorofila, as plantas não conseguem se manter. Assim, o crescimento cessa e começam a surgir manchas necróticas (SENSEMAN, 2007). Ocorre produção de tecidos novos totalmente brancos (albinos), algumas vezes rosados ou violáceos como observado nas Figuras 49, 50 e 51

(SILVA et al., 2007). Estes tecidos são normais, exceto pela falta de pigmentos verdes (clorofila) e amarelos. A produção dos novos tecidos albinos, pelas plantas tratadas, não significa que esses herbicidas inibam diretamente a síntese de clorofila (SILVA et al., 2007).

O principal herbicida desse grupo registrado no Brasil é o clomazone. Ele transloca-se na planta via xilema; sua atividade de solo pode ser longa, afetando culturas sucessoras (SILVA et al., 2007). Quando aplicado sobre a superfície do solo, pode lixiviar e atingir camadas mais profundas, chegando às raízes das culturas, causando danos naquelas sensíveis. A dose recomendada varia com a cultura e o tipo de solo. É recomendado no controle de plantas daninhas em pré-emergência nas culturas de algodão, arroz de sequeiro e irrigado, cana-de-açúcar, fumo, mandioca, pimentão e soja. Uma única aplicação é suficiente para controlar as plantas infestantes (MAPA, 2015).



**Figura 49** - Sintomas de intoxicação em plantas de algodão causados pelo herbicida clomazone.



**Figura 50** - Sintomas de intoxicação em plantas de cana-de-açúcar causados pelo herbicida clomazone.



**Figura 51** - Sintomas de intoxicação em plantas de sorgo causados pelo herbicida clomazone.

### **3.8 Caracterização dos sintomas causados por herbicidas inibidores da enzima PROTOX (PPO)**

Os herbicidas inibidores da enzima PROTOX têm importância em todo o mundo. Quando aplicados em pré-emergência. O dano ao tecido da planta sensível ocorre pelo contato com o herbicida no momento em que a plântula emerge, sendo a luz necessária para a ação herbicida (SILVA, A. A.; D'ANTONINO, L.; FERREIRA, F. A.).

Esses herbicidas podem penetrar pelas raízes, pelos caules e pelas folhas de plantas jovens. Há pouca ou nenhuma translocação nas plantas tratadas; a atividade acontece na presença de luz. As partes das plantas tratadas e expostas à luz morrem de um a dois dias; como esses herbicidas não se movimentam dentro da planta, as necroses foliares são como as gotículas de pulverização. Como representantes dos inibidores da PROTOX, têm-se aqueles do grupo dos difeniléteres, N-fenilftalimidas, oxadiazonas, triazolinonas e pirimidinadionas. Os difenil éteres são adsorvidos pela matéria orgânica do solo e pouco lixiviados. A ação tóxica desses herbicidas, quando aplicados em pré-emergência, se manifesta nas plantas próximas da superfície do solo, durante a emergência das plântulas. A persistência desses herbicidas no solo varia entre os herbicidas desse grupo, podendo ser de dias a meses. Poucos biótipos de plantas daninhas adquiriram resistência a esses herbicidas, em decorrência do uso repetido desses compostos. A toxicidade a humanos desses herbicidas é baixa, sendo de baixa a moderada para peixes (SILVA, A. A.; D'ANTONINO, L.; FERREIRA, F. A.).

Um dos inibidores da PROTOX é o sulfentrazone, que pertence ao grupo químico das aril-triazolinonas. Esse herbicida tem a absorção pelas plantas por meio do sistema radicular, apresentando movimentação limitada no floema. Por ter a sua sorção pelos colóides do solo muito influenciada pelos atributos deste (PASSOS et al., 2013; FREITAS et al., 2014), as doses aplicadas devem ser diferenciadas para cada tipo de solo. Apresenta longa persistência no solo (POLUBESOVA et al., 2003; VIVIAN et al., 2006), razão pela qual é muito comum, em condições de campo, ocorrer o carryover.

Os sintomas de intoxicação observados em plantas tratadas com esses herbicidas caracterizam-se por necrose de epicótilo, folhas e caules, que resulta na morte das plantas (Figuras 52, 53, 54, 55, 56).



**Figura 52** - Sintomas de intoxicação em plantas de algodão causados pelo herbicida sulfentrazone.



**Figura 53** - Sintomas de intoxicação no sistema radicular e na parte aérea de plantas de algodão causados pelo herbicida sulfentrazone.



**Figura 54** - Sintomas de intoxicação em plantas de milho causados pelo herbicida sulfentrazone.



**Figura 55** - Sintomas de intoxicação em plantas de sorgo causados pelo herbicida sulfentrazone.



**Figura 56** - Sintomas de intoxicação no sistema radicular e na parte aérea em plantas de sorgo causados pelo herbicida sulfentrazone.

Fomesafen – apresenta persistência alta no solo na dose recomendada, variando de dois a seis meses (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). Controla grande número de espécies de folhas largas anuais, além de outras. É recomendado para uso em pós-emergência das plantas daninhas, estando estas no estágio de 2 a 4 folhas. Deve ser aplicado nas plantas daninhas com bom vigor vegetativo, evitando períodos de estiagem, horas de muito calor e umidade relativa do ar inferior a 60%. Deve-se adicionar à calda o adjuvante recomendado pelo fabricante. Requer uma hora sem ocorrência de chuvas após a aplicação, para assegurar a absorção pelas plantas daninhas (SILVA et al., 2007). O fomesafen é registrado no Brasil para as culturas de soja e feijão. Deve ser observado um intervalo mínimo de 150 dias entre a aplicação do fomesafen e a semeadura de milho e, ou, sorgo (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).



**Figura 57** - Sintomas de intoxicação em plantas de milho causados pelo herbicida fomesafen.

## **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Antes de se recomendar um herbicida, é necessário conhecer a tolerância da cultura a esse produto e, também, as suas interações com o ambiente. Esse conhecimento irá permitir ao técnico fazer um diagnóstico de possíveis falhas na aplicação, bem como verificar se o aparecimento de sintomas de intoxicação apresentados pelas culturas foi provocado pelos herbicidas aplicados ou decorrente de outras causas. Este trabalho teve como objetivo caracterizar, por meio de fotografias, os sintomas de intoxicação de culturas causados por herbicidas de grande utilização no Brasil. A caracterização dos sintomas de intoxicação das culturas, das partes aérea e radicular, causados pelos herbicidas foi feita utilizando-se uma câmera fotográfica de alta resolução. Os resultados observados neste trabalho consistiram na elaboração de 57 fotografias para compor a dissertação de mestrado.

Numa segunda etapa, será necessária a elaboração de um manual de consulta desses sinais de intoxicação de herbicidas nas principais culturas de grande interesse econômico do Brasil. Acredita-se que esse material será de grande utilidade aos profissionais da área para uso em campo, razão pela qual se devem envidar esforços para conseguir recursos para elaboração desse manual.

## REFERÊNCIAS

- AGROFIT - **Ingrediente ativo e produto formulado em plantas daninhas**. Disponível em: <[http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>. Acesso em: 26 de janeiro de 2015.
- ALVES, J. N. Caracterização química dos extratos em diclorometano de *Origanum majorana* L. na inibição de *Panicum maximum*. 2009. 94 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, 2009.
- ANDRADE, S. R. B.; SILVA, A. A.; QUEIROZ, M. E. L. R.; LIMA, C. F.; d'ANTONINO, L. Sorção e dessorção do ametryn em Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo com diferentes valores de pH. **Planta Daninha**, v. 28, n. 1, p. 177-184, 2010.
- BRIDGES, D. C. Pigment inhibitors. In: **Herbicide action course**. West Lafayette: Purdue University, p. 373-382. 2003a.
- BRIGANTE, M.; ZANINI, G.; AVENA, M. Effects of montmorillonite on the chemical degradation kinetics of metsulfuron methyl in aqueous media. **Applied Clay Science**, v. 80-81, p. 211-218, 2013.
- d'ANTONINO, L. et al. Efeito de culturas na persistência de herbicidas auxinícos no solo. **Planta Daninha**, v. 27, n. 2, p. 371-378, 2009a.
- d'ANTONINO, L. et al. Lixiviação do picloram em argissolo vermelho-amarelo e latossolo vermelho-amarelo com diferentes valores de pH. **Planta Daninha**, v. 27, n. 3, p. 589-600, 2009b.
- DIOURI, N.; GUESSOUS, A.; EL KACEMI, K.; EL AZZOUZI, M.; EL HOURCH, A. Adsorption of Imazethapyr from Aqueous Solution on Activated Carbon. **Asian Journal of Chemistry**, v. 23, p. 288-292, 2011.

FOLONI, L. L.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; CARVALHO, S. J. P. **Controle químico deve auxiliar o combate a plantas daninhas**. In: Visão agrícola. USP – ESALQ. Piracicaba, v. 3, jul/dez., p. 64-75, 2006.

FREITAS, M. A. M.; PASSOS, A. B. R. J.; TORRES, L. G.; MORAES, H. M. F.; FAUSTINO, L. A.; ROCHA, P. R. R.; SILVA, A. A. Sorção do sulfentrazone em diferentes tipos de solo determinada por bioensaios. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 32, n. 2, p. 385-392, 2014.

HESS, F. D.; BRIDGES, D. Mode of action of carotenoid biosynthesis inhibitors. In: **Herbicide action course**. West Lafayette: Purdue University, p. 383-396, 2003.

KASOZI, G. N.; NKEDI-KIZZA, P.; LI, Y.; ZIMMERMAN, A. R. Sorption of atrazine and ametryn by carbonatic and non-carbonatic soils of varied origin. **Environmental Pollution**, v. 169, p. 12-19, 2012.

MAPA – **Formulação de agrotóxicos para suporte fitossanitário**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/portal/page/portal/Internet-MAPA/pagina-inicial/vegetal/agrotoxicos/publicacoes>>. Acesso em: 26 de janeiro de 2015.

MUDHOO, A.; GARG, V. K. Sorption, transport and transformation of atrazine in soils, minerals and composts: a review. **Pedosphere**, v. 21, n. 1, p. 11-25, 2011.

OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTINE, J. **Plantas daninhas e seu manejo**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária Ltda., 2011, 362 p.

PASSOS, A. B. R. J.; FREITAS, M. A. M.; TORRES, L. G.; SILVA, A. A.; QUEIROZ, M. E. L. R.; LIMA, C. F. Sorption and desorption of sulfentrazone in Brazilian soils. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 48, p. 646-650, 2013.

PRADO, B.; DUWIG, C. ; HIDALGO, C. ; MUELLER, K. ; MORA, L. ; RAYMUNDO, E.; ETCHEVERS, J. D. Transport, sorption and degradation of atrazine in two clay soils from Mexico: Andosol and Vertisol. **GEODERMA**, v. 232, p. 628-639, 2014.

POLUBESOVA , T.; NIR , S.; RABINOVITZ, O.; BORISOVER, M.; RUBIN B. Sulfentrazone Adsorbed on Micelle–Montmorillonite Complexes for Slow Release in Soil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 11, p. 3410-3414, 2003.

RIBAS, A.V.; MEROTTO JR., A.; et al. Mecanismos de ação dos herbicidas. In: MONQUERO, P. A. (Ed). **Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas**. São Carlos, SP: Ed. RiMa, 2014. Cap.10, p. 235-255.

ROCHA, P. R. R.; FARIA, A. T.; BORGES, L. G. F. C.; SILVA, L. O. C.; SILVA, A. A.; FERREIRA, E. A. Sorção e desorção do diuron em quatro latossolos brasileiros. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 31, n. 1, p. 231-238, 2013a.

ROCHA, P. R. R.; FARIA, A. T.; SILVA, G. S.; QUEIROZ, M. E. L. R.; GUIMARÃES, F. C. N.; TIRONI, S. P.; GALON, L.; SILVA, A. A. Meia-vida do diuron em solos com diferentes atributos físicos e químicos. **Ciência Rural**, v. 43, n. 11, p. 1961-1966, 2013b.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. (6.Ed). Londrina, PR: Grafmarke, 2011. 697 p.

SENSEMAN, S. A. **Herbicide handbook**. 9th Edition, Lawrence: Weed Science Society of America. 2007. 485 p.

SHANER, D. L. Resistance to acetolactate synthase (ALS) – inhibiting in the United States: history, occurrence, detection and management. **Journal of Weed Science Technology**, v. 44, p. 405-411, 1999.

SILVA, A. A.; SILVA, J. F.; FERREIRA, F. A; FERREIRA, L. R; SILVA, J. F. **Controle de plantas daninhas**. Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior, Brasília, DF: ABEAS, Viçosa, MG: UFV, 1999. 260 p.

SILVA, A. A. et al. Herbicidas: classificação e mecanismo de ação. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. Ed. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: UFV, Cap. 3, p. 58-117, 2007a.

SILVA, A. A.; d'ANTONINO, L.; FERREIRA, F. A. Classificação e mecanismos de ação de herbicidas. In: ZAMBOLIM, L.; SILVA, A. A.; PICANÇO, M. C. (4.ed). **O que os engenheiros agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários**. Viçosa, MG: UFV, Cap. 6, p. 153-212. 2014a.

SINGH, N.; SINGH, R. S. B. Effect of fly ash on metsulfuron-methyl sorption and leaching in soils. **Journal of Environmental Science and Health Part B**, v. 49, p. 366-373, 2014.

SOUSA, C. P.; BACARIN, M. A.; PINTO, J. J. O. Growth of Residual Herbicide (Imazethapyr plus Imazapic) Bio-indicators Sown in Rotation with Clearfield (R) Rice. **Planta Daninha**, v. 30, n. 1, p. 105-111, 2012.

THILL, D. Growth regulator herbicides. In: **Herbicide action course**. West Lafayette: Purdue University, p. 267-291, 2003a.

THILL, D. Lipid biosynthesis inhibitors – Group one. In: **Herbicide action course**. West Lafayette: Purdue University, p. 293-348, 2003b.

THILL, D. Sulfonylurea, triazolopyrimidine, and sulfonylaminocarbonyl-triazolinone herbicides. In: **Herbicide action course**. West Lafayette: Purdue University, p. 411-463, 2003c.

VIDAL, R. A.; MEROTTO JR., A. **Herbicidologia**. Porto Alegre: Evangraf, 2001. 152 p.

VIDAL, R. A. **Ação dos herbicidas**. Porto Alegre: Evangraf, 2002. 89 p.

VIDAL, R. A.; PORTUGAL, J. **Modo de ação dos herbicidas**. In: Bayer CropScience (Ed.). Manual Bayvitis: a fitossanidade da videira. Lisboa, Portugal: Bayer, p. 217-234, 2012.

WANG, M.; CHEN, W.; MARKERT, B. Effects of soil quality on fates of chlorimuron-ethyl in agricultural soils. **Agrochimica**, v. 54, p. 245-256, 2010.

WELLER, S. Principles of selective weed control with herbicides. In: **Herbicide action course**. West Lafayette: Purdue University, p. 101-130, 2003a.

WELLER, S. Photosystem II inhibitors. In: **Herbicide action course**. West Lafayette: Purdue University, p. 131-184, 2003b.

WELLER, S; SHANER, D. Cell growth disrupter and inhibitors. In: **Herbicide action course**. West Lafayette: Purdue University, p. 225-260, 2003.

XU, J.; GUO, L.; DONG, F.; LIU, X.; WU, X.; SHENG, Y.; ZHANG, Y.; ZHENG, Y. Response of the soil microbial community to imazethapyr application in a soybean field. **Journal of Environmental Science and Health Part B.**, v. 48, p. 505-511, 2013.

XU, J.; ZHANG, Y.; DONG, F.; LIU, X.; WU, X.; ZHENG, Y. Effects of Repeated Applications of Chlorimuron-Ethyl on the Soil Microbial Biomass, Activity and Microbial Community in the Greenhouse. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 92, p. 175-182, 2014.

ZANINI, G. P.; MANEIRO, C.; WAIMAN, C.; GALANTINI, J. A.; ROSELL, R. A. Adsorption of metsulfuron-methyl on soils under no-till system in semiarid Pampean Region, Argentina. **Geoderma**, v. 149, p. 110-115, 2009.