



Universidade Federal de São Carlos
Centro de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Agricultura e
Ambiente



IZABELA ORZARI

**EFEITO DE HERBICIDAS NO DESENVOLVIMENTO
INICIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR E LIXIVIAÇÃO,
ABSORÇÃO E TRANSLOCAÇÃO DE DIUROM**

Araras

2015



Universidade Federal de São Carlos
Centro de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Agricultura e
Ambiente



Izabela Orzari

**EFEITO DE HERBICIDAS NO DESENVOLVIMENTO
INICIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR E LIXIVIAÇÃO,
ABSORÇÃO E TRANSLOCAÇÃO DE DIUROM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Agricultura e Ambiente da UFSCar-CCA
para obtenção do título de Mestre,
sob orientação da Profa. Dra. Patrícia Andrea Monquero.

Araras

2015

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

O79eh

Orzari, Izabela.

Efeitos de herbicidas no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar e lixiviação, absorção e translocação de diurom / Izabela Orzari. -- São Carlos : UFSCar, 2015.
122 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2015.

1. Herbicidas. 2. Fitotoxicidade. 3. Cana-de-açúcar. I. Título.

CDD: 632.954 (20ª)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Izabela Orzari, realizada em 24/02/2015:

Patricia A Monquero

Profa. Dra. Patricia Andrea Monquero
UFSCar

Valdemar Luiz Tornisiolo

Prof. Dr. Valdemar Luiz Tornisiolo
USP

Roberta Cornélio

Profa. Dra. Roberta Cornélio Ferreira Nocelli
UFSCar

Dedico este trabalho aos meus pais, Ana Cristina Pierobon Orzari e Edson Luiz Orzari, e aos meus irmãos, Luiz Otávio Orzari e Pedro Luiz Orzari, por acreditarem em mim, sempre me apoiando e incentivando em minhas decisões.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus pela fortaleza, fé e perseverança em minha vida.

Agradeço à toda minha família, em especial Ana Cristina Pierobon Orzari, Edson Luiz Orzari, Luiz Otávio Orzari, Pedro Luiz Orzari, Gilberto Luiz Meneguim Jr., pela força e incentivo para seguir este caminho.

Agradeço à orientadora Profa. Dra. Patrícia Andrea Monquero pela orientação e conselhos e por tanto contribuir para minha formação profissional.

Agradeço a empresa DuPont do Brasil S.A. e ao PMGCA (Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar) pelo fornecimento do material utilizado nos experimento.

Agradeço ao Prof. Dr. Valdemar Luiz Tornisielo pela disponibilização do laboratório e material utilizado, e pelos conselhos e contribuição para este trabalho.

Agradeço aos meus amigos Renata Coghi, Fabrícia Cristina dos Reis e Paulo Vinicius da Silva, por me ajudarem tanto na realização deste trabalho.

Agradeço aos amigos do grupo de estudos GECA (Grupo de Estudos em Ciências Agrárias) – Alan C. Fankhauser, Ana Ligia Giraldeli, Erika Nascimento Braga, João Paulo San Gregorio, José Miguel, Letícia Maso, Marcelo Rafael Malardo, Nagilla Moraes, Natalia Cunha Bevilaqua, Nicole Di Paula e Paulo Henrique Vieira – , que tanto colaboraram para a realização deste trabalho.

Agradeço a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa concedida para este projeto (Processo 2013/17852-0).

Agradeço a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram no desenvolvimento deste trabalho.

“Todos os nossos sonhos podem se transformar em realidade
se tivermos a coragem de persegui-los.”

WALTER ELIAS DISNEY

RESUMO

Os herbicidas são os defensivos mais utilizados no setor canavieiro, portanto, é interessante observar o nível de tolerância e as diferenças de sensibilidade de novas cultivares de cana-de-açúcar antes do lançamento comercial. Os objetivos deste trabalho foram avaliar os efeitos de herbicidas inibidores da enzima ALS (acetolactato sintase) e do FS II (fotossistema II) aplicado em diferentes doses sobre oito diferentes cultivares de cana-de-açúcar (comerciais e futuros lançamentos), estudar a absorção e translocação de ^{14}C -diurom em três cultivares em pré e pós-emergência de cana-de-açúcar e avaliar a lixiviação deste herbicida em solo de textura argilosa. O primeiro experimento foi realizado no Centro de Ciências Agrárias (CCA/UFSCar) com as cultivares comerciais RB835054, RB855156, RB867515, RB966928, e as novas cultivares RB975157, RB975201, RB975952 e RB985476, com delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 8x4 (8 cultivares x 4 doses) e três repetições, em casa de vegetação. Os vasos foram preenchidos com solo com textura argilosa e foram feitas aplicações em pré-emergência dos herbicidas diclosulam, diurom, imazapique, imazapir, metsulfurom-metílico e a mistura dos produtos diurom, hexazinona e sulfometurom-metílico nas doses de 0; 0,5; 1 e 2 vezes a dose comercial. As avaliações de fitotoxicidade e altura foram realizadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 dias após emergência (DAE), e a área foliar e biomassa seca da parte aérea aos 90 DAE. Os resultados demonstraram que a cultivar mais sensível foi a RB975157, as intermediárias foram a RB867515 e a RB966928 e as mais tolerantes a RB975952 e a RB985476, tendo como produto de menor efeito o metsulfurom-metílico e os de maior efeito o imazapique e o imazapir. Os demais experimentos foram realizados no Laboratório de Ecotoxicologia do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), usando as cultivares RB975157 (sensível), RB985476 (tolerante) e RB867515 (intermediária) e solo argiloso, com delineamento inteiramente casualizado e três repetições. Para o teste em pré-emergência, a camada superficial do solo recebeu ^{14}C -diurom, e avaliou-se a absorção e translocação do herbicida pelas plantas através de autorradiografia e da quantidade de herbicida na água de lavagem, solo e planta (parte aérea, raízes e tolete). Os períodos de avaliação foram 5, 10, 15, 20 e 25 DAE. Os resultados demonstraram que a absorção e translocação nas três cultivares foram muito baixas e o produto ficou retido ao solo, entretanto a cultivar mais sensível apresentou, comparativamente, maiores quantidades de herbicida translocado nos toletes. Em pós-emergência, o ^{14}C -diurom foi aplicado na terceira folha

totalmente expandida das plantas, e as avaliações foram feitas a 1, 2, 4, 8, 24 e 48 horas após a aplicação (HAA). Verificou-se que a maior parte do diurom não foi absorvido pelas folhas tratadas ao longo de 48h, e a translocação foi mínima para as três cultivares. O terceiro experimento consistiu em se analisar a lixiviação de ^{14}C -diurom em colunas de vidro de 0-30,0 cm, preenchidas com solo de textura argilosa e com simulação de 200 mm de chuva, usando solução de cloreto de cálcio (CaCl_2). As avaliações do material lixiviado foram feitas as 12, 24, 36 e 48 HAA. Concluídas as 48h, dividiu-se a coluna em sessões de 5,0 cm em que foi quantificada a presença do herbicida em cada sessão. Os resultados mostraram que o diurom apresentou baixa lixiviação em solo argiloso, ficando este retido na camada de 0-0,05 m de profundidade. Desta forma, verifica-se que há diferenças quanto a sensibilidade de cultivares de cana-de-açúcar aos herbicidas; a absorção e translocação em pré-emergência pode variar entre as cultivares, porém em pós são semelhantes; e o diurom é um herbicida altamente retido em solo argiloso. Esta informações são muito importantes para a escolha mais adequado do manejo e controle de plantas daninhas em áreas de cultivo de cana-de-açúcar, de modo que proporcionem melhores condições para a cultura e minimize os impactos no ambiente.

Palavras-chave: Sensibilidade, fitotoxicidade, retenção, diurom, lixiviação, *Saccharum officinarum*

ABSTRACT

Herbicides are the most widely used pesticides in the sugarcane sector, so it is interesting to note the level of tolerance and differences in sensitivity of new cultivars of sugarcane before the commercial release. The aims of this study were to evaluate the effects of inhibiting herbicides enzyme ALS (acetolactate synthase) and PSII (photosystem II) in different doses on eight different cultivars of sugarcane (commercial and future releases), study the absorption and translocation of ^{14}C -diuron in three cultivars in pre and post-emergence of cane and to assess the leaching of this molecule in clay soil. The first experiment was conducted at the Center for Agricultural Sciences (CCA/UFSCar) with commercial cultivars RB835054, RB855156, RB867515, RB966928, and future releases RB975157, RB975201, RB975952 and RB985476, with a completely randomized design in a factorial arrangement 8x4 (8 cultivars x 4 doses) and three replications in a greenhouse. The vessels were filled with clay soil and were made pre-emergence applications of herbicides diclosulan, diuron, imazapic, imazapyr, metsulfuro-methyl and the mixture of products diuron, hexazinone and sulfometuron-methyl at doses of 0; 0.5; 1 and 2 times the commercial dose. Evaluations of phytotoxicity and height were performed at 7, 15, 30, 45, 60 and 90 days after emergence (DAE), and leaf area and shoot dry biomass at 90 DAE. The results showed that the cultivar RB975157 was more sensitive, RB867515 and RB966928 were intermediate and the most tolerant were RB975952 and RB985476; and having less effect with the metsulfuron-methyl and the greater effect with the imazapic and imazapyr. The others experiments were conducted in Ecotoxicology Laboratory of the Center for Nuclear Energy in Agriculture (CENA/USP), using the RB975157 (sensitive), RB985476 (tolerant) and RB867515 (intermediate) cultivars, using clay soil and the design was completely randomized and three repetitions. For the pre-emergence test, the surface layer of the soil received ^{14}C -diuron, the absorption and translocation were evaluated by autoradiography, and the amount of herbicide in the wash water, soil and plant (shoots, roots and stalks). The evaluation times were 5, 10, 15, 20 and 25 DAE. The results showed that the absorption and translocation among cultivars was very low and the product was retained on the soil, however the more sensitive cultivar showed, comparatively, higher amounts of herbicide translocates the stalks. In post-emergence, ^{14}C -diuron was applied in the third fully expanded leaves of plants, and the assessments were made at 1, 2, 4, 8, 24 and 48 hours after application (HAA). It was

found that most of diuron was not absorbed by the treated leaves over 48h and translocation was minimal for all three cultivars. The third experiment consisted in examining the leaching of ^{14}C -diuron in 0-30.0 cm column glass filled with soil, and simulation 200 mm of rain, using CaCl_2 solution. Assessments of leachate samples were taken at 12, 24, 36 and 48 HAA. The complete 48h, divided into 5.0 cm column of sessions in which the presence of the herbicide was measured in each session. The results showed that the leaching of diuron had low clay soil being retained in this layer of 0-0.05 m. Thus, it appears that there are differences in the sensitivity of sugarcane cultivars to herbicides; absorption and translocation in pre-emergence may vary between cultivars, but are similar in post; and diuron herbicide is a highly retained in clay soil. These information are very important to choose the most appropriate management and weed control in areas of cane sugar cultivation in order to provide better conditions for culture and minimize environmental impacts.

Keywords: Sensitivity, phytotoxicity, retention, diuron, leaching, *Saccharum officinarum*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO I – Seletividade de Cultivares de Cana-de-açúcar a Herbicidas

- Figura 1.** Curvas dose-resposta do herbicida imazapir aplicado nas cultivares RB835054 (A) e RB855156 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.....32
- Figura 2.** Curvas dose-resposta do herbicida imazapir aplicado nas cultivares RB867515 (A) e RB966928 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.....33
- Figura 3.** Curvas dose-resposta do herbicida imazapir aplicado nas cultivares RB975157 (A) e RB975201 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.....34
- Figura 4.** Curvas dose-resposta do herbicida imazapir aplicado nas cultivares RB975952 (A) e RB985476 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.....35
- Figura 5.** Curvas dose-resposta do herbicida diclosulam aplicado nas cultivares RB835054 (A) e RB855156 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.....41
- Figura 6.** Curvas dose-resposta do herbicida diclosulam aplicado nas cultivares RB867515 (A) e RB966928 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.....42
- Figura 7.** Curvas dose-resposta do herbicida diclosulam aplicado nas cultivares RB975157 (A) e RB975201 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.....44
- Figura 8.** Curvas dose-resposta do herbicida diclosulam aplicado nas cultivares RB975952 (A) e RB985476 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.....44
- Figura 9.** Curvas dose-resposta dos herbicidas diurom+hexazinona+sulfometurometilico aplicados nas cultivares RB835054 (A) e RB855156 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.....51
- Figura 10.** Curvas dose-resposta dos herbicidas diurom+hexazinona+sulfometurometilico aplicados nas cultivares RB867515 (A) e RB966928 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.....52
- Figura 11.** Curvas dose-resposta dos herbicidas diurom+hexazinona+sulfometurometilico aplicados nas cultivares RB975157 (A) e RB975201 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.....53
- Figura 12.** Curvas dose-resposta dos herbicidas diurom+hexazinona+sulfometurometilico aplicados nas cultivares RB975952 (A) e RB985476 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.....54
- Figura 13.** Curvas dose-resposta do herbicida imazapique aplicado nas cultivares RB835054 (A) e RB855156 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.....61
- Figura 14.** Curvas dose-resposta do herbicida imazapique aplicado nas cultivares RB867515 (A) e RB966928 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.....62

Figura 15. Curvas dose-resposta do herbicida imazapique aplicado nas cultivares RB975157 (A) e RB975201 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.....	63
Figura 16. Curvas dose-resposta do herbicida imazapique aplicado nas cultivares RB975952 (A) e RB985476 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.....	64
Figura 17. Curvas dose-resposta do herbicida metsulfurom-metilico aplicado nas cultivares RB835054 (A) e RB855156 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.....	71
Figura 18. Curvas dose-resposta do herbicida metsulfurom-metilico aplicado nas cultivares RB867515 (A) e RB966928 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.....	72
Figura 19. Curvas dose-resposta do herbicida metsulfurom-metilico aplicado nas cultivares RB975157 (A) e RB975201 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.....	73
Figura 20. Curvas dose-resposta do herbicida metsulfurom-metilico aplicado nas cultivares RB975952 (A) e RB985476 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.....	74
Figura 21. Curvas dose-resposta do herbicida diurom aplicado na cultivar RB867515 nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.....	79
Figura 22. Curvas dose-resposta do herbicida diurom aplicado nas cultivares RB975157 (A) e RB985476 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.....	80

CAPÍTULO II – Absorção e Translocação de Herbicidas em Cana-de-Açúcar

Figura 1. Aplicação da solução de trabalho radiomarcada no solo (acima) e preenchimento do vaso com solo contaminado (abaixo).....	90
Figura 2. Crescimento e desenvolvimentos das plantas. Lavagem e preparo das plantas para análises.....	92
Figura 3. Aplicação da solução de trabalho radiomarcada na folha de cana-de-açúcar.....	94
Figura 4. Lavagem da folha tratada com produto radiomarcado.....	94
Figura 5. Autorradiografia da cultivar RB867515 aos 5, 10 e 15 DAE, respectivamente.....	96
Figura 6. Autorradiografia da cultivar RB975157 aos 5, 10 e 15 DAE, respectivamente.....	98

Figura 7. Autorradiografia da cultivar RB985476 aos 5, 10 e 15 DAE, respectivamente.....	100
Figura 8. Autorradiografia da cultivar RB867515 com 4 e 48 HAA, respectivamente.....	102
Figura 9. Autorradiografia da cultivar RB975157 com 1, 8 e 48 HAA, respectivamente.....	104
Figura 10. Autorradiografia da cultivar RB985476 com 8 e 24 HAA, respectivamente.....	106

CAPÍTULO III – Lixiviação dos Herbicidas Diurom em Solo Argiloso

Figura 1. Montagem do experimento.....	116
Figura 2. Saturação das colunas de solo (acima) e posicionamento para simulação de chuva (abaixo).....	116
Figura 3. Simulação de chuva nas colunas e material para avaliação.....	118

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I – Seletividade de Cultivares de Cana-de-açúcar a Herbicidas

- Tabela 1.** Temperatura média, mínima e máxima verificada durante o período de realização do experimento.....25
- Tabela 2.** Características químicas da amostra do solo utilizado no experimento.....25
- Tabela 3.** Descrição dos tratamentos utilizados no ensaio. Araras, julho 2013.....26
- Tabela 4.** Porcentagem de fitotoxicidade pelo herbicida imazapir nas diferentes cultivares de cana-de-açúcar aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.....30
- Tabela 5.** Efeito do herbicida imazapir aplicado em diferentes doses sobre a altura (cm) das plantas de cana-de-açúcar.....37
- Tabela 6.** Análises de área foliar (cm²) e biomassa seca da parte aérea das plantas (g) das diferentes cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao imazapir aos 90 DAE.....38
- Tabela 7.** Porcentagem de fitotoxicidade pelo herbicida diclosulam nas diferentes cultivares de cana-de-açúcar aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.....39
- Tabela 8.** Efeito do herbicida diclosulam aplicado em diferentes doses sobre a altura (cm) das plantas de cana-de-açúcar.....46
- Tabela 9.** Análises de área foliar (cm²) e biomassa seca da parte aérea das plantas (g) das diferentes cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao diclosulam aos 90 DAE.....47
- Tabela 10.** Porcentagem de fitotoxicidade nas cultivares de cana-de-açúcar aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE pelos herbicidas diurom+hexazinona+sulfometurom-metílico..49
- Tabela 11.** Efeito da mistura de herbicidas diurom+hexazinona+sulfometurom-metílico aplicada em diferentes doses sobre a altura (cm) das plantas de cana-de-açúcar.....56
- Tabela 12.** Análises de área foliar (cm²) e biomassa seca da parte aérea das plantas (g) das diferentes cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao diurom+hexazinona+sulfometurom-metílico aos 90 DAE.....57
- Tabela 13.** Porcentagem de fitotoxicidade pelo herbicida imazapique nas diferentes cultivares de cana-de-açúcar aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.....59
- Tabela 14.** Efeito do herbicida imazapique aplicado em diferentes doses sobre a altura (cm) das plantas de cana-de-açúcar.....66
- Tabela 15.** Análises de área foliar (cm²) e biomassa seca da parte aérea das plantas (g) das diferentes cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao imazapique aos 90 DAE.....67

Tabela 16. Porcentagem de fitotoxicidade pelo herbicida metsulfurom-metílico nas diferentes cultivares de cana-de-açúcar aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.....	69
Tabela 17. Efeito do herbicida metsulfurom-metílico aplicado em diferentes doses sobre a altura (cm) das plantas de cana-de-açúcar.....	76
Tabela 18. Análises de área foliar (cm ²) e biomassa seca da parte aérea das plantas (g) das diferentes cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao metsulfurom-metílico aos 90 DAE.....	77
Tabela 19. Porcentagem de fitotoxicidade pelo herbicida diurom nas diferentes cultivares de cana-de-açúcar aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.....	78
Tabela 20. Efeito do herbicida diurom aplicado em diferentes doses sobre a altura (cm) das plantas de cana-de-açúcar.....	81
Tabela 21. Análises de área foliar (cm ²) e biomassa seca da parte aérea das plantas (g) das diferentes cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao diurom aos 90 DAE.....	82

CAPÍTULO II – Absorção e Translocação de Herbicidas em Cana-de-Açúcar

Tabela 1. Características químicas da amostra do solo utilizado no experimento.....	89
Tabela 2. Radiação acumulada e translocação (%) de diurom na cultivar RB867515.....	95
Tabela 3. Radiação acumulada e translocação (%) de diurom na cultivar RB975157.....	97
Tabela 4. Radiação acumulada e translocação (%) de diurom na cultivar RB985476.....	99
Tabela 5. Médias das porcentagens de radiação do balanço de massas do diurom radiomarcado aplicado na cultivar RB867515.....	101
Tabela 6. Média da quantidade de radioatividade absorvida e translocada pelas plantas da cultivar RB867515, expresse em radiação acumulada (dpm) e porcentagem (%)...102	
Tabela 7. Médias das porcentagens de radiação do balanço de massas do diurom radiomarcado aplicado na cultivar RB975157.....	103
Tabela 8. Média da quantidade de radioatividade absorvida e translocada pelas plantas da cultivar RB975157, expresse em radiação acumulada (dpm) e porcentagem (%)...103	
Tabela 9. Médias das porcentagens de radiação do balanço de massas do diurom radiomarcado aplicado na cultivar RB985476.....	105

Tabela 10. Média da quantidade de radioatividade absorvida e translocada pelas plantas da cultivar RB985476, expresse em radiação acumulada (dpm) e porcentagem (%).105

CAPÍTULO III – Lixiviação dos Herbicidas Diurom em Solo Argiloso

Tabela 1. Características químicas e físicas da amostra do solo utilizado no experimento.115

Tabela 2. Médias (%) do total lixiviado em relação ao total radiomarcado aplicado de diurom em solo argiloso, de 0 a 48 horas e nas diferentes camadas de solo.119

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
Referências Bibliográficas.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. A Cultura da Cana-de-Açúcar.....	3
2.2. Efeitos de Herbicidas na Cana-de-Açúcar.....	5
2.3. Herbicidas Utilizados em Cana-de-Açúcar.....	7
2.4. Absorção e Translocação de Herbicidas.....	11
2.5. Lixiviação de Herbicidas no Solo.....	13
Referências Bibliográficas.....	14
3. OBJETIVOS.....	21
4. CAPÍTULO I – Sensibilidade de Cultivares de Cana-de-Açúcar a Herbicidas.....	22
Resumo.....	22
4.1. Introdução.....	23
4.2. Material e Métodos.....	24
4.3. Resultados e Discussão.....	27
4.4. Conclusão.....	82
Referências Bibliográficas.....	83
5. CAPÍTULO II – Absorção e Translocação de Herbicidas em Cana-de-Açúcar.....	86
Resumo.....	86
5.1. Introdução.....	87
5.2. Material e Métodos.....	88
5.2.1. Aplicação de ¹⁴ C-diurom em pré-emergência das plantas.....	89
5.2.2. Aplicação de ¹⁴ C-diurom em pós-emergência das plantas.....	92
5.3. Resultados e Discussão.....	95
5.3.1. Aplicação de ¹⁴ C-diurom em pré-emergência das plantas.....	95
5.3.2. Aplicação de ¹⁴ C-diurom em pós-emergência das plantas.....	101

5.4. Conclusão.....	109
Referências Bibliográficas.....	109
6. CAPÍTULO III – Lixiviação dos Herbicidas Diurom em Solo Argiloso.....	112
Resumo.....	112
6.1. Introdução.....	112
6.2. Material e Métodos.....	114
6.3. Resultados e Discussão.....	118
6.4. Conclusão.....	120
Referências Bibliográficas.....	120
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	122

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas do Brasil, sendo o país seu maior produtor mundial. Seu rendimento econômico é dado pela produção de sacarose, fibra, palha, açúcar e etanol (MESCHÉDE; CARBONARI; VELINI, 2009). Devido a sua importância, os programas de melhoramento genético têm realizado cada vez mais estudos para aumentar a produtividade, qualidade e rendimento econômico das cultivares, e assim frequentemente é feita a liberação de novas cultivares no mercado (HOTTA et al., 2010).

Contudo, dificilmente são realizados estudos sobre os efeitos fitotóxicos de herbicidas nas plantas antes do lançamento comercial, e este conhecimento é de grande importância uma vez que o controle químico é a principal forma de manejo das plantas daninhas nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar no Brasil (MONQUERO et al., 2011). Atualmente, a rápida liberação de novas cultivares de cana-de-açúcar e o contínuo desenvolvimento de novos herbicidas, moléculas ou associações de produtos, aumentam a necessidade de constantes estudos sobre a sensibilidade das cultivares, sejam novos lançamentos ou aquelas já presentes no mercado (VELINI et al., 2000a; TERRA, 2003).

Para a escolha de um herbicida, deve-se levar em consideração não apenas a eficácia do produto às plantas daninhas, mas também ele não deve causar danos à cultura, ou seja, devem ser seletivos à cana-de-açúcar. Seus efeitos também dependem de fatores como as características físico-químicas do produto e a dose aplicada, o estágio de desenvolvimento da planta, a suscetibilidade dos genótipos e as condições da aplicação e ambiente (TORRES et al., 2012). Outros pontos considerados são relacionados à absorção, translocação e metabolismo do herbicida pela planta (ZERA et al., 2010). Os herbicidas aplicados em cana pertencem, principalmente, aos mecanismos de ação dos inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS), inibidores do fotossistema II (FSII) e aos inibidores de carotenóides, e a aplicação destes produtos é feita em pré e pós-emergência (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005).

Estudos indicam que as cultivares de uma cultura podem apresentar diferentes respostas ao mesmo herbicida, devido a suas diferenças varietais (SKORA NETO; COBLE; CORBIN, 2000). Portanto, os objetivos deste trabalho foram avaliar os efeitos de herbicidas inibidores da ALS e do FSII em diferentes doses sobre oito cultivares de cana-de-açúcar (comerciais e futuros lançamentos), estudar a absorção e translocação de

¹⁴C-diurum em três cultivares de cana e avaliar a lixiviação desta molécula radiomarcada em solo argiloso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HOTTA, C. T.; LEMBKE, C. G.; DOMINGUES, D. S.; OCHA, E. A. et al. The Biotechnology Roadmap for Sugarcane Improvement. **Tropical Plant Biology**, New York, v.3, p. 75-87, 2010.

MESCHEDE, D. K.; CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D. Ação de diferentes maturadores na produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.8, n.2, p.62-67, 2009.

MONQUERO, P. A.; BINHA, D. P.; INÁCIO, E. M.; SILVA, P. V. da; AMARAL, L. R. do. Seletividade de herbicidas em variedades de cana-de-açúcar. **Brangantia**, Campinas-SP, v.70, n.2, p.285-293, 2011.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. L. S. **Guia de herbicidas**. 5. ed. Londrina: Grafmarke, 2005.

SKORA NETO, F.; COBLE, H. D.; CORBIN, F. T. Absorption, translocation, and metabolismo of ¹⁴C-glufosinate in *Xanthium strumarium*, *Commelina diffusa*, and *Ipomoea purpurea*. **Weed Science**, v.48, n.2, p.171-175, 2000.

TERRA, M. A. **Seletividade de diclosulam, trifloxysulfuron-sodium e ametryne a variedades de cana-de-açúcar**. 2003. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP, 2003.

TORRES, L. G.; FERREIRA, E. A.; ROCHA, P. R. R.; FARIA, A. T.; GONÇALVES, V. A.; GALON, L.; SILVA, A. F.; SILVA, A. A. Alterações nas características fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar submetida à aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.30, n.3, p.581-587, 2012.

VELINI, E. D.; MARTINS, D.; MANOEL, L. A.; MATSUOKA, S.; TRAVAIN, J. C.; CARVALHO, J. C. Avaliação da seletividade da mistura de oxyfluorfen e ametryne, aplicada em pré ou pós-emergência, a dez variedades de cana-de-açúcar (cana-planta). **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.18, n.1, p.123-134, 2000 (a).

ZERA, F. S.; AZANIA, C. A. M.; SCHIAVETTO, A. R.; LORENZATO, C. M.; AZANIA, A. A. M. Seletividade de Herbicidas em Cultivares de Cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27, 2010, Ribeirão Preto-SP. **Resumos...** Ribeirão Preto: SBCPD, 2010, 348p.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A Cultura da Cana-de-Açúcar

A cana-de-açúcar pertence ao gênero *Saccharum* L., e inicialmente duas espécies foram descritas por Linneu em 1753 como *Saccharum officinarum* e *Saccharum spicatum*. Posteriormente, outras espécies foram descritas, como *S. barberi* Jeswiet, *S. edule* Hask, *S. robustum* Jeswiet, *S. sinensis* (Roxb) Jeswiet e *S. spontaneum* L. (CESNIK, 2007; TOPPA et al., 2010).

Trata-se de uma gramínea perene, alógama, própria de climas tropicais e subtropicais (DANIELS; ROACH, 1987), que perfilha de maneira abundante na fase inicial do desenvolvimento. Seu crescimento em altura continua até a ocorrência de limitações como suprimento de água, baixas temperaturas ou ainda devido ao florescimento.

É uma planta de metabolismo fotossintético C4, altamente eficiente na conversão de radiação solar em energia química. Mas variações entre as cultivares quanto ao número de colmos por planta, a altura e o diâmetro do colmo, o comprimento e a largura das folhas e a arquitetura da parte aérea, influenciam a eficiência fotossintética da cana (RODRIGUES, 1995).

Para manter índices satisfatórios de produção, a cultura necessita de períodos quentes e úmidos, com intensa radiação solar durante o estágio vegetativo, seguido de período seco na fase de maturação e colheita (ALFONSI et al., 1987). A qualidade e a intensidade luminosa exercem influência no crescimento vegetativo e na maturação, pois estabelecem correlação direta com a síntese, translocação e acúmulo de carboidratos das folhas para o colmo (MARQUES; MARQUES; TASSO Jr., 2001).

De acordo com Murillo et al. (2006), do ponto de vista socioeconômico, o cultivo e as atividades relacionadas a comercialização dos produtos derivados de cana-de-açúcar têm importância crescente no desenvolvimento dos países produtores, criando milhões de empregos diretos e indiretos. Além disso, seu cultivo é impulsionado também pela frequente busca por fontes de energia alternativas (GOLDEMBERG, 2008). De acordo com Souza et al. (2005) e Arruda (2011), nos últimos 25 a 30 anos a cultura canieira tem gerado expectativas pelas potenciais possibilidades para a produção de energia sustentável.

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar e o único país no mundo a utilizar o etanol, produzido a partir desta cultura, em larga escala como combustível renovável e alternativo ao petróleo (BALDANI et al., 2002; GOLDEMBERG, 2008; ARRUDA, 2011) do ponto de vista econômico, energético e ambiental (ANDREOLI; DE SOUZA, 2006). Por esta razão, precisa contar com novas estratégias projetadas para o crescimento do setor e conseguir atender a demanda, como melhores condições das áreas plantadas, melhores técnicas de tratamentos culturais e cultivares de maior produtividade.

Para satisfazer essa demanda crescente de novas tecnologias é fundamental a liberação frequente de cultivares melhores, o que até agora tem sido alcançado com relativa eficiência através do melhoramento genético (HOTTA et al., 2010). Os estudos para aumentar ainda mais sua produtividade, como cuidados com os tratamentos culturais e a qualidade genética das plantas utilizadas, já são pesquisados há muitos anos, o que permitiu que nos tempos atuais a cultura já estivesse tão estabelecida.

As cultivares necessitam ser substituídas periodicamente no mundo todo, pois entram em degenerescência depois de anos de cultivo, o que mostra a importância dos programas de melhoramento genético. Contudo, há limitações para a expansão do cultivo a partir de novas cultivares devido à escassez de estudos ecofisiológicos e edafoclimáticos direcionados ao desenvolvimento das cultivares, além também pela limitada variabilidade genética utilizada nos programas de melhoramento (CHEAVEGATTI-GIANOTTO et al., 2011). Os diferentes tipos de estresse presentes no ambiente influenciam o crescimento vegetal, o que resulta num menor desempenho da cultura no campo. Por essa razão, é crescente o interesse da comunidade científica em compreender os mecanismos fisiológicos das plantas, para que se possam selecionar aquelas de maior tolerância a essas condições de estresse (CARLIN, 2009). Assim, devido à importância econômica que a cultura apresenta, a compreensão de seu comportamento e mecanismo quando submetida ao estresse contribuirá significativamente para indicar o melhor manejo e obter maior produtividade agrícola (CARLIN, 2009).

No Brasil, as variações climáticas possibilitam colheitas anuais de Setembro a Abril no Nordeste, e de Maio a Dezembro no Centro-Sul (ALFONSI et al., 1987), e as condições edáficas dos solos arejados, profundos e férteis, com valores de pH entre 5,0 e 6,5, são satisfatórios às exigências da cultura (VAN RAIJ et al., 1997). De acordo com Vieira Jr. et al. (2008), embora seu cultivo se concentre nas regiões Sudeste e Nordeste,

a produção tem se deslocado para a região Centro-Oeste do país, principalmente nos Estados de Goiás e Mato Grosso do Sul.

Estima-se que a área colhida de cana-de-açúcar na safra 2014/2015 no Brasil seja de 9.098,03 mil hectares, distribuídas em todos os Estados produtores no país, sendo que o Estado de São Paulo representa 51,43% (4.678,8 mil hectares), destacando-se como o maior produtor. Neste ano, a área destinada para a produção da cultura apresentou um crescimento de 3,3%, cerca de 286,6 mil hectares, em relação a safra anterior (CONAB, 2014).

Para esta safra 2014/2015, a previsão do total de cana a ser moída é de 659,10 milhões de toneladas, praticamente o mesmo que na safra passada que foi de 658,82 milhões de toneladas. A estimativa de produtividade está em torno de 72.444 kg/ha, o que mostra uma queda de 3,1% em relação à safra 2013/2014, que foi de 74.769 kg/ha (CONAB, 2014). Esta queda pode ser justificada devido às condições climáticas neste período, em que foram verificadas temperaturas acima da média, principalmente as temperaturas mínimas, e precipitação abaixo da média (CONAB, 2014).

2.2. Efeitos de Herbicidas na Cana-de-Açúcar

O processo produtivo da cana-de-açúcar pode sofrer grandes interferências devido à presença de plantas daninhas que competem com a cultura por nutrientes, água, luz, podem dificultar o corte e a colheita e reduzir a longevidade do canavial (KUYA et al., 2003). O controle químico é o método mais utilizado no manejo de plantas daninhas nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar, e os principais períodos de aplicação são em pré-emergência e pós-emergência inicial da cultura (MONQUERO et al., 2011). Mas para que esse controle seja eficiente, os herbicidas não podem causar danos ao cultivo, ou seja, devem ser seletivos à cana-de-açúcar.

Segundo Velini et al. (1992b) e Velini, Paggiaro e Pereira (2000b), seletividade é a capacidade de determinados herbicidas de eliminar plantas daninhas que se encontram presentes na cultura sem reduzir-lhe a produtividade e a qualidade do produto final obtido. Também está relacionada à interação entre o herbicida, a planta daninha, a cultivar e as condições edafoclimáticas (OLIVEIRA JR.; CONSTANTIN, 2001), e depende de fatores como as características físico-químicas da molécula e a dose aplicada, o estágio de desenvolvimento, a suscetibilidade dos genótipos e as condições da aplicação e ambiente no momento (TORRES et al., 2012).

Outros pontos considerados são relacionados à absorção, translocação e metabolismo do herbicida pela planta (ZERA et al., 2010), que também são possíveis mecanismos envolvidos na diferença de sensibilidade entre espécies e cultivares de uma mesma cultura (SKORA NETO; COBLE; CORBIN 2000).

Um produto herbicida só passa a ser recomendado de modo definitivo para uma determinada cultura quando se apresenta seletivo aos seus cultivares mais comuns (VELINI et al., 2000a). É importante detalhar a quantidade absorvida e translocada dos herbicidas pelas plantas cultivadas, além de parâmetros como área foliar, massa seca da parte aérea e diâmetro do colmo. Na literatura, há vários trabalhos sobre o comportamento diferencial de genótipos de diversas culturas a diversos herbicidas (VELINI et al., 2000a), porém não são muitos com a cana-de-açúcar.

De acordo com Souza et al. (2009), para verificar os prejuízos causados pela aplicação de herbicidas em áreas de cultivo de cana-de-açúcar é comum a avaliação visual de sintomas nas plantas, como cloroses, necroses e amarelecimento das folhas. Assim, a cultura pode ter, aproximadamente, até 27% de comprometimento de sua área foliar sem que altere sua produtividade, uma vez que essas injúrias podem ser devido a pouca tolerância do cultivar ou em consequência do uso inadequado do herbicida (VELINI et al., 1993). O efeito dos herbicidas sobre as plantas cultivadas é um importante aspecto, uma vez que pode influenciar os processos fisiológicos, inclusive a suscetibilidade a doenças, mas muitas vezes não é levado em consideração (DUKE et al., 2006).

Ferreira et al. (2005b) utilizaram a mistura dos herbicidas trifloxissulfurom-sódio ($18,5 \text{ g.kg}^{-1}$) + ametrina ($731,5 \text{ g.kg}^{-1}$) aplicada em pós-emergência de plantas de cana-de-açúcar nas doses de 1,00; 2,00 e 6,00 kg.ha^{-1} , e verificaram que a cultivar RB867515 foi tolerante às menores doses, mas se mostrou sensível na maior dose, enquanto a RB855113 apresentou alta sensibilidade à mistura, com maior índice de toxidez observado entre 20 e 27 dias após a aplicação dos tratamentos.

Azania et al. (2006) avaliaram a seletividade de diurom+hexazinona, hexazinona, metribuzin e isoxaflutole para as plantas de cana e verificaram que houve sintomas de intoxicação até os 45 dias após a aplicação e ausência de sintomas aos 60 dias. De acordo com Costa et al. (2012), a recuperação das injúrias iniciais pode ser favorecida pelas condições climáticas, como elevação da temperatura e alto índice pluviométrico, que proporcionam o rápido desenvolvimento da cultura.

Velini et al. (2000a) realizaram um experimento para verificar os efeitos da mistura de oxifluorfem+ametrina em diferentes cultivares de cana-de-açúcar, e observaram que nas parcelas em que foram aplicadas as misturas em pré-emergência, os sintomas de intoxicação na área foliar variaram de 4,72% (RB835089) a 14,58% (RB825336), enquanto que quando a aplicação foi em pós-emergência, os sintomas de fitotoxicidade ficaram entre 20,16% (SP711406) e 45,44% (SP801842).

A rápida liberação de novos cultivares de cana-de-açúcar e o contínuo lançamento e desenvolvimento de novas moléculas herbicidas e formulações aumentam a necessidade de constantes estudos sobre a sensibilidade das plantas aos produtos. Além disso, tanto herbicidas quanto cultivares tradicionalmente utilizados também devem ser avaliados (VELINI et al., 2000a; TERRA et al., 2003).

2.3. Herbicidas Utilizados em Cana-de-Açúcar

Os principais mecanismos de ação de herbicidas empregados na cultura da cana-de-açúcar são os inibidores do fotossistema II (FSII), inibidores da acetolactato sintase (ALS) e inibidores da síntese de carotenóides (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005).

Os inibidores da enzima ALS (acetolactato sintase) ou AHAS (acetohidroxitirato sintase), que são responsáveis pela biossíntese dos aminoácidos valina, leucina e isoleucina (GAZZIERO; BRIGHENTI; VOLL, 2006), caracterizam-se por apresentar alta eficiência em baixas doses, baixa toxicidade para mamíferos, boa seletividade para culturas com importância econômica, e alta eficiência de controle em aplicação de pré e pós-emergência da planta daninha (VIDAL, 1997; OLIVEIRA; BRIGHENTI 2011).

A enzima ALS catalisa a condensação de duas moléculas de piruvato em acetolactato, o qual é convertido em valina e leucina, e outra reação similar produz acetohidroxitirato, que é responsável pela síntese da isoleucina, mas quando é utilizado α -kerobutirato e piruvato como substrato (SINGH; SHANER, 1995). Quando o herbicida inibe a ação da enzima, ocorre a interrupção da síntese de proteína, que, por sua vez, interfere na síntese de DNA e no crescimento celular (SILVA et al., 2007a), causando uma queda imediata no crescimento, uma vez que o herbicida age principalmente nos tecidos meristemáticos da planta, onde há maior divisão celular e, portanto, grande atividade de síntese de aminoácidos.

Alguns sintomas mais comuns causados por estes produtos inicialmente se manifestam no tecido meristemático das plantas, onde o crescimento paralisa rapidamente após a aplicação, porém os sintomas de injúria podem não ser aparentes em até 15 dias (CHRISTOFFOLETI et al., 2008). Podem causar descoloração das folhas mais jovens, com aparecimento de pigmentos vermelhos ou roxos principalmente nas nervuras da região abaxial das folhas seguido de necrose das nervuras e dos pecíolos. Encurtamento dos entrenós, espessamento na base do caule, sistema radicular pouco desenvolvido com tamanho de raízes secundárias uniforme entre si, clorose e necrose dos tecidos, seguido da morte das partes mais velhas da planta cerca de 3 a 4 semanas após a aplicação (DODGE, 1989).

Alguns exemplos de herbicidas com este mecanismo de ação são o imazapir e o imazapique (grupo químico das imidazolinonas), o diclosulam (grupo químico das triazolopirimidinas), o metsulfurom-metílico e o sulfuometurom-metílico (grupo químico das sulfoniluréias). O imazapir pode ser utilizado para controle de diversas plantas daninhas, aplicado tanto em pré quanto em pós-emergência destas plantas, sendo translocado pelo xilema e floema e acumulado nos meristemas de crescimento. Este produto apresenta como características físico-químicas uma solubilidade de 11.272 mg.L⁻¹ (25°C); pressão de vapor menos que 1,3 x 10⁻⁵ Pa (45°C); coeficiente de partição octanol/água (Kow) de 1,3; e é considerado um ácido fraco, com pka variando de 1,9 a 3,6. É um produto pouco adsorvido aos colóides do solo (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).

O imazapique também apresenta ação em pré e pós-emergência das plantas daninhas, com translocação aposimplástica para as regiões meristemáticas onde se acumula, sendo recomendado para o controle de gramíneas, folhas largas e plantas perenes de difícil controle, como *Cynodon rotundus* e *Cynodon dactylon* (MONQUERO et al., 2010). Em relação ao seu comportamento no solo, possui meia-vida (t^{1/2}) maior que 180 dias, variando a partir das condições edafoclimáticas locais, mas de acordo com Grymes (1995) herbicidas deste mesmo grupo químico podem persistir no solo, o que provoca riscos de afetar culturas de sucessão e inviabilizar o solo. É um herbicida de caráter ácido fraco (pKa = 3,9) e com solubilidade em água de 2.200 mg.L⁻¹ a 25°C, Kow variando de 0,16 (pH 5,0) a 0,002 (pH 9,0), e pressão de vapor menor que 1,3 x 10⁻⁵ Pa (60°C) (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).

O diclosulam é um herbicida indicado para controle de dicotiledôneas, mas também pode ser utilizado para o controle de algumas gramíneas, com *Cenchrus*

echinatus, *Brachiaria plantaginea*, *Brachiaria decumbens* e *Digitaria horizontalis* (MARTINS et al., 2005). Este herbicida e seus metabólitos apresentam valores de partição (Kd) bastante baixos, o que demonstra potencial de movimentação vertical, facilitada pela solubilidade em água dependente do pH e varia de $\sim 100 \text{ mg.kg}^{-1}$ em pH entre 5,0 e 7,0 e $> 4.000 \text{ mg.kg}^{-1}$ em pH 9,0, constante de ionização ácido (pKa) de 4,09 e variação no coeficiente octanol/água (Kow) de 1,42 (pH 5,0) a -0,448 (pH 9,0) (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011), o que mostra baixa taxa de sorção, independente do sistema de manejo (LAVORENTI et al., 2003). Sua absorção ocorre principalmente pela radícula e caulículo de plântulas e é translocado para os pontos de crescimento ou meristemas apicais (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). O comportamento desse herbicida é fortemente influenciado pelos teores de umidade e matéria orgânica do solo, apresentando Koc de 90 mg.L^{-1} (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). Possui meia-vida de 60 a 90 dias, dependendo das condições de clima e solo (LAVORENTI et al., 2003).

O metsulfurom-metílico apresenta variação de sua solubilidade em água de acordo com o pH, que pode ser de 548 mg/L em pH 5,0 à 2790 mg.L^{-1} em pH 7,0 (ambos à 25°C) e, assim, seu Kow também varia para estas condições, sendo 1,0 e 0,018, respectivamente (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011); sua pressão de vapor é de $3,3 \times 10^{-10} \text{ Pa}$ (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). Trezzi e Vidal (2001) relatam que os herbicidas desse grupo químico apresentam meia-vida de 30 a 120 dias nos solos. É um herbicida sistêmico, com absorção tanto pelas folhas quanto pelas raízes e transloca-se pelo xilema e floema, com maior acúmulo nas regiões meristemáticas. Segundo Rodrigues e Almeida (2011), apresenta baixa adsorção às argilas e maior adsorção à matéria orgânica, e seu Koc é considerado médio (35 mL.g^{-1} de solo em pH 7,0). A sorção do metsulfurom-metílico em solos de diferentes profundidades foi correlacionada negativamente com o pH do solo e positivamente com o conteúdo de matéria orgânica destes, sendo o pH considerado fator dominante no processo de adsorção, para a maioria dos solos estudados (OLIVEIRA; PRATES; SANS, 2005).

O herbicida sulfurometuro-metílico é um regulador vegetal do grupo químico das sulfoniluréias e é recomendado como maturador para a cultura da cana-de-açúcar, caracterizando-se como um inibidor de crescimento vegetal. Possui solubilidade em água de $6,4 \text{ mg/L}$ (pH 5,0 à 25°C) e 244 mg/L (pH 7,0 à 25°C) (PMEP, 2014). Apresenta ação sistêmica, sendo que após a sua absorção pelas folhas da cultura, atua nas regiões meristemáticas afetando tanto o crescimento como inibindo a divisão

celular. A paralisação do desenvolvimento do meristema apical provoca uma redução no entrenó formado por ocasião da aplicação (ADAPAR, 2014).

Sobre os herbicidas inibidores do fotossistema II, atualmente são um dos grupos mais utilizados mundialmente para o controle de plantas daninhas. Estes herbicidas provocam o impedimento da redução da quinona A, por competir com a quinona B pelo sítio de ligação à proteína D₁, e isto vai bloquear o transporte de elétrons no fotossistema, não permitindo a redução do NADPH, a qual é essencial para a fixação de CO₂ (GIROTTTO et al., 2012), e gera moléculas de clorofila mais carregadas energeticamente, o que provoca uma reação formando radicais livres (oxigênio singlete, superóxido, radical hidroxila e peróxido de hidrogênio), e interrompendo o fluxo de elétrons (GIROTTTO et al., 2012; VIDAL et al., 2014).

O diurom, que pertence ao grupo químico das uréias substituídas, apresenta como mecanismo de ação a inibição do fotossistema II da planta. É um herbicida não-volátil e não-iônico, com amplo espectro de ação, sendo recomendado para aplicações em pré e pós-emergência inicial das plantas daninhas (ARSEGO, 2009). Geralmente é usado em misturas com herbicidas como hexazinona, MSMA e paraquat (ARSEGO, 2009). Em relação ao hexazinona, o diurom tem maior eficiência sobre as latifoliadas, enquanto que o primeiro possui maior controle das gramíneas (QUEIROZ et al., 2007). Suas principais características são baixa solubilidade em água (42 mg.L⁻¹ a 25°C), log Kow de 2,85, meia-vida de dissipação de 90 a 180 dias, pressão de vapor de 9,2 x 10⁻⁶ Pa (25°C), pKa igual a 0 e Kow de 589 e coeficiente de partição (Koc) de 480 mL.g⁻¹ (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).

Segundo Rodrigues e Almeida (2011), a absorção de diurom pela planta ocorre principalmente via radicular, e com menor intensidade via foliar, e a translocação ocorre pelo xilema. Ainda de acordo com o autor, quando este herbicida é aplicado no solo, ele fica adsorvido pelos colóides inorgânicos e/ou matéria orgânica, apresentando baixa lixiviação em solos argilosos, mas é lixiviável nos arenosos. Sua degradação ocorre principalmente pela ação de microorganismos, mas há perdas por fotodecomposição, o que podem ser significativamente importante quando expostos por alguns dias ou semanas à radiação solar.

O herbicida hexazinona pertence ao grupo das triazinonas e também inibe o transporte de elétrons no fotossistema II das plantas. É registrado para o controle de plantas daninhas em pré e pós-emergência inicial na cultura da cana-de-açúcar (LORENZI, 2006), sendo um herbicida residual e de contato, absorvido tanto pelas

folhas quanto pelas raízes, e tem translocação através do xilema. Quando a aplicação é foliar, este produto se transloca pouco para outras partes da planta (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).

Como características físico-químicas, ele apresenta alta solubilidade em água (33.000 mg.L^{-1} a 25°C) e pressão de vapor de $2,7 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ (25°C) (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011); $\log K_{ow}$ de 1,20 (CHRISTOFFOLETI; LOPÉZ-OVEREJO, 2005), persistência relativa com meia-vida de 30 a 180 dias, e baixo a médio valor de K_{oc} de 54 mL.g^{-1} (CHRISTOFFOLETI; LOPÉZ-OVEREJO, 2005), o que mostra uma baixa sorção ao solo e maior tendência de permanecer na solução do solo (ARSEGO, 2009).

2.4. Absorção e Translocação de Herbicidas

Para ser eficiente, um herbicida deve ser absorvido e, a maior parte dos produtos, deve ser translocado pela planta alvo até o local onde se encontra o seu sítio de ação. Porém, para que este processo ocorra, não é apenas a variabilidade de espécies e genótipos e a idade das plantas que influenciam neste processo, mas também as condições ambientais como umidade, luz, temperatura e tipo de solo da área em questão. As características físicas e químicas da molécula do herbicida também influenciam na quantidade e na rota de absorção e translocação (MONQUERO; HIRATA, 2014).

A absorção pode ser através das partes jovens como radícula e caulículo; através das estruturas aéreas como folhas, caule, flores e frutos; pelas estruturas subterrâneas como raízes, rizomas, estolões, tubérculos e pelas sementes (SILVA et al., 2007b). A translocação do herbicida é realizada através dos tecidos vasculares para os sítios-alvo, onde o produto vai exercer sua atividade (SATICHIVI et al., 2000). A absorção, a translocação e o metabolismo do produto podem afetar a sensibilidade de uma planta, pois este precisa atingir o sítio de ação numa concentração adequada (FERREIRA et al., 2006).

Quando são absorvidos pelas raízes, as estruturas jovens das plântulas (radícula e caulículo) e as sementes são as vias de penetração mais importantes para os herbicidas aplicados em pré-emergência ou incorporados ao solo (ASHTON; CRAFTS, 1981). A rota mais importante de entrada de um herbicida aplicado no solo é a passagem deste junto com a água através dos pêlos radiculares nas extremidades das raízes. Os pêlos

radiculares são responsáveis por um aumento significativo da área disponível para a absorção de água e de herbicidas (SILVA et al., 2007b).

Os herbicidas sistêmicos, quando absorvidos via radicular, em uma primeira fase se difundem nos espaços livres das células da epiderme do córtex da zona de absorção em um processo passivo, ou seja, sem gasto de energia por parte da planta. Já na segunda fase da absorção, quando o produto atravessa a membrana plasmática (plasmalema), há um processo ativo de absorção, portanto, demanda energia (SILVA et al., 2007b).

Segundo SILVA et al. (2007b), após estar dentro do citoplasma, o herbicida penetra no floema e no xilema, de onde se transloca até seu sítio de ação (nas regiões meristemáticas). Esses herbicidas também podem ser absorvidos do solo e possuem perfil quase perfeito para translocação devido a sua lipofilicidade intermediária e ao comportamento de ácido fraco, movimentando-se com facilidade na planta. Esses fatores, juntamente com a sua baixa adsorção aos colóides, resultam na atividade da molécula no solo, pois as moléculas ficam disponíveis na solução do solo.

De acordo com Durigan (1985), vários fatores podem influenciar o processo de absorção pelas plantas, seja de forma benéfica ou prejudicial. Destaca-se a espécie, idade, estrutura e posição das folhas, estado nutricional; relacionados ao herbicida, como a solubilidade, metabolização, dissociação, interação com outros íons ou moléculas, etc; relacionados à calda, como a concentração, o pH, volume, qualidade da água, uso de adjuvantes; e relacionados ao clima, como a umidade relativa do ar e do solo, temperatura do ar e do solo, precipitação, velocidade do vento e intensidade de radiação.

Para a cultura da cana-de-açúcar, a maioria dos herbicidas tem recomendação para ser aplicado em pré-emergência e/ou pós-emergência inicial da cultura e até mesmo das plantas daninhas e, sendo assim, o principal destino da maior parte do produto é o solo (FRANCINO et al., 2010). Desta forma, deve-se atentar às condições do solo, para que esteja bem preparado e sem torrões; o tipo de solo e o teor de matéria orgânica presente, uma vez que pela característica química do produto (ácido, básico ou neutro) pode sofrer processos de sorção (absorção e adsorção) aos colóides, influenciado pela umidade do solo, pois quanto mais seco este estiver, maior será a sorção (BLANCO, 2003).

Uma ferramenta utilizada para a avaliação da absorção e da translocação dos herbicidas nas plantas é o sistema de análise com moléculas radiomarcadas, em que é possível observar em que local a molécula está acumulada na planta.

2.5. Lixiviação de Herbicidas no Solo

Quando as moléculas dos herbicidas entram em contato com o solo estão sujeitas aos processos de retenção, transporte e transformação, que influenciarão sua atividade e determinarão sua permanência ou não no local (MOURA; FRANCO; MATALLO, 2008; SILVA et al., 2014) e podem ocorrer de forma simultânea e/ou imediatamente à aplicação do produto (WEBER; WEED, 1974 apud PINTO et al., 2011). Segundo Law (2001), 60 a 70% do total dos pesticidas aplicados nos campos agrícolas não atingem a superfície alvo de interesse e acabam alcançando direta ou indiretamente o solo, o qual atua como o principal receptor e acumulador desses compostos.

Se as moléculas de herbicida não ficarem adsorvidas ao solo e não forem absorvidas pelas plantas, elas podem ser carreadas pela água das chuvas e/ou irrigação ou, ainda, sofrer lixiviação, chegando ao lençol freático (ROMAN et al., 2007). Os processos de adsorção e lixiviação dos herbicidas são particularmente interessantes para o monitoramento e a previsão de impacto destes xenobióticos no ambiente (MOURA; FRANCO; MATALLO, 2008), o que possibilita o uso seguro do produto do ponto de vista ambiental, além de ser fundamental para que se façam recomendações tecnicamente corretas (SILVA et al, 2012).

Para ser lixiviado, o herbicida deve estar na solução do solo, livre ou adsorvido a pequenas partículas, como argilas, ácidos fúlvicos e húmicos de baixa massa molecular, aminoácidos, peptídeos e açúcares, entre outros (OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011). A lixiviação pode ser definida como o movimento ascendente ou descendente do herbicida juntamente com o fluxo de água no perfil do solo (MOURA; FRANCO; MATALLO, 2008) que é governado pela diferença de potencial de água entre dois pontos (PRATA et al., 2003). Este transporte dentro do solo também ocorre através da difusão do ar nos espaços do solo (poros) e difusão na água do solo, além de que o movimento é também influenciado pela quantidade total de água de chuva ou de irrigação recebida e a intensidade e a frequência de toda essa água; das características do solo e clima e das características físico-químicas do produto aplicado (GUIMARÃES, 1987; OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011).

O movimento dos herbicidas no solo tem grande influência no seu comportamento no campo. Segundo Oliveira e Brighenti (2011), uma pequena lixiviação é desejável, pois pode tornar o herbicida mais eficiente, movendo-o da superfície do solo para onde estão concentradas as sementes das plantas daninhas, uma vez que a maioria destas sementes se encontram nos 5,0 cm superficiais do solo. Assim, a lixiviação é fundamental para a incorporação superficial da maioria dos herbicidas, principalmente os pré-emergentes aplicados na superfície do solo e que necessitam de chuva e/ou irrigação para esta incorporação, atingindo sementes ou plantas em germinação (MONQUERO et al, 2010; MOURA; FRANCO; MATALLO, 2008), e a remoção do herbicida do solo também pode ser desejável quando o seu resíduo for propenso a provocar injúria na cultura subsequente (OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011). Contudo, quando a lixiviação é excessiva, pode carrear as moléculas para camadas mais profundas, limitando sua ação e prejudicando a eliminação das plantas daninhas e podendo, inclusive, promover contaminação do lençol freático (VELINI, 1992a; OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011).

A lixiviação também pode explicar a seletividade ou a falta de seletividade de um herbicida a uma planta. Os herbicidas que não são lixiviados para o local onde está localizada a semente da cultura ou partes vegetativas utilizadas na propagação podem ser utilizados para o controle de plantas daninhas, mesmo em casos em que a cultura não é tolerante. Por outro lado, a lixiviação excessiva pode levar o herbicida até próximo às sementes em germinação ou às raízes da cultura, causando injúrias (OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOMPANHAMENTO de safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo levantamento – Safra 2014/2015, agosto/2014 – **Companhia Nacional de Abastecimento**. Brasília: Conab, 2014.

ADAPAR. **Bula Curavial**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <http://www.adapar.pr.gov.br/arquivos/File/defis/DFI/Bulas/Outros/CURAVIAL.pdf>. Acesso em 18 de setembro de 2014.

ALFONSI, R. R.; PEDRO JR., M. J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, V. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In.: PARANHOS, S.B. (coord.). **Cana-de-açúcar**, v.1, p. 42-55, Fundação Cargill, Campinas, 1987.

ANDREOLI, C.; DE SOUZA, S. P. Cana-de-açúcar: a melhor alternativa para conversão da energia solar e fóssil em etanol. *Econ. Energia*, v. 2, n. 59, p. 27-33, 2006.

ARSEGO, I. B. **Sorção dos herbicidas diurom e hexazinona em solos de texturas contrastantes**. Dissertação (mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

ARRUDA, P. Perspective of the sugarcane industry in Brazil. *Tropical Plant Biology*, New York, v.4, p. 3-8, 2011.

ASHTON, F. M.; CRAFTS, A. S. **Mode of Action of Herbicides**. University of California at Davis, USA, 1981.

AZANIA, C. A. M., ROLIM, J. C., CASAGRANDE, A. A., LAVORENTI, N. A.; AZANIA, A. A. P. M. Seletividade de herbicidas. III – aplicação de herbicidas em pós-emergência inicial e tardia da cana-de-açúcar na época da estiagem. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, v. 24, n. 3, p. 489-495, 2006.

BALDANI, J. I.; REIS, V. M.; BALDANI, V. L. D.; DOBEREINER, J. A brief story of nitrogen fixation in sugarcane – reasons for success in Brazil. *Functional Plant Biology*, Collingwood, v.29, p. 417-423, 2002.

BLANCO, F. M. G. Controle das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. In: REUNIÃO ITINERANTE DE FITOSSANIDADE DO INSTITUTO BIOLÓGICO, 9., 2003, Catanduva. *Anais*. [São Paulo]: Instituto Biológico, p. 83-89, 2003.

CARLIN, S. D. **Mecanismos fisiológicos da cana-de-açúcar sob efeito da interação dos estresses hídrico e ácido no solo**. Tese (doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

CESNIK, R. Melhoramento da cana-de-açúcar: marco sucro-alcooleiro no Brasil. **Revista Eletrônica de Jornalismo Científico – COM CIÊNCIA**, 2007. Disponível em: <http://www.comciencia.br/comciencia/?section=8&id=256>. Acesso em 19 de fevereiro de 2014.

CHEAVEGATTI-GIANOTTO, A.; ABREU, H. M. C. de; ARRUDA, P.; BESPALHOK FILHO, J. C.; LEE-BURNQUIST, W. et al. Sugarcane (*Saccharum X officinarum*): a reference study for the regulation of genetically modified cultivars in Brazil. *Tropical Plant Biology*, Brasília, v.4, p. 62-89, 2011.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEREJO, R. F. **Dinâmica dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. São Paulo: Os Autores, 2005. 49 p.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; NICOLAI, M.; VARGAS, L.; CARVALHO, S. J. P.; CATANEO, A. C.; CARVALHO, J. C.; MOREIRA, M. S. **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. Piracicaba: Associação Brasileira de Ação à Resistência de Plantas Daninhas aos Herbicidas (HRAC-BR), 2008.

COSTA, S. I. A.; MARTINS, D.; CARDOSO, L. A.; RODRIGUES, A. C. P.; VITORINO, H. S.; MARQUES, R. P. Seletividade do herbicida saflufenacil aplicado em pós-emergência em dez variedades de cana-de-açúcar na condição de soca. **Arq. Inst. Biol.**, São Paulo-SP, v.79, n.1, p.111-118, 2012.

DANIELS, J.; ROACH, B. T. Taxonomy and evolution. In.: HEINZ, D. J. (Ed.) **Sugarcane improvement through breeding**. Amsterdam: Elsevier, p. 7-84, 1987.

DODGE, A. D. **Herbicides and plant metabolism**. School of Biological Sciences, University of Bath, UK, p.113-133, 1989.

DUKE, S. O. et al. Interactions of synthetic herbicides with plant disease and microbial herbicides. In: GRESSEL M. V. J. (Eds.). **Novel biotechnologies for biocontrol agent enhancement and management**. Boca Raton: 2006. p. 277-296.

DURIGAN, J. C. **Efeito de surfactantes e aditivos na eficácia de herbicidas aplicados em pós-emergência das plantas daninhas**. Ed. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1985. 36p.

FERREIRA, E. A.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A.; OLIVEIRA, J. A.; VARGAS, L. Translocação do glyphosate em biótipos de azevém (*Lolium multiflorum*). **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.24, n.2, p.365-370, 2006.

FERREIRA, E. A.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A.; VENTRELLA, M. C.; BARBOSA, M. H. P.; PROCOPIO, S. O.; REBELLO, V. P. A. Sensibilidade de cultivares de cana-de-açúcar à mistura trifloxysulfuron-sodium+ametryn. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.23, n.1, p.93-99, 2005 (b).

FRANCINO, P.; REZENDE, P.; GIUSTI, C. F.; NICOLAI, M.; BARBALHO, S. G. F.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Seletividade do herbicida amicarbazone para soqueira de cana-de-açúcar aplicado na época chuvosa no Estado de Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27, 2010, Ribeirão Preto-SP. **Resumos...** Ribeirão Preto: SBCPD, p.2327-2330, 2010.

GAZZIERO, D. L. P.; BRIGHENTI, A. M.; VOLL, E. Resistência cruzada da losna-branca (*Parthenium hysterophorus*) aos herbicidas inibidores da enzima acetolactato sintase. **Planta Daninha**, v. 24, p. 157-162, 2006.

GIROTTI, M.; ARALDI, R.; VELINI, E. D.; CARBONARI, C. A.; GOMES, G. L. G. C.; TRINDADE, M. L. B. Eficiência fotossintética de cultivares de cana-de-açúcar e de diferentes espécies de plantas daninhas após a aplicação do diurom. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 30, n. 3, p. 599-606, 2012.

GOLDEMBERG, J. The Brazilian Biofuels Industry. **Biotechnology for Biofuels**, v.1, n.6, 2008. 7p.

GUIMARÃES, L. G. Impactos Ecológicos do Uso de Herbicidas ao Meio Ambiente. **Série Técnica IPEF** – Piracicaba, v.4, n.12, p.159-180, 1987.

GRYMES, C. F. Response of soybean (*Glycine max*) and rice (*Oryza sativa*) in rotation to AC 263222. **Weed Technology**, v.9, p.504-511, 1995.

HOTTA, C. T.; LEMBKE, C. G.; DOMINGUES, D. S.; OCHA, E. A. et al. The Biotechnology Roadmap for Sugarcane Improvement. **Tropical Plant Biology**, New York, v.3, p. 75-87, 2010.

KUVA, M. A.; GRAVENA, R.; PITELLI, R. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; ALVES, P. L. C. A. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. III – capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) e capim-colonião (*Panicum maximum*). **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 21, n. 1, p. 37-44, 2003.

LAW, S. E. Agricultural eletrostatic spray application: a review of significant research and development during the 20th century. **J. Eletrost.**, v.51/52, p.25-42, 2001.

LAVORENTI, A.; ROCHA, A. A.; PRATA, F.; REGITANO, J. B.; TORNISIELO, V. L.; PINTO, O. B. Comportamento do diclosulam em amostras de um latossolo vermelho distroférico sob plantio direto e convencional. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 27, p. 183-190, 2003.

LORENZI, H. **Manual de identificação e de controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 6 ed., 2006.

MARQUES, M. O.; MARQUES, T. A.; TASSO JR., L. C. **Tecnologia do açúcar: produção e industrialização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 2001. 166p.

MARTINS, D.; VELINI, E. D.; NEGRISOLI, E.; MARCHI, S. R.; SILVA, J. R. V. Seletividade do herbicida diclosulam, aplicado em pré e pós-emergência em diversas cultivares de cana-de-açúcar. **Revista de Herbicidas**, v. 4, n. 2, 2005.

MONQUERO, P. A.; BINHA, D. P.; INÁCIO, E. M.; SILVA, P. V. da; AMARAL, L. R. do. Seletividade de herbicidas em variedades de cana-de-açúcar. **Brangantia**, Campinas-SP, v.70, n.2, p.285-293, 2011.

MONQUERO, P. A.; HIRATA, A. C. S. Comportamento de Herbicidas nas Plantas. In: MONQUERO, P. A. **Aspectos da Biologia e Manejo das Plantas Daninhas**. São Carlos: Rima Editora, cap.7, p.145-166, 2014.

MONQUERO, P. A.; SILVA, P. V.; HIRATA, A. C.; TABLAS, D. C.; ORZARI, I. Lixiviação e Persistência dos Herbicidas sulfentrazone e imazapique. **Planta Daninha**, v.28, n.1, p.185-195, 2010.

MOURA, M. A. M.; FRANCO, D. A. S; MATALLO, M. B. Impactos de Herbicidas sobre os Recursos Hídricos. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, junho/2008.

MURILLO, C.; OROZCO, J.; HERNÁNDEZ, G.; SÁNCHEZ, Y. R. **Evaluación ambiental y de La capacidad institucional de Panamá frente al libre comercio**. San José: Universidad Nacional de Costa Rica, Centro Internacional em Política Económica, 2006. 75p.

- OLIVEIRA, M. F.; BRIGHENTI, A. M. Comportamento dos Herbicidas no Ambiente. In: OLIVEIRA JR, R. S. et al., **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**, cap.7, p.263-304, 2011.
- OLIVERIA JR., R. S.; CONSTANTIN, J. **Plantas daninhas e seu manejo**. Guaíba: Agropecuária, p.362, 2001.
- OLIVEIRA, M. F.; PRATES, H. T.; SANS, L. M. A. Sorção e hidrólise do herbicida flazasulfuron. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 23, n. 1, p. 101- 113, 2005.
- PINTO, J. J. O. NOLDIN, J. A.; SOUSA, C. P.; AGOSTINETTO, D.; PIVETA, L.; DONIDA, A. Atividade Residual de imazethapyr+imazapique em Arroz Semeado em Rotação com o Arroz Clearfield. **Planta Daninha**, v.29, n.1, p.205-216, 2011.
- PMEP**. EXTTOXNET – extension toxicology network. Sulfurometurom-metílico. Disponível em: <http://pmp.cce.cornell.edu/profiles/exttoxnet/pyrethrins-ziram/sulfurometurom-metílico-methyl-ext.html>. Acesso em 01 de setembro de 2014.
- PRATA, F. et al. Glyphosate sorption and desorption in soils with different phosphorous levels. **Sci. Agric.**, v.60, n.1, p.175-180, 2003.
- QUEIROZ, S. C. N.; FERRACINI, V. L.; ROSA, M. A.; CERDEIRA, A. L. Método para determinação de hexazinona e diurom no solo. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. EMBRAPA Meio Ambiente, Jaguariúna-SP, 2007.
- RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da Cana-de-açúcar**. Instituto de Biociências, Botucatu-SP, p. 01-99, 1995.
- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. L. S. **Guia de herbicidas**. 5. ed. Londrina: Grafmarke, 2005.
- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. L. S. **Guia de herbicidas**. 6. ed. Londrina: Iapar, 2011.
- ROMAN, E. E., BECKIE, H., VARGAS, L., HALL, L., RIZZARDI, M. A.; WOLF, T. M. **Como funcionam os herbicidas da biologia à aplicação**. Passo Fundo: Gráfica Editora Berthier, 160 p., 2007.
- SATICHIVI, N. et al. Absorption and translocation of glyphosate isopropylamine and trimethylsulfonium salts in *Abutilon theophrasti* and *Setaria faberi*. **Weed Sci.**, v. 48, p.675-679, 2000.
- SINGH, G. K.; SHANER, D. L. Biosynthesis of branched chain amino acids: From test tube to field. **Plant Cell.**, 7:935-944, 1995.
- SILVA, A. A.; D'ANTONINO, L.; VIVIAN, R.; OLIVEIRA JR, R. S. Comportamento de Herbicidas no Solo. In: MONQUERO, P. A. (Coord) **Aspectos da Biologia e Manejo das Plantas Daninhas**, p.167-216, 2014.

- SILVA A. A.; SILVA J. F.; FERREIRA L. R.; FERREIRA F. A. Biologia de plantas daninhas. p. 17-28. In: **Tópicos em Manejo de Plantas Daninhas**. P.367, 2007 (a).
- SILVA A. A.; SILVA J. F.; FERREIRA L. R.; FERREIRA, F. A. Herbicidas: Absorção, Translocação, Metabolismo, Formulação e Misturas. In: **Tópicos em Manejo de Plantas Daninhas**, p. 118-154, 2007 (b).
- SILVA, L. O. C.; SILVA, A. A.; QUEIROZ, M. E. L. R.; LIMA, C. F.; SILVA, L. L.; D'ANTONINO, L. Mobilidade do Ametryn em Latossolos Brasileiros. **Planta Daninha**, v.30, n.4, p.883-890, 2012.
- SKORA NETO, F.; COBLE, H. D.; CORBIN, F. T. Absorption, translocation, and metabolismo of ¹⁴C-glufosinate in *Xanthium strumarium*, *Commelina diffusa*, and *Ipomoea purpurea*. **Weed Science**, v.48, n.2, p.171-175, 2000.
- SOUZA, J. R. et al. Tolerância de cultivares de cana-de-açúcar a herbicidas aplicados em pós-emergência. **Bragantia**, v.68, n.4, p.941-951, 2009.
- SOUZA, Z. M.; PAIXÃO, A. C. S.; PRADO, R. M.; CESARIN, L. G.; SOUZA, S. R. Manejo de palhada de cana colhida sem queima, produtividade do canavial e qualidade do caldo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.5, p. 1062-1068, 2005.
- TERRA, M. A. **Seletividade de diclosulam, trifloxysulfuron-sodium e ametryne a variedades de cana-de-açúcar**. 2003. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP, 2003.
- TOPPA, E. V. B.; JADOSKI, C. JR., JULIANETTI, A.; HULSHOF, T.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Aspectos da fisiologia de produção da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.3, n.3, p.215-221, 2010.
- TORRES, L. G.; FERREIRA, E. A.; ROCHA, P. R. R.; FARIA, A. T.; GONÇALVES, V. A.; GALON, L.; SILVA, A. F.; SILVA, A. A. Alterações nas características fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar submetida à aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.30, n.3, p.581-587, 2012.
- TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A. Herbicidas inibidores da ALS In: VIDAL, R. A.; MEROTTO JUNIOR, A. (Ed.). **Herbicidologia**. Porto Alegre: Edição dos Autores, 2001. p. 25-36.
- VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).
- VELINI, E. D., FREDERICO, L. A., MORELLI, J. L., KOJIMA, K. Avaliação dos efeitos do herbicida clomazone, aplicado em pós-emergência, sobre o crescimento e produtividade de soqueiras de nove cultivares de cana-de-açúcar. IN: 5º CONGRESSO NACIONAL DA STAB. Águas de São Pedro – SP, p. 125-128, 1993.

VELINI, E. D. Comportamento de herbicidas no solo. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE MANEJO DE PLANTAS DANINHAS EM HORTALIÇAS, 1992, Botucatu. **Resumos...** Botucatu: p.44-64, 1992 (a).

VELINI, E. D.; FREDERICO, L. A.; MORELLI, J. L.; MARUBAIASHI, O. M. Avaliação dos efeitos de doses de herbicida clomazone, aplicado em pós-emergência inicial, sobre crescimento e produtividade de soqueira de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) cv. SP 71-1406. **STAB**, v.10, p.13-16, 1992 (b).

VELINI, E. D.; MARTINS, D.; MANOEL, L. A.; MATSUOKA, S.; TRAVAIN, J. C.; CARVALHO, J. C. Avaliação da seletividade da mistura de oxyfluorfen e ametryne, aplicada em pré ou pós-emergência, a dez variedades de cana-de-açúcar (cana-planta). **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.18, n.1, p.123-134, 2000 (a).

VELINI, E. D.; PAGGIARO, C. M.; PEREIRA, W. S. P. Seletividade de Goal 240 CE aplicado em pós-emergência, à 10 variedades de cana-de-açúcar (cana-soca). In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22, 2000, Foz do Iguaçu. **Resumos...** Foz do Iguaçu: SBCPD, p.298, 2000 (b).

VIDAL, A. R. **Herbicidas: mecanismos de ação e resistência de plantas**. Faculdade de Agronomia UFRGS, Porto Alegre - RS, p.165, 1997.

VIDAL, R. A. et al. Seletividade de Herbicidas. In: MONQUERO, P. A. et al., **Aspectos da Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**, cap.10, p.236-256, 2014.

VIEIRA JR., P. A.; VIEIRA, A. C. P.; BUAINAIN, A. M.; LIMA, F.; SILVEIRA, J. M. J. Produção brasileira de cana-de-açúcar e deslocamento da fronteira agrícola no Estado do Mato Grosso. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.38, n.4, 2008.

ZERA, F. S.; AZANIA, C. A. M.; SCHIAVETTO, A. R.; LORENZATO, C. M.; AZANIA, A. A. M. Seletividade de Herbicidas em Cultivares de Cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27, 2010, Ribeirão Preto-SP. **Resumos...** Ribeirão Preto: SBCPD, 2010, 348p.

3. OBJETIVOS

O objetivo geral da pesquisa foi avaliar as diferenças quanto à sensibilidade de oito cultivares de cana-de-açúcar a herbicidas, sendo especificamente avaliados:

- 1) O efeito de herbicidas inibidores da ALS e FSII em diferentes doses no desenvolvimento inicial e estabelecimento de cultivares da cultura da cana-de-açúcar (comerciais e futuras liberações);
- 2) A absorção e translocação do herbicida diurom através da aplicação de moléculas radiomarcadas;
- 3) A lixiviação de ^{14}C -diurom aplicado em solo argiloso.

4. CAPÍTULO I

SENSIBILIDADE DE CULTIVARES DE CANA-DE-AÇUCAR A HERBICIDAS

RESUMO

Em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, o controle das plantas daninhas é feito principalmente através do uso de herbicidas, e para que este seja eficiente, ele não pode causar danos à cultura. Com a constante liberação de novas cultivares e novos produtos, são importantes os trabalhos que avaliem a seletividades destes herbicidas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de herbicidas inibidores da ALS e FSII em diferentes doses para cultivares de cana-de-açúcar (comerciais e futuras liberações) aplicados em pré-emergência da cultura. O experimento foi realizado no Centro de Ciências Agrárias (CCA/UFSCar) com as cultivares comerciais RB835054, RB855156, RB867515, RB966928, e as novas cultivares RB975157, RB975201, RB975952 e RB985476, com delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 8x4 (8 cultivares x 4 doses) e três repetições, em casa de vegetação. Os vasos foram preenchidos com solo argiloso e foram feitas aplicações em pré-emergência dos herbicidas diclosulam, diurom, imazapique, imazapir, metsulfurom-metílico e a mistura dos produtos diurom, hexazinona e sulfometurom-metílico nas doses de 0; 0,5; 1 e 2 vezes a dose comercial. As avaliações de fitotoxicidade e altura foram realizadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 dias após emergência (DAE), e a área foliar e biomassa seca da parte aérea aos 90 DAE. Os resultados a cultivar mais sensível foi a RB975157, as intermediárias foram a RB867515 e a RB966928 e as mais tolerantes a RB975952 e a RB985476, tendo como produto de menor efeito o metsulfurom-metílico e os de maior efeito o imazapique e o imazapir. Concluiu-se que as cultivares foram mais sensíveis de 15 a 45 DAE e houve falhas na germinação, além de que as plantas foram mais sensíveis com aplicação do dobro da dose comercial recomendada.

4.1. INTRODUÇÃO

O controle químico é o método mais utilizado no manejo de plantas daninhas nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar e os principais períodos de aplicação são em pré-emergência e pós-emergência inicial da cultura (MONQUERO et al., 2011). As aplicações de herbicidas em pré-emergência têm por finalidade a obtenção da atividade residual no início do ciclo das culturas e a supressão de novos fluxos de plantas daninhas (SANTOS et al., 2012). Para que esse controle seja eficiente, os herbicidas não podem causar danos à cultura, ou seja, devem ser seletivos à cana-de-açúcar.

Entretanto, seus efeitos dependem de fatores como as características físico-químicas e a dose aplicada, o estágio de desenvolvimento, a suscetibilidade dos genótipos e as condições da aplicação e ambiente (TORRES et al., 2012). De acordo com Silva et al. (2005), a atividade biológica de um herbicida é função da absorção, translocação, metabolismo e suscetibilidade da planta a este herbicida.

Segundo Velini et al. (1992b) e Velini et al. (2000b), a seletividade está relacionada à interação entre o herbicida, a planta daninha, a cultivar e as condições edafoclimáticas (OLIVEIRA JR.; CONSTANTIN, 2001). Ela também depende de fatores como as características físico-químicas da molécula e a dose aplicada, o estágio de desenvolvimento, a suscetibilidade dos genótipos e as condições da aplicação e ambiente no momento (TORRES et al., 2012). Um produto herbicida só passa a ser recomendado de modo definitivo para uma determinada cultura quando se apresenta seletivo aos seus cultivares mais comuns (VELINI et al., 2000a).

É importante detalhar a quantidade absorvida e translocada dos herbicidas pelas plantas cultivadas, além de parâmetros como área foliar, massa seca da parte aérea e diâmetro do colmo. Há herbicidas que causam inibição da síntese dos aminoácidos ramificados (leucina, isoleucina e valina), através da inibição da enzima Acetolactato Sintase (ALS), interrompendo a síntese de proteína, que, por sua vez, interfere na síntese de DNA e no crescimento celular (SILVA et al., 2007b), causando paralisação do crescimento da planta, descoloração das folhas mais jovens, com aparecimento de pigmentos vermelhos ou roxos principalmente nas nervuras da região abaxial das folhas, seguido de necrose das nervuras e dos pecíolos.

No Brasil, assim como em outros países produtores de cana-de-açúcar, cultivares têm sido continuamente desenvolvidas e testadas com os objetivos de aumentar a produtividade, obter uma maior resistência a pragas e doenças e uma melhor adaptação

a variações de clima, solos, técnicas de corte ou manejo (GALVÃO; FORMAGGIO; TISOT, 2005).

Quando comercializada, o produtor da nova cultivar de cana recebe orientação sobre ambientes de produção, adubação, tolerância a pragas e doenças, mas, dificilmente recebe orientação quanto à tolerância da cultivar aos herbicidas (ZERA et al., 2010), uma vez que este ponto também não é analisado durante o desenvolvimento da cultivar. Por esta razão, a liberação de novas cultivares de cana-de-açúcar e o contínuo desenvolvimento de novos herbicidas aumentam a necessidade de constantes estudos sobre a sensibilidade destas plantas aos produtos e, além disso, tanto herbicidas quanto cultivares tradicionalmente utilizados também devem ser avaliados (VELINI et al., 2000a; TERRA et al., 2003).

De acordo com Azania e Azania (2005) e Azania et al. (2008), os produtos registrados são seletivos para uma determinada cultura, mas a tolerância às moléculas dos herbicidas registrados vai ser específica para cada cultivar, e por isso é importante observar o nível de tolerância de novas cultivares de cana-de-açúcar antes do lançamento comercial.

Portanto, o objetivo do trabalho apresentado neste capítulo foi avaliar o efeito de herbicidas inibidores da ALS e FSII em diferentes doses para cultivares de cana-de-açúcar (comerciais e futuras liberações) aplicados em pré-emergência da cultura.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação no período de julho a novembro de 2013, no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos (CCA/UFSCar), localizado no município de Araras-SP, nas coordenadas de 22°18'21" de latitude Sul e 47°23'03" de longitude Oeste. O clima pela classificação de Koppen é do tipo Cwa, mesotérmico com verões quentes e úmidos e invernos secos. Foram monitoradas as temperaturas durante o período de avaliação da pesquisa (Tabela 1).

Tabela 1. Temperatura média, mínima e máxima verificada durante o período de realização do experimento.

Meses	Temperatura °C		
	Máxima	Mínima	Média
Julho	24,9	10,5	17,7
Agosto	27,8	10,2	19,0
Setembro	28,6	12,9	20,8
Outubro	29,3	15,3	22,3
Novembro	29,7	17,1	23,4

Fonte: CCA/UFSCar

O solo utilizado foi coletado em área experimental da universidade, classificado como Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico. A análise química do solo pode ser observada na tabela 2.

Tabela 2. Características químicas da amostra do solo utilizado no experimento.

Profundidade	pH _{CaCl2}	MO	P _{Resina}	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V%
		g dm ⁻³	mg dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³					%
0-20	5,7	28	17	1,2	23	10	25	34,9	59,9	58

Fonte: Laboratório de Física do Solo (CCA/UFSCar)

As oito cultivares testadas no experimento foram RB835054, RB855156, RB867515, e RB966928 (já presentes no mercado) e RB975157, RB975201, RB975952 e RB985476, que são futuras liberações. Os minitoletes foram fornecidas pelo Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-Açúcar (RIDESA/PMGCA), localizado na mesma universidade.

Os minitoletes eram de aproximadamente 6,0 cm e com uma gema. Foram plantados em vasos de 5,0 L, preenchidos com o solo, a uma profundidade de 2,5 cm, colocando-se dois minitoletes em cada vaso. As adubações de semeadura e de cobertura foram feitas conforme recomendação consultada no Boletim 100 (VAN RAIJ et al., 1997) do IAC (Instituto Agrônomo de Campinas), sendo então aplicada a proporção de 30 kg/ha de N, 80 kg/ha de P e 120 kg/ha de K, visando uma produtividade esperada de 100-150 t/ha.

Foram utilizados sulfato de amônio (N: 20%), super simples (N: 3%, P: 17%, K: 0%) e cloreto de potássio (K₂O: 58%). Desta forma, para os vasos de 5,0 L, com

capacidade de volume de solo de 4,5 dm³, a quantidade de adubo aplicada por vaso foi: 0,34 g de sulfato de amônio, 1,06 g de super simples e 0,47 g de cloreto de potássio. Ainda segundo o Boletim 100, foi realizada a adubação de cobertura aos 60 DAE da cultura de 30-60 kg/ha de nitrogênio, utilizando sulfato de amônio (20% N), numa aplicação de 0,34 g/vaso.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 8x4 (8 cultivares x 4 doses dos herbicidas), com 3 repetições. As moléculas e doses comerciais utilizadas estão apresentadas na tabela 3. A aplicação dos herbicidas foi feita em pré-emergência da cultura, um dia após o plantio. Os tratamentos foram compostos pela aplicação da dose comercial recomendada pelo fabricante, metade e o dobro desta dose.

Tabela 3. Descrição dos tratamentos utilizados no ensaio. Araras, julho 2013.

Tratamentos	Ingrediente ativo	Dose	
		produto comercial (L ou kg ha ⁻¹)	ingrediente ativo (g ha ⁻¹)
		D	
Contain	Imazapir	2,0 L	532,6
Coact	Diclosulam	0,231 kg	194,0
Front	Diurom+Hexazinona+ Sulfuometurom- metílico	1,9 kg	-
		diurom-1,15 g ha ⁻¹	
		hexazinona-0,323 g ha ⁻¹	
		sulfuometurom-metílico-0,03 g ha ⁻¹	
Plateau	Imazapique	180,0 g	8-54,0
Ally	Metsulfurom-metílico	30,0 g	18
Karmex	Diurom	4,0 kg	3.200

* dose convencional

Foi utilizado pulverizador costal pressurizado por CO₂, a pressão constante de 2,5 kgf cm², barra de aplicação provida de bicos com pontas de pulverização do tipo leque 110.03, o que proporcionou uma vazão de 182,0 L/ha de calda. No momento da aplicação foram feitas as medições de umidade relativa do ar (UR= 72%), temperatura (T= 23,3°C) e velocidade do vento (v= 8,6 km/h).

As avaliações visuais de fitotoxicidade e altura das plantas ocorreram aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 dias após a emergência (DAE), enquanto que as avaliações de área foliar e biomassa seca da parte aérea foram feitos somente aos 90 DAE. Estes parâmetros

foram usados para a seleção de um cultivar mais sensível, um mais tolerante e um intermediário, utilizando a escala de 0-100% de dano da ALAM (Asociación Latina Americana de Malezas) (1974) para avaliar a fitotoxicidade, na qual a nota 0 representa ausência de sintomas e 100% a morte da planta; para a medição de altura foi utilizada uma régua graduada, medindo a planta da base até a última folha solta na bainha (folha +1); para a área foliar utilizou-se o aparelho LICOR 3000. A biomassa seca foi analisada cortando toda a parte aérea a partir da base, e as plantas foram secas em estufa a 60°C por 72h e depois se fez a pesagem.

Os dados de cada cultivar foram submetidos à análise de variância pelo teste F e, quando significativos, as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sintomas mais evidentes nas plantas foram manchas arroxeadas nas folhas até se tornarem cloróticas e secarem e redução e/ou paralisação do crescimento. Outro ponto observado foi falha na germinação de alguns tratamentos, principalmente com a dose mais elevada dos herbicidas, mostrando a sensibilidade das plantas. Houve evolução de fitointoxicação à medida que se aumentou a dose aplicada, e também se observou que as plantas apresentaram mais sintomas dos produtos, principalmente, entre 15 e 45 dias após a emergência, com posterior recuperação. Segundo Azania e Azania (2014), espécies de plantas com raízes mais superficiais sofrem maiores injúrias de herbicidas aplicados no solo, podendo chegar à morte, enquanto que as plantas de raízes mais profundas, como as culturas de cana-de-açúcar, café, citros e frutíferas, apresentam injúrias no início do desenvolvimento, como cloroses nas folhas, mas se recuperam entre 30 e 60 dias após a aplicação, pois as raízes destas plantas estão mais profundas e protegidas pelo solo.

Aplicação do herbicida imazapir nas cultivares de cana-de-açúcar

Os resultados das avaliações de fitotoxicidade com o herbicida imazapir estão apresentados na tabela 4. Ao se comparar as cultivares, observa-se que aos 7 DAE não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos, porém é possível observar diferenças numéricas na porcentagem de fitotoxicidade, em que a cultivar com

maior fitotoxicidade na dose 0,5D foi a RB975201 e com a dose 1D foi a RB835054, ambas com valor de 56,7% de fitotoxicidade. Já com 2D a cultivar RB867515 apresentou 100,0% de fitotoxicidade, ou seja, ocorreu a morte das plantas; esta foi seguida por RB985476 (70,0%), RB855156 e RB975157 (66,7%) (Tabela 4). É importante lembrar que a fitotoxicidade das plantas afetadas pelos herbicidas inibidores da ALS decorre de maneira lenta, e poucas horas após o tratamento o crescimento é estagnado, com inibição da divisão celular (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005).

A partir de 15 dias até os 90 DAE, os resultados mostraram diferenças significativas entre os tratamentos nas diferentes épocas de avaliação. Comparando-se as cultivares, observa-se que quando aplicado 0,5D de imazapir, as plantas de cana-de-açúcar RB867515 e RB975201 tiveram maior fitotoxicidade, seguidas por RB975157. Na dose 1D, embora não tenham sido detectadas diferenças estatísticas, todas mostraram valores de fitotoxicidade maiores que 50,0%, sendo que na RB975157 foi de 90%. O mesmo foi observado quando aplicada a dose 2D, com valores acima de 68,0% de fitotoxicidade (RB966928), mostrando a alta sensibilidade das cultivares analisadas, resultando em 100,0% de fitotoxicidade para RB867515 e 98,0% para RB975157 (Tabela 4).

Aos 30 DAE, com a dose de 0,5D as plantas apresentaram diferenças significativas com maiores valores de fitotoxicidade para a RB867515 (86,7%), RB975157 (71,7%) e RB975201 (65,0%), enquanto que RB975952 não apresentou nenhum sintoma (0%). Nas doses 1D e 2D não foram detectadas diferenças estatísticas entre as cultivares. Com 45 DAE, na dose 0,5D o mesmo comportamento das cultivares persistiu, com altos valores de fitotoxicidade para RB867515 (88,3%) e RB975157 (71,7%), e os mais baixos para RB975952 e RB985476, com 1,7% e 5,0%, respectivamente. Já para 1D e 2D, não houve diferenças significativas, e os resultados foram superiores a 63,0% (1D) e 68,0% (2D), tendo RB867515 atingido 90,0% e a RB855156 apresentou 96,0% de fitotoxicidade, respectivamente.

Aos 60 DAE, utilizando-se a metade da dose comercial, as cultivares RB975952 e RB985476 não apresentaram sintomas aparentes, enquanto que RB867515 continuou sendo a mais sensível (90,0%). Para as doses 1D e 2D não houve diferenças estatísticas significativas, porém as cultivares mostraram alta fitotoxicidade novamente, com aumento para 95,0% para RB985476 no tratamento com 2D.

Aos 90 DAE, as plantas de RB975952, RB985476 e RB966928 apresentaram 0% de fitotoxicidade no tratamento 0,5D, mostrando a recuperação destas plantas após a

aplicação da menor dose. Entretanto, a partir da dose recomendada manteve-se um aumento gradual dos sintomas, chegando a 66,0% de fitotoxicidade para RB985476 e 88,3% para RB835054 na dose comercial. Na maior dose, todas as cultivares apresentaram fitotoxicidade acima de 90% (Tabela 4).

Os dados obtidos neste experimento foram contrastantes com trabalho realizado com as variedades RB925345, RB925211, RB935744 e RB855036 nas quais os herbicidas inibidores da ALS (imazapir e imazapique) provocaram sintomas acentuados de fitotoxicidade aos 30 DAA, com paralisação do crescimento das plantas, presença de folhas retorcidas e coloração arroxeadas, mas se recuperaram aos 90 DAA (MONQUERO et al., 2011). Os genótipos de cana-de-açúcar podem se comportar de maneira diferente em relação a cada herbicida aplicado e de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura (PROCÓPIO et al., 2003), e até mesmo a variação no desenvolvimento do estágio vegetativo das plantas em algumas culturas pode ser maior entre seus cultivares do que entre espécies (JADOSKI et al., 2010). Segundo Rolim e Christoffoleti (1982), podem ocorrer diferenças nas características morfológicas e fisiológicas entre as cultivares de cana-de-açúcar e, assim, é provável que ocorram alterações em relação à tolerância a herbicidas.

Tabela 4. Porcentagem de fitotoxicidade pelo herbicida imazapir nas diferentes cultivares de cana-de-açúcar aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.

Cultivares	7 DAE				15 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	0	0	56,7	46,7	0 aB	3,3 bcB	68,3 aA	95,0 aA
RB 855156	0	0	0	66,7	0 aC	33,3 abcBC	60,0 aAB	93,3 aA
RB 867515	0	33,3	33,3	100,0	0 aB	78,3 aA	78,3 aA	100,0 aA
RB 966928	0	0	6,7	0	0 aB	0 cB	56,7 aA	68,3 aA
RB 975157	0	33,3	45,0	66,7	0 aB	55,0 abA	90,0 Aa	98,3 aA
RB 975201	0	56,7	33,3	53,3	0 aB	71,7 aA	50,0 aA	93,3 aA
RB 975952	0	0	11,7	56,7	0 aB	3,3 bcB	71,7 aA	88,3 aA
RB 985476	0	1,7	40,0	70,0	0 aB	18,3 bcB	75,0 aA	91,7 aA
DMS (5%)	42,5 Fator 1	25,3 Fator 2	-	-	26,2 Fator 1	15,6 Fator 2	52,5 Coluna	44,2 Linha
CV (%)	130,9				42,6			
Cultivares	30 DAE				45 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	0 aB	25,0 bcdB	73,3 aA	90,0 aA	0 aB	16,7 cB	88,3 aA	91,7 aA
RB 855156	0 aC	48,3 abcB	70,0 aAB	93,3 aA	0 aC	56,7 abB	76,7 aAB	96,7 aA
RB 867515	0 aB	86,7 aA	86,7 aA	100,0 aA	0 aB	88,3 aA	90,0 aA	100,0 aA
RB 966928	0 aB	11,7 cdB	68,3 aA	80,0 aA	0 aB	3,3 cB	63,3 aA	68,3 aA
RB 975157	0 aB	71,7 aA	86,7 aA	100,0 aA	0 aC	71,7 abB	75,0 aAB	100,0 aA
RB 975201	0 aB	65,0 abA	70,0 aA	90,0 aA	0 aC	55,0 bB	80,0 aAB	90,0 aA
RB 975952	0 aB	0 dB	66,7 aA	83,3 aA	0 aB	1,7 cB	73,3 aA	81,7 aA
RB 985476	0 aB	10,0 cdB	70,0 aA	95,0 aA	0 aB	5,0 cB	73,3 aA	91,7 aA
DMS (5%)	20,3 Fator 1	12,1 Fator 2	40,6 Coluna	34,2 Linha	16,6 Fator1	9,9 Fator 2	33,2 Coluna	28,0 Linha
CV (%)	30,9				25,3			
Cultivares	60 DAE				90 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	0 aB	20,0 cdB	83,3 aA	91,7 aA	0 aB	16,7 bcB	88,3 aA	90,0 aA
RB 855156	0 aB	71,7 abA	80,0 aA	96,7 aA	0 aB	68,3 aA	73,3 aA	96,7 aA
RB 867515	0 aB	90,0 aA	90,0 aA	100,0 aA	0 aB	71,7 aA	86,7 aA	100,0 aA
RB 966928	0 aB	6,7 dB	80,0 aA	85,0 aA	0 aB	0 cB	78,3 aA	80,0 aA
RB 975157	0 aB	81,7 aA	78,3 aA	100,0 aA	0 aB	80,0 aA	80,0 aA	100,0 aA
RB 975201	0 aC	48,3 bcB	78,3 aA	81,7 aA	0 aC	53,3 abB	76,7 aAB	85,0 aA
RB 975952	0 aB	0 dB	61,7 aA	88,3 aA	0 aB	0 cB	76,7 aA	90,0 aA
RB 985476	0 aB	0 dB	80,0 aA	95,0 aA	0 aB	0 cB	66,7 aA	95,0 aA
DMS (5%)	15,9 Fator 1	9,5 Fator 2	31,8 Coluna	26,8 Linha	18,7 Fator 1	11,1 Fator 2	37,4 Coluna	31,5 Linha
CV (%)	23,6				28,3			

Letras iguais minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

DAE: Dias Após a Emergência; DMS: Fator 1 – referente às médias do fator cultivares; Fator 2 – referente às médias do fator doses; Coluna – referente às colunas; Linha – referente às linhas.

Nos gráficos a seguir estão as curvas de dose-resposta de cada cultivar para o imazapir nas diferentes épocas de avaliação do experimento. De acordo com Vidal et al. (2014), quando feita aplicação de herbicidas inibidores da ALS, a paralisação do crescimento ocorre de uma a duas horas após a aplicação em pós-emergência, mas os sintomas visuais aparecem vários dias depois, e em pré-emergência a morte das plantas pode ocorrer logo após a emergência até o estágio de duas folhas. Ainda segundo o autor, quando aplicado em gramíneas ocorre redução do comprimento dos entrenós e espessamento do colmo. Neste experimento, as plantas diferiram da testemunha principalmente pela redução do tamanho nos primeiros dias de avaliação, mas ao final das avaliações elas se recuperaram.

Para as cultivares RB835054 e RB855156, os sintomas de fitotoxicidade foram aumentando ao longo das avaliações e com as doses aplicadas, sendo a maior fitotoxicidade acima de 80% nas doses 1D e 2D aos 90 DAE (Figura 1A e 1B). Este mesmo comportamento foi observado na cultivar RB867515, que apresentou alta fitotoxicidade já com a dose 0,5D (80%) (Figura 2A). A cultivar RB966928 apresentou valores de 80% de fitotoxicidade aos 90 DAE a partir da dose 1D (Figura 2B).

Também foi observada alta fitotoxicidade para as cultivares RB975157 (Figura 3A) e RB975201 (Figura 3B) já aos 7 DAE, e ao final dos 90 dias de avaliação as plantas apresentaram fitotoxicidade de 80% na dose 1D e 100% com a dose 2D. Quanto à cultivar RB975952, o mesmo comportamento foi observado, porém as plantas não chegaram a morrer até quando aplicada a dose 2D, apesar da fitotoxicidade ser bastante elevada (90%) (Figura 4A). A RB985476 apresentou aos 45, 60 e 90 DAE valores superiores a 70% de fitotoxicidade com a dose 1D, e aos 90 DAE as plantas morreram quando aplicada a dose 2D (Figura 4B).

Figura 1. Curvas dose-resposta do herbicida imazapir aplicado nas cultivares RB835054 (A) e RB855156 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE

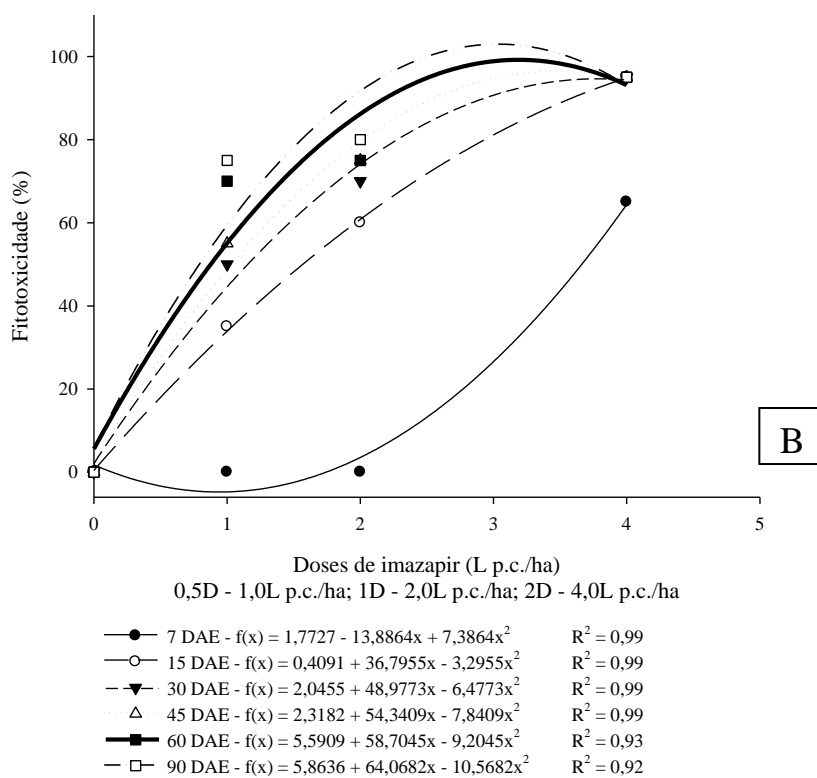
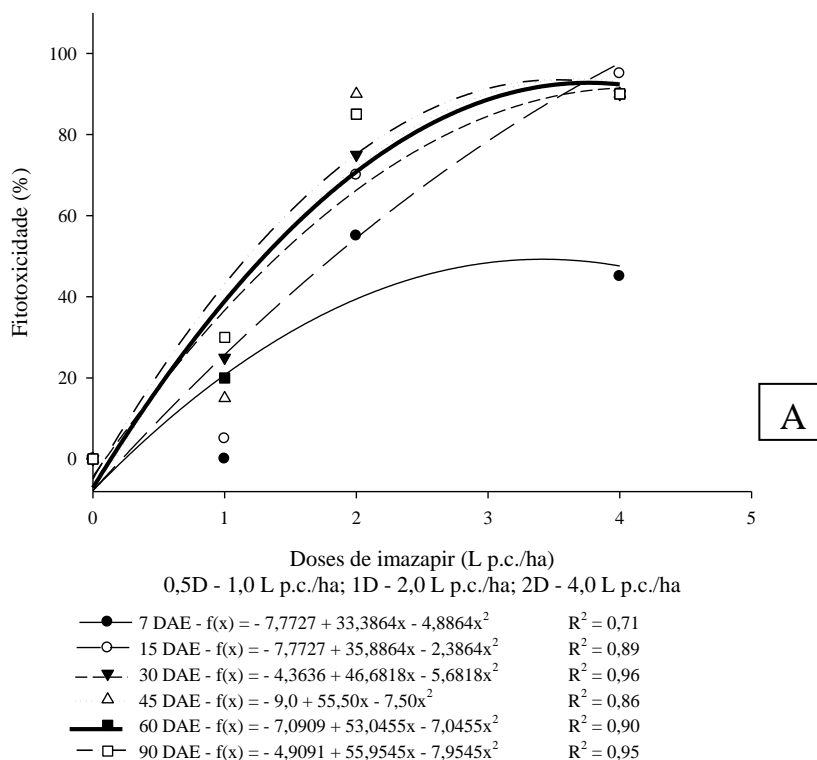
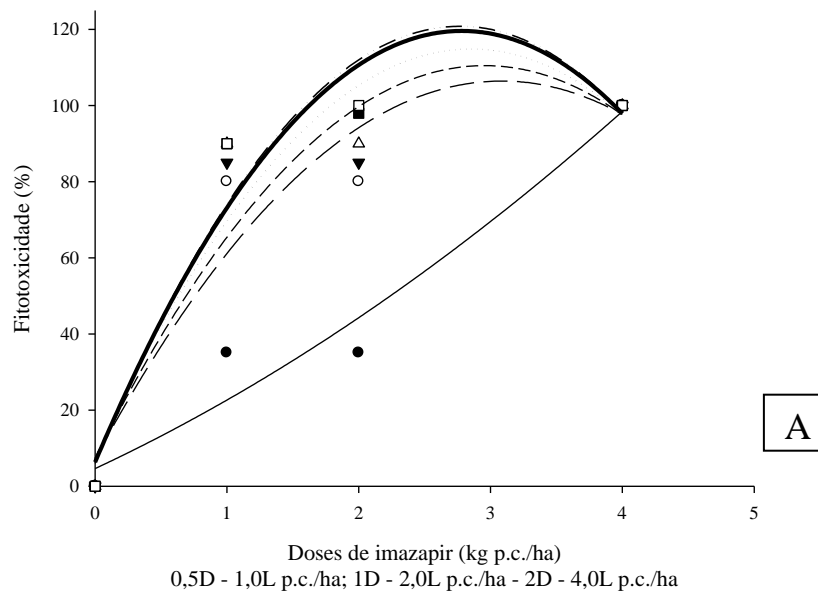
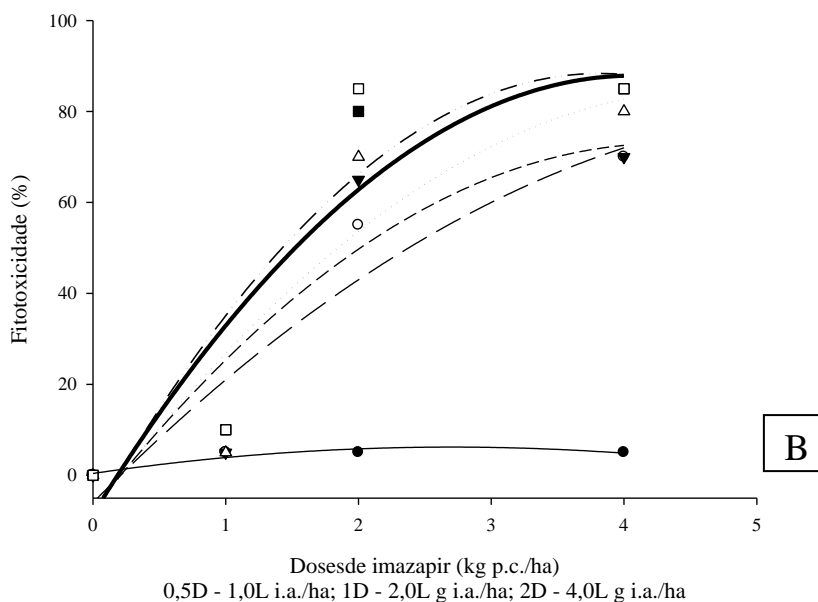


Figura 2. Curvas dose-resposta do herbicida imazapir aplicado nas cultivares RB867515 (A) e RB966928 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE

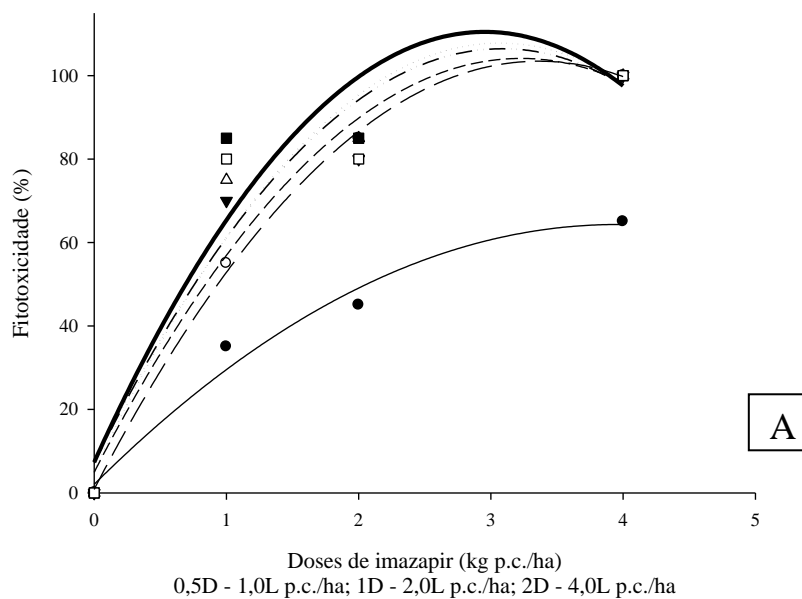


- 7 DAE - $f(x) = 4,6364 + 16,1818x + 1,8182x^2$ $R^2 = 0,95$
- 15 DAE - $f(x) = 7,0909 + 64,4545x - 10,4545x^2$ $R^2 = 0,90$
- ▼ 30 DAE - $f(x) = 7,3626 + 69,8182x - 11,8182x^2$ $R^2 = 0,89$
- △ 45 DAE - $f(x) = 7,6364 + 75,1818x - 13,1818x^2$ $R^2 = 0,89$
- 60 DAE - $f(x) = 6,3273 + 81,4364x - 14,6364x^2$ $R^2 = 0,93$
- 90 DAE - $f(x) = 6,0 + 83,0x - 15,0x^2$ $R^2 = 0,94$

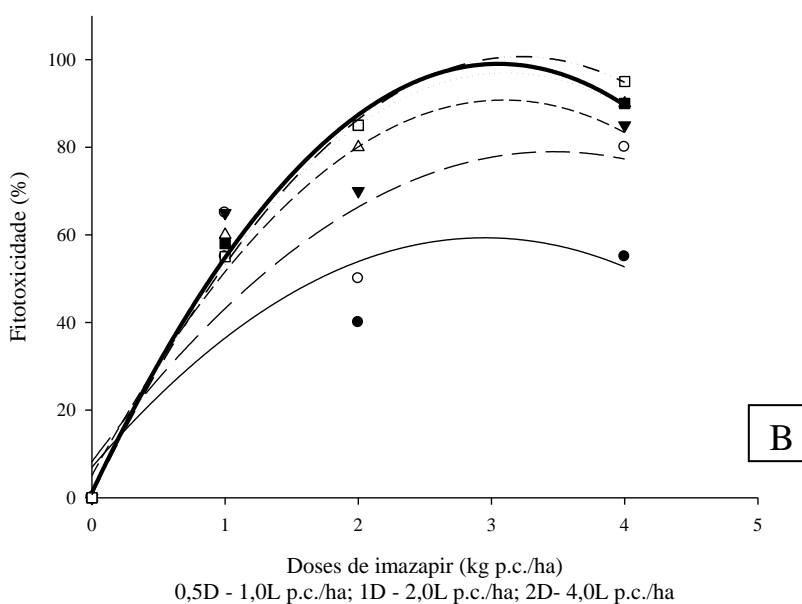


- 7 DAE - $f(x) = 0,4091 + 4,2955x - 0,7955x^2$ $R^2 = 0,89$
- 15 DAE - $f(x) = -6,0 + 29,5x - 2,50x^2$ $R^2 = 0,88$
- ▼ 30 DAE - $f(x) = -7,6364 + 37,3182x - 4,3182x^2$ $R^2 = 0,83$
- △ 45 DAE - $f(x) = -8,1818 + 39,0909x - 4,0909x^2$ $R^2 = 0,85$
- 60 DAE - $f(x) = -8,5909 + 47,2955x - 5,7955x^2$ $R^2 = 0,85$
- 90 DAE - $f(x) = -9,4091 + 51,2045x - 6,7045x^2$ $R^2 = 0,83$

Figura 3. Curvas dose-resposta do herbicida imazapir aplicado nas cultivares RB975157 (A) e RB975201 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE

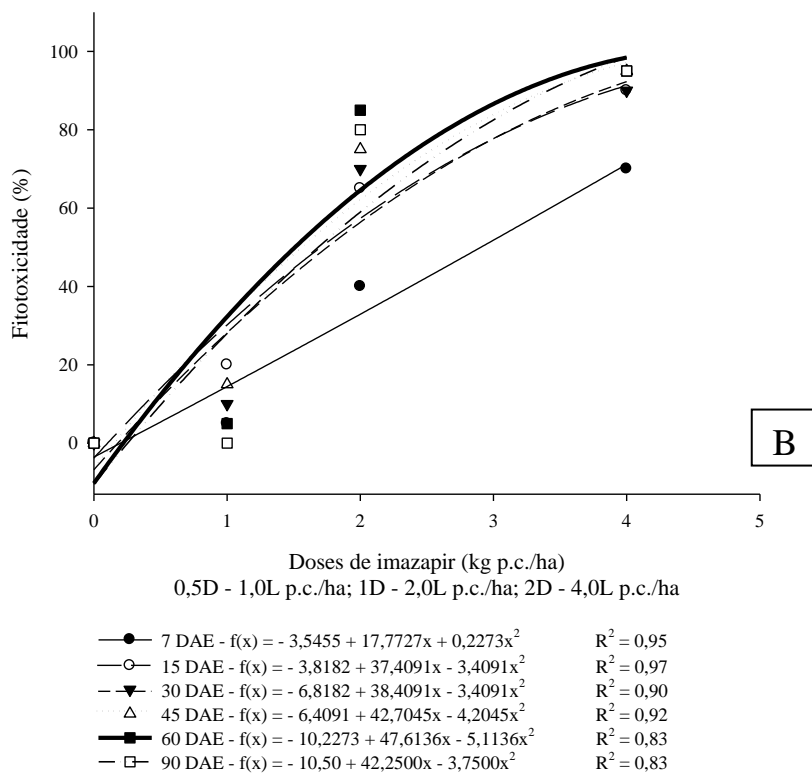
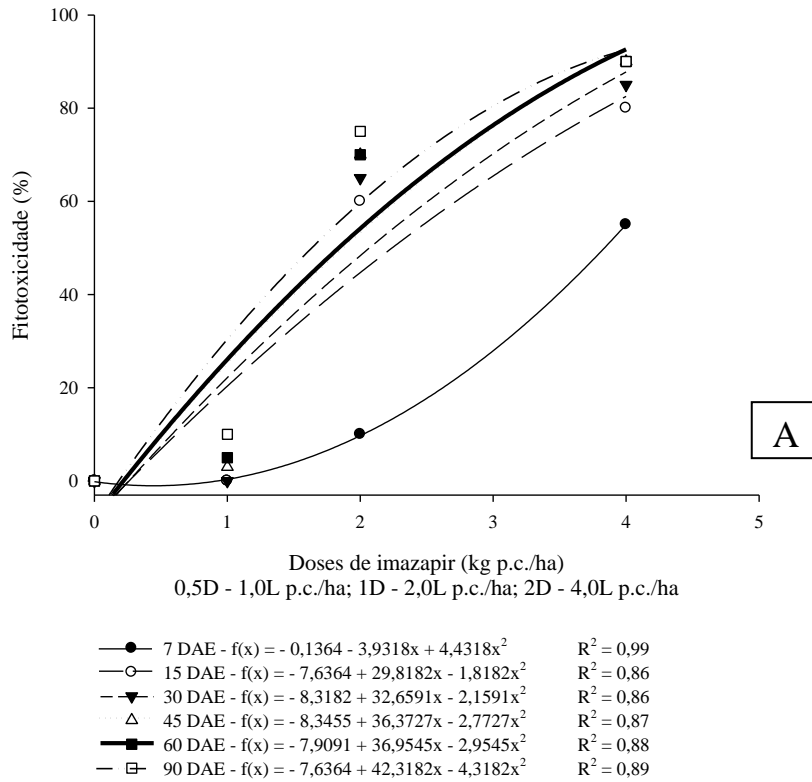


●	7 DAE - $f(x) = 2,0455 + 31,4773x - 3,9773x^2$	$R^2 = 0,98$
○	15 DAE - $f(x) = 0,8182 + 61,0909x - 9,0909x^2$	$R^2 = 0,99$
▼	30 DAE - $f(x) = 4,9091 + 61,5455x - 9,5455x^2$	$R^2 = 0,95$
△	45 DAE - $f(x) = 5,1818 + 66,9091x - 10,9091x^2$	$R^2 = 0,95$
■	60 DAE - $f(x) = 7,3636 + 69,8182x - 11,8182x^2$	$R^2 = 0,89$
□	90 DAE - $f(x) = 7,0909 + 64,4545x - 10,4545x^2$	$R^2 = 0,90$



●	7 DAE - $f(x) = 6,9545 + 35,5227x - 6,0227x^2$	$R^2 = 0,71$
○	15 DAE - $f(x) = 8,1818 + 40,9091x - 5,9091x^2$	$R^2 = 0,77$
▼	30 DAE - $f(x) = 5,0455 + 55,4773x - 8,9773x^2$	$R^2 = 0,93$
△	45 DAE - $f(x) = 2,4545 + 60,7727x - 9,7727x^2$	$R^2 = 0,99$
■	60 DAE - $f(x) = 1,20 + 64,10x - 10,50x^2$	$R^2 = 0,99$
□	90 DAE - $f(x) = 0,6818 + 62,1591x - 9,6591x^2$	$R^2 = 0,99$

Figura 4. Curvas dose-resposta do herbicida imazapir aplicado nas cultivares RB975952 (A) e RB985476 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE



Os resultados do efeito dos tratamentos com imazapir no crescimento das plantas foi observado através da altura (cm), e os dados foram analisados separadamente (Tabela 5).

Com relação à altura das plantas, verifica-se que somente aos 90 DAE houve diferenças estatísticas significativas (Tabela 5). Os menores valores observados com 0,5D foram para as cultivares RB867515 e RB975157 (7,7 cm) e as plantas com maior comprimento foram RB985476 (17,5 cm), RB966928 (19,3 cm) e RB975952 (22,8 cm). Com a dose recomendada não houve diferenças entre as cultivares, cujos valores variaram entre 3,0 cm (RB835054) a 11,3 cm (RB975952), e o mesmo foi observado no tratamento 2D, com variação de até 0 cm (RB867515) (ausência de planta) a 4,8 cm (RB975201). Com isso, observam-se as maiores doses provocaram efeito no crescimento das plantas em comparação com a testemunha, e com a dose 0,5D as plantas tiveram crescimento maior em altura.

Na tabela 6 encontram-se os resultados referentes à área foliar e biomassa seca da parte aérea das plantas de cana-de-açúcar aos 90 DAE, analisadas separadamente para cada herbicida. Os resultados de área foliar mostraram que para o herbicida imazapir ocorreram diferenças estatísticas significativas na dose 0,5D, sendo que a RB975952 atingiu área foliar de 324,9 cm², enquanto RB855156 e RB975157 tiveram os valores de 62,0 cm² e 34,0 cm², respectivamente. Comparando as doses testadas, somente a RB966928 apresentou resultados semelhantes entre as doses e sua testemunha.

Ao analisar-se a massa seca das plantas na dose de 0,5D verificou-se que RB975952 apresentou 5,0 g e RB985476 4,6 g, que só não diferiu de RB835054 (2,5 g) e RB966928 (4,0 g), sendo os valores mais altos entre todas as cultivares. As outras duas doses não mostraram diferenças significativas em seus resultados. Quanto à comparação das doses, novamente a grande maioria dos dados mostraram diferenças entre suas testemunhas e os tratamentos.

Tabela 5. Efeito do herbicida imazapir aplicado em diferentes doses sobre a altura (cm) das plantas de cana-de-açúcar.

Cultivares	7 DAE				15 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	5,3	4,5	2,2	1,5	5,8	5,3	2,3	2,0
RB 855156	5,0	3,2	3,3	0,7	6,0	3,7	4,0	0,7
RB 867515	4,2	2,0	3,2	0	6,0	3,2	3,7	0
RB 966928	4,7	4,0	4,2	3,7	5,0	4,2	3,7	3,7
RB 975157	4,2	3,2	1,2	0,3	8,7	5,3	2,0	0,3
RB 975201	4,3	1,3	3,5	0,3	5,7	3,0	4,3	0,7
RB 975952	4,2	4,5	3,7	1,3	8,3	10,0	6,0	2,0
RB 985476	4,8	4,8	3,0	1,2	6,7	6,0	4,7	1,8
DMS (5%)	2,2 Fator 1	1,3 Fator 2	-	-	2,6 Fator 1	1,5 Fator 2	-	-
CV(%)	55,2				47,5			
Cultivares	30 DAE				45 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	6,5	5,7	2,5	2,5	7,2	5,8	3,0	2,3
RB 855156	6,3	4,5	4,5	0,8	7,3	4,3	4,7	0,8
RB 867515	6,7	3,2	3,7	0	7,5	3,5	4,2	0
RB 966928	5,8	6,2	4,5	4,7	6,0	7,3	4,8	4,7
RB 975157	10,2	6,0	3,7	0,3	11,5	6,5	4,0	0,3
RB 975201	7,3	5,8	4,5	2,2	9,3	6,5	4,8	2,7
RB 975952	9,5	11,3	6,8	2,7	10,2	12,3	7,3	2,7
RB 985476	8,0	8,5	5,2	2,0	9,3	9,3	5,8	2,0
DMS (5%)	3,0 Fator 1	1,8 Fator 2	-	-	3,1 Fator 1	1,9 Fator 2	-	-
CV(%)	45,6				43,7			
Cultivares	60 DAE				90 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	8,5	6,3	3,0	3,0	18,0 aA	11,0 bcAB	3,0 aB	3,0 aB
RB 855156	12,0	5,8	4,7	0,8	20,3 aA	11,3 bcB	10,0 aB	0,8 aC
RB 867515	9,5	4,2	4,2	0	17,3 aA	7,7 cB	5,5 aB	0 aB
RB 966928	8,8	9,0	5,0	4,8	15,8 aAB	19,3 abA	9,3 aB	9,0 aB
RB 975157	13,5	6,3	4,7	0,5	19,8 aA	7,7 cB	7,2 aB	0,5 aB
RB 975201	11,8	9,2	4,8	3,8	13,8 aA	11,2 bcAB	7,0 aAB	4,8 aB
RB 975952	11,5	14,3	9,0	3,7	18,3 aAB	22,8 aA	11,3 aBC	4,5 aC
RB 985476	9,7	10,7	6,0	2,0	16,2 aA	17,5 abcA	9,7 aAB	2,0 aB
DMS (5%)	3,7 Fator 1	2,2 Fator 2	-	-	5,2 Fator 1	3,1 Fator 2	10,4 Coluna	8,7 Linha
CV(%)	43,8				38,6			

Letras iguais minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

DAE: Dias Após a Emergência; DMS: Fator 1 – referente às médias do fator cultivares; Fator 2 – referente às médias do fator doses; Coluna – referente às colunas; Linha – referente às linhas.

Tabela 6. Análises de área foliar (cm²) e biomassa seca da parte aérea das plantas (g) das diferentes cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao imazapir aos 90 DAE

Cultivares	Imazapir							
	Área Foliar (cm ²)				Biomassa seca (g)			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	220,4 aA	184,6 abcAB	16,3 aB	19,2 aB	4,8 abcA	2,5 abAB	0,4 aB	0,3 aB
RB 855156	310,5 aA	62,0 bcB	130,6 aB	17,3 aB	6,8 aA	1,7 bB	2,3 aB	0,1 aB
RB 867515	220,4 aA	65,4 bcAB	30,1 aB	0 aB	4,4 abcA	1,2 bB	0,9 aB	0 aB
RB 966928	127,2 aA	201,4 abcA	122,9 aA	90,8 aA	3,2 cAB	4,0 abA	2,0 aAB	1,4 aB
RB 975157	254,4 aA	34,0 cB	65,9 aB	0 aB	6,4 abA	1,6 bB	1,2 aB	0 aB
RB 975201	217, aA	98,1 bcAB	101,7 aAB	26,2 aB	3,3 cA	1,7 bAB	1,6 aAB	0,4 aB
RB 975952	192,9 aAB	324,9 aA	141,1 aB	31,6 aB	3,7 bcAB	5,0 aA	2,0 aBC	0,5 aC
RB 985476	287,0 aA	257,8 abAB	92,0 aBC	4,1 aC	4,3 abcA	4,6 aA	1,6 aB	0,2 aB
DMS (5%)	104,6	62,4	209,3	176,4	1,5	0,9	2,9	2,5
	Fator 1	Fator 2	Coluna	Linha	Fator 1	Fator 2	Coluna	Linha
CV (%)	66,3				49,2			

Letras iguais minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

DMS: Fator 1 – referente às médias do fator cultivares; Fator 2 – referente às médias do fator doses; Coluna – referente às colunas; Linha – referente às linhas.

Aplicação do herbicida diclosulam nas cultivares de cana-de-açúcar

Em relação aos resultados de fitotoxicidade, quando aplicado o herbicida diclosulam, observa-se que não foram verificadas diferenças significativas em todos os tratamentos para todos os períodos, mas é possível analisar os resultados, observando-se as diferenças numéricas (tabela 7).

Aos 7 DAE, a cultivar RB975201 apresentou maiores valores de fitotoxicidade em todas as doses, sendo 60,0%, 51,7% e 63,3% para 0,5D, 1D e 2D, respectivamente. Aos 15 DAE, com a utilização da dose comercial, os valores de fitotoxicidade oscilaram de 78,3% (RB975201) até 3,3% (RB855156). Na última avaliação, os resultados observados com o uso da dose comercial variaram de 16,7% de fitotoxicidade para a cultivar RB975157 a 53,3% para a RB966928. Na grande maioria das cultivares observou-se uma recuperação da fitotoxicidade ao longo das avaliações, principalmente com as doses 0,5 e 1D.

Tabela 7. Porcentagem de fitotoxicidade pelo herbicida diclosulam nas diferentes cultivares de cana-de-açúcar aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.

Cultivares	7 DAE				15 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	0	0	0	11,7	0	6,7	6,7	28,3
RB 855156	0	11,7	0	0	0	6,7	3,3	1,7
RB 867515	0	11,7	33,3	11,7	0	31,7	45,0	70,0
RB 966928	0	0	0	0	0	65,0	48,3	46,7
RB 975157	0	0	30,0	33,3	0	20,0	50,0	70,0
RB 975201	0	60,0	51,7	63,3	0	68,3	78,3	63,3
RB 975952	0	0	40,0	11,7	0	26,7	53,3	53,3
RB 985476	0	0	0	10,0	0	43,3	55,0	36,7
DMS (5%)	32,4 Fator 1	19,3 Fator 2	-	-	30,7 Fator 1	18,3 Fator 2	-	-
CV (%)	213,4				78,5			
Cultivares	30 DAE				45 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	0	40,0	21,7	50,0	0	40,0	20,0	60,0
RB 855156	0	56,7	56,7	58,3	0	70,0	65,0	63,3
RB 867515	0	25,0	50,0	55,0	0	20,0	41,7	45,0
RB 966928	0	40,0	33,3	43,3	0	31,7	30,0	25,0
RB 975157	0	53,3	50,0	70,0	0	30,0	31,7	53,3
RB 975201	0	46,7	56,7	61,7	0	33,3	38,3	63,3
RB 975952	0	15,0	45,0	48,3	0	0	15,0	20,0
RB 985476	0	5,0	53,3	25,0	0	11,7	13,3	28,3
DMS (5%)	27,5 Fator 1	16,4 Fator 2	-	-	29,4 Fator 1	17,5 Fator 2	-	-
CV (%)	64,9				86,5			
Cultivares	60 DAE				90 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	0	41,7	26,7	58,3	0	35,0	35,0	50,0
RB 855156	0	38,3	60,0	56,7	0	36,7	43,3	48,3
RB 867515	0	5,0	50,0	25,0	0	3,3	48,3	41,7
RB 966928	0	21,7	41,7	20,0	0	36,7	53,3	50,0
RB 975157	0	0	28,3	38,3	0	0	16,7	46,7
RB 975201	0	33,3	33,3	50,0	0	36,7	41,7	58,3
RB 975952	0	0	16,7	16,7	0	0	31,7	33,3
RB 985476	0	0	10,0	28,3	0	3,3	30,0	31,7
DMS (5%)	30,3 Fator 1	18,1 Fator 2	-	-	28,0 Fator 1	16,7 Fator 2	-	-
CV (%)	108,5				86,2			

DAE: Dias Após a Emergência; DMS: Fator 1 – referente às médias do fator cultivares; Fator 2 – referente às médias do fator doses; Coluna – referente às colunas; Linha – referente às linhas.

Ao analisar os gráficos com as curvas da resposta das cultivares ao diclosulam nas doses testadas e nas diferentes épocas de avaliação, nota-se que a cultivar RB835054 manteve sensibilidade mínima ao produto de 30% de fitotoxicidade, aproximadamente, já com a dose 0,5D até os 90 DAE, e com 2D aproxima-se de 50% de fitotoxicidade (Figura 5A). Percebe-se que é a partir de 30 DAE que a fitotoxicidade da planta aumentou para todos os tratamentos, o que também pode ser observado para a RB855156 (Figura 5B). Para esta cultivar verifica-se que aos 90 DAE as plantas sofreram de 55 a 60% de fitotoxicidade entre as doses 0,5D e 1D e com 2D foi de 65%, aproximadamente. Já as cultivares RB867515 e RB966928 se mostraram mais sensíveis ao herbicida a partir dos 15 DAE para as doses testadas, e apresentaram uma leve recuperação aos 90 DAE, sendo na faixa de 40 a 45% de fitotoxicidade para as doses 1D e 2D para RB867515 e de 35 a 45% para RB966928 (Figuras 6A e 6B, respectivamente).

A cultivar RB975157 apresentou alta sensibilidade ao diclosulam principalmente aos 15 e 30 DAE, chegando a 70% de fitotoxicidade com a dose 2D, mas as plantas conseguiram se recuperar até os 90 DAE, em que a fitotoxicidade caiu para menos de 15% para 0,5D e 1D e foi de aproximadamente 45% para 2D (Figura 7A). Para a RB975201 os resultados foram semelhantes, pois a cultivar foi mais sensível aos 15 DAE, chegando a 70% de fitotoxicidade e teve recuperação aos 90 DAE para as doses 0,5D e 1D (Figura 7B). Essa cultivar foi a mais sensível a este produto, uma vez que aos 7 DAE sua sensibilidade foi relativamente alta.

A cultivar RB975952 foi mais sensível aos 15 e 30 DAE para todos os tratamentos, mas aos 90 DAE a fitotoxicidade nas doses testadas foi menor que 20%, o que mostra que esta cultivar foi tolerante ao produto (Figura 8A). As épocas de maior sensibilidade para a RB985476 também foram aos 15 e 30 DAE, sendo que ao final das avaliações as plantas ainda apresentaram comportamento semelhante ao início das avaliações, com fitotoxicidade entre 30 e 40% nas doses 1D e 2D (Figura 8B).

Figura 5. Curvas dose-resposta do herbicida diclosulam aplicado nas cultivares RB835054 (A) e RB855156 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE

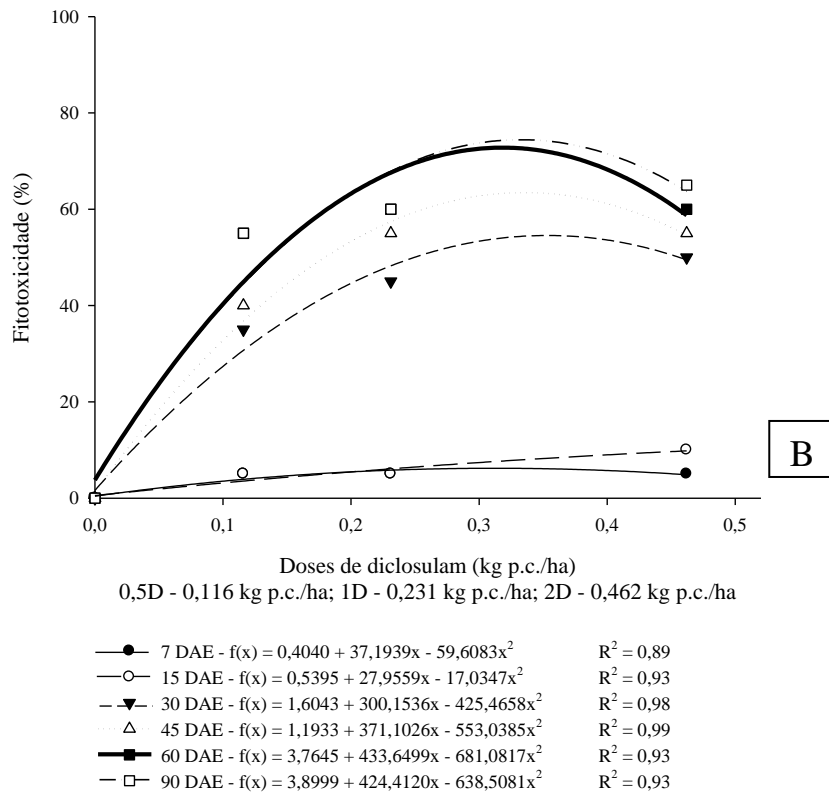
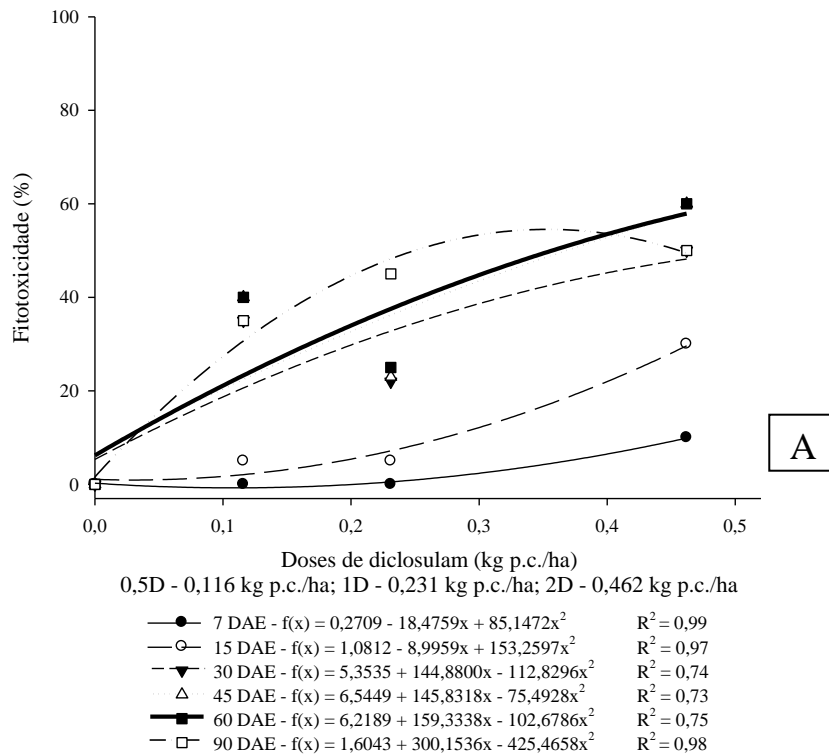


Figura 6. Curvas dose-resposta do herbicida diclosulam aplicado nas cultivares RB867515 (A) e RB966928 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE

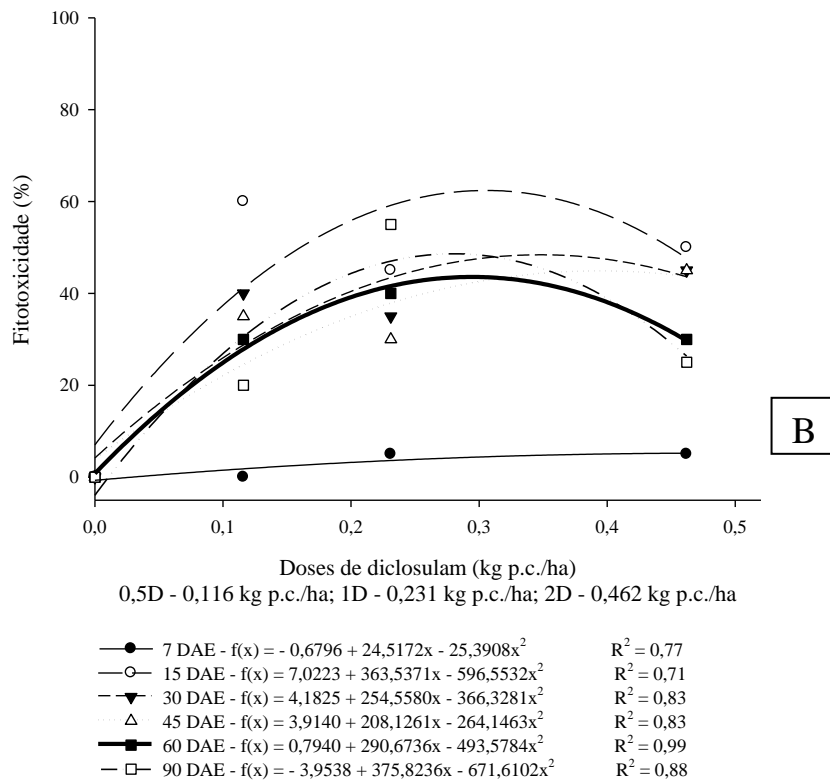
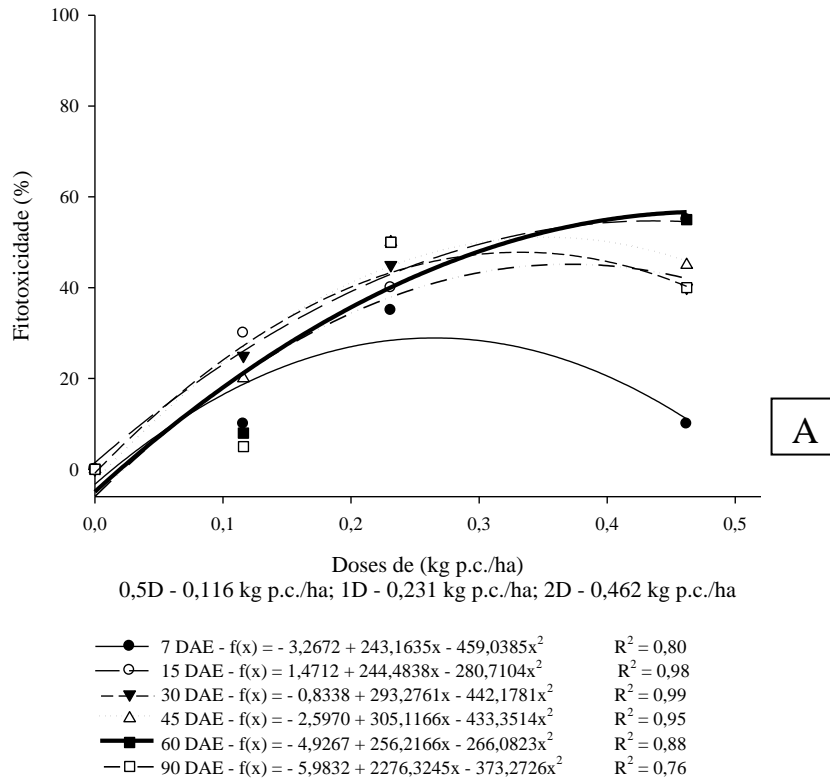


Figura 7. Curvas dose-resposta do herbicida diclosulam aplicado nas cultivares RB975157 (A) e RB975201 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE

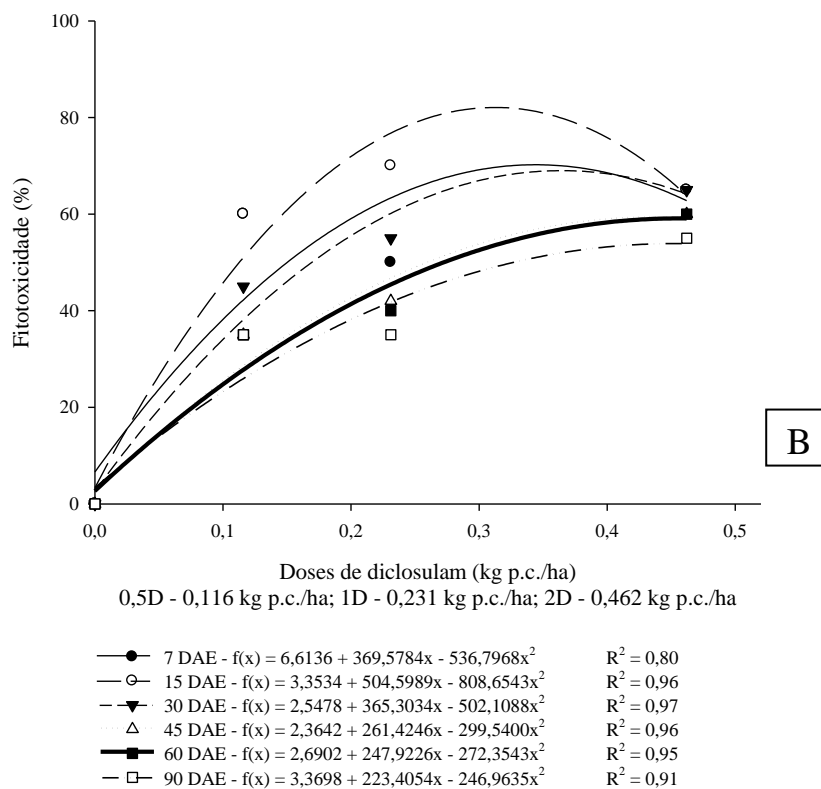
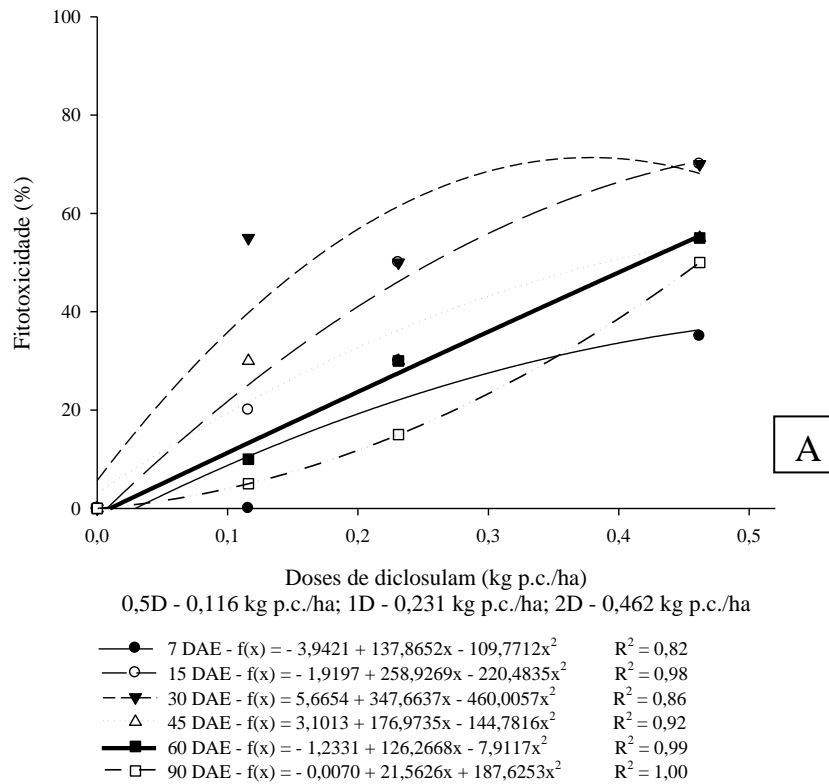
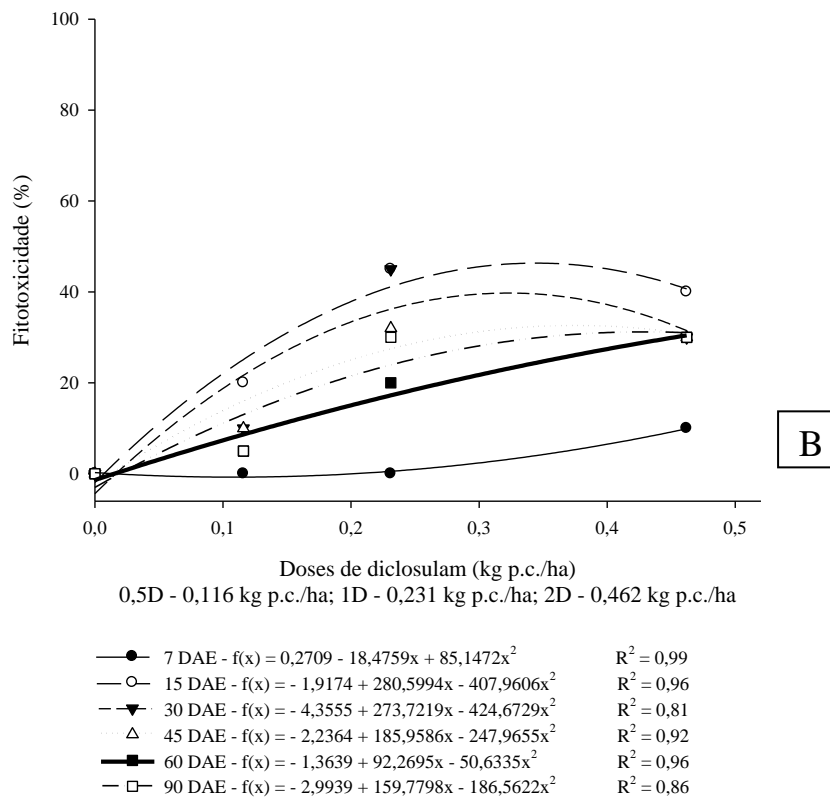
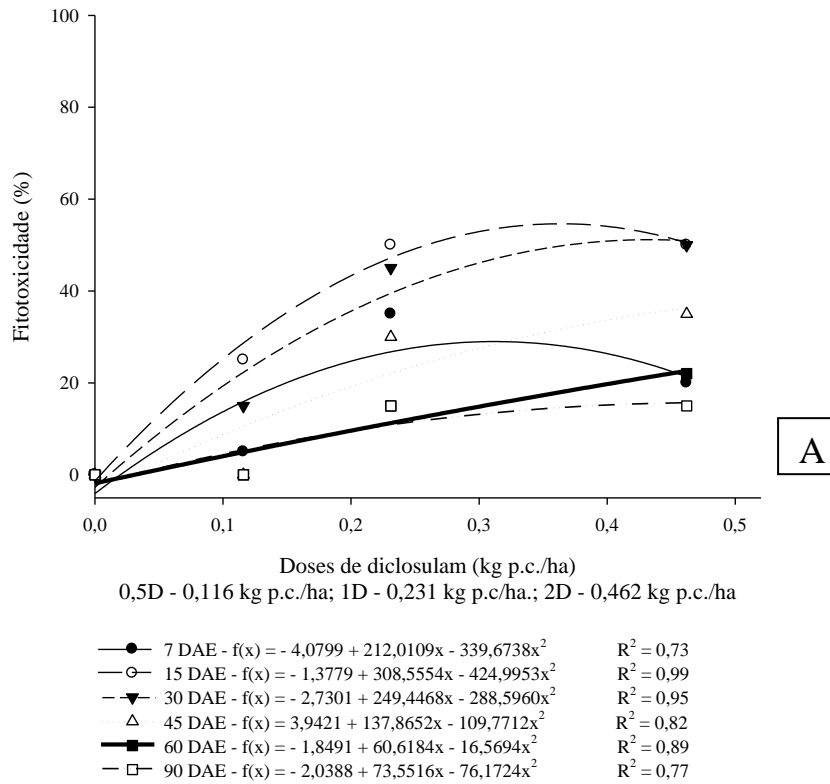


Figura 8. Curvas dose-resposta do herbicida diclosulam aplicado nas cultivares RB975952 (A) e RB985476 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE



Martins et al. (2005) testaram a sensibilidade de onze cultivares de cana-de-açúcar ao diclosulam aplicado em pré e pós-emergência, e verificaram que as cultivares RB855035 e RB855156 foram as que apresentaram sintomas visuais de intoxicação em ambas as aplicações, sendo em pós ligeiramente mais intensos que em pré, mas que ao longo do tempo estes não foram mais observados. Além disso, os autores também avaliaram as características tecnológicas Pol, fibra e Brix, e concluíram que os parâmetros não foram afetados pela aplicação do diclosulam. Assim, o produto foi considerado seletivo para as cultivares.

Em relação à altura, não houve diferenças significativas nos períodos avaliados entre os tratamentos, entretanto é possível observar que até os 90 DAE os menores valores de altura foram encontrados com 1D e 2D, com valores máximos de 13,3 cm em 1D e 10,3 cm em 2D, enquanto que as testemunhas atingiram até 20,3 cm (Tabela 8).

Para o diclosulam não houve diferenças estatísticas significativas para todas as cultivares nas análises de área foliar e biomassa seca. Contudo, há diferenças numéricas em alguns tratamentos, como a área foliar com a dose 0,5D a cultivar RB835054 apresentou 66,1 cm² de área foliar, enquanto que a RB867515 obteve 232,3 cm², e para a biomassa da cultivar RB975157, em que a testemunha apresentou massa seca de 6,4 g e a média das plantas em que foi aplicada a dose de 2D esse valor reduziu para 1,8 g (Tabela 9).

Tabela 8. Efeito do herbicida diclosulam aplicado em diferentes doses sobre a altura (cm) das plantas de cana-de-açúcar.

Cultivares	7 DAE				15 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	5,3	5,3	5,3	3,7	5,8	5,5	6,2	4,8
RB 855156	5,0	4,5	4,5	3,7	6,0	5,2	4,5	4,3
RB 867515	4,2	4,8	3,8	4,2	6,0	6,3	4,2	5,3
RB 966928	4,7	2,3	2,8	3,5	5,0	3,2	4,0	3,8
RB 975157	4,2	3,0	3,2	2,0	8,7	5,5	4,8	2,8
RB 975201	4,3	1,3	1,5	1,8	5,7	3,5	2,3	3,3
RB 975952	4,2	4,7	3,2	3,7	8,3	6,5	5,5	5,0
RB 985476	4,8	5,8	4,8	4,3	6,7	6,0	6,0	5,0
DMS (5%)	1,9 Fator 1	1,1 Fator 2	-	-	2,4 Fator 1	1,4 Fator 2	-	-
CV(%)	38,4				36,4			
Cultivares	30 DAE				45 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	6,5	5,5	6,7	5,3	7,2	5,2	7,0	5,3
RB 855156	6,3	5,7	4,7	5,0	7,3	6,2	5,3	5,0
RB 867515	6,7	6,7	5,3	6,3	7,5	7,8	6,0	6,8
RB 966928	5,8	5,8	5,3	5,5	6,0	6,5	5,5	5,8
RB 975157	10,2	8,3	7,5	5,7	11,5	8,7	9,7	5,8
RB 975201	7,3	5,3	4,7	4,0	9,3	6,2	5,5	4,5
RB 975952	9,5	8,3	7,0	8,0	10,2	8,8	8,5	8,8
RB 985476	8,0	7,0	6,7	5,8	9,3	7,8	7,3	7,7
DMS (5%)	2,8 Fator 1	1,7 Fator 2	5,6 Coluna	4,7 Linha	2,9 Fator 1	1,8 Fator 2	-	-
CV(%)	33,7				32,0			
Cultivares	60 DAE				90 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	8,5	5,7	7,0	5,5	18,0	8,5	9,3	6,5
RB 855156	12,0	7,3	5,8	5,8	20,3	11,5	9,0	7,7
RB 867515	9,5	9,3	6,3	7,2	17,3	14,2	8,5	8,8
RB 966928	8,8	8,0	5,7	6,8	15,8	12,8	7,5	8,3
RB 975157	13,5	10,3	10,2	6,3	19,8	15,8	13,0	7,7
RB 975201	11,8	7,7	6,3	5,5	13,8	9,2	7,3	7,8
RB 975952	11,5	10,3	8,5	9,8	18,3	17,5	13,2	10,3
RB 985476	9,7	9,7	7,8	8,0	16,2	13,5	10,7	10,3
DMS (5%)	3,3 Fator 1	2,0 Fator 2	-	-	4,5 Fator 1	2,7 Fator 2	-	-
CV(%)	31,3				29,2			

DAE: Dias Após a Emergência; DMS: Fator 1 – referente às médias do fator cultivares; Fator 2 – referente às médias do fator doses.

Tabela 9. Análises de área foliar (cm²) e biomassa seca da parte aérea das plantas (g) das diferentes cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao diclosulam aos 90 DAE

Cultivares	Diclosulam							
	Área Foliar (cm ²)				Biomassa seca (g)			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	220,4	66,1	121,7	4,7	4,8	1,5	1,9	0,9
RB 855156	310,5	164,5	90,7	44,9	6,8	2,0	1,7	1,2
RB 867515	220,4	232,3	91,7	73,4	4,4	3,9	2,1	1,5
RB 966928	127,2	75,9	42,8	48,4	3,2	2,4	1,1	1,3
RB 975157	254,4	190,2	103,9	72,6	6,4	3,9	2,7	1,8
RB 975201	217,4	123,6	82,3	56,3	3,3	2,7	1,4	1,0
RB 975952	192,9	201,1	116,1	152,8	3,7	3,9	2,4	2,6
RB 985476	287,0	162,2	112,4	112,0	4,3	3,4	2,1	2,0
DMS (5%)	81,8	48,7	-	-	1,4	0,8	-	-
	Fator 1	Fator 2			Fator 1	Fator 2		
CV (%)	46,4				39,3			

DAE: Dias Após a Emergência; DMS: Fator 1 – referente às médias do fator cultivares; Fator 2 – referente às médias do fator doses; Coluna – referente às colunas; Linha – referente às linhas.

Aplicação da mistura de herbicidas diurom+hexazinona+sulfometurom-metílico nas cultivares de cana-de-açúcar

Nos resultados de fitotoxicidade para a mistura de herbicidas diurom+hexazinona+sulfuometurom-metílico, ocorreram diferenças significativas em todos os períodos exceto aos 90 DAE (Tabela 10). De acordo com Rodrigues e Almeida (2005), os herbicidas mais utilizados em cana-de-açúcar são aqueles com mecanismo de ação de inibição da acetolactato sintase (ALS) e do fotossistema II, aplicados principalmente em pré-emergência e pós-emergência inicial, devido a sua baixa toxicidade para animais, seletividade para as culturas e altas eficiências em baixas doses.

Na primeira época de avaliação, com a dose 0,5D, novamente a cultivar RB975157 se mostrou mais sensível, com 70,0% de fitotoxicidade, e as RB835054 e RB975952 foram as mais tolerantes, com 0% e 5,0%, respectivamente. Estes mesmos comportamentos foram verificados na dose comercial, em que RB835054 e RB975952 tiveram 0% e RB975157 apresentou 81,7% de fitotoxicidade. Com a dose 2D, as cultivares mais tolerantes foram RB867515 (0%), RB835054 (5,0%) e RB975952 (6,7%), e as mais sensíveis foram RB975157 (100,0%), RB975201 (71,7%) e RB855156 (70,0%). Comparando entre as doses, RB855156, RB966928 e RB975201

apresentaram semelhanças entre seus resultados, individualmente, entre os tratamentos 0,5D e 1D, que diferiram de 2D (Tabela 10).

Aos 15 DAE, com a dose 0,5D, as cultivares RB966928 e RB975157 tiveram maior fitotoxicidade (75,0% e 76,7%, respectivamente), já com o uso da dose comercial a RB975157 apresentou 91,7%. Com a dose 2D, os valores atingiram 83,3% para RB855156, 86,7% para RB975201 e 100,0% para a RB975157. Quanto às doses, a cultivar RB835054 foi a mais tolerantes em relação às demais cultivares, e RB975157 foi a mais sensível.

Aos 30 DAE, a RB975157 foi a cultivar com maior fitotoxicidade, oscilando em 83,3% a 100,0% à medida que se aumentou a dose utilizada. Quando comparadas as doses em cada cultivar, separadamente, verifica-se que a RB975952 e a RB985476 tiveram as mais baixas porcentagens de fitotoxicidade.

Na avaliação de 45 DAE, na dose 0,5D, a RB966928 apresentou 73,3% e a RB975157 teve 71,7% de fitotoxicidade. A RB975157 também foi a mais sensível com a utilização da dose comercial (76,7%), enquanto que RB975201 foi tolerante a este tratamento (5,0%). Com a dose 2D foram obtidos os mesmo resultados que a 30 DAE, com as cultivares RB855156 e RB975157 com maiores índices de fitotoxicidade (86,7% e 100,0%, respectivamente).

Aos 60 DAE não houve diferenças significativas para o tratamento 0,5D entre as cultivares, mas o maior valor de fitotoxicidade foi obtido em RB975157 (66,7%) e o menor em RB975952 (15,0%). Para a dose comercial, o mesmo padrão foi observado, com valores de fitotoxicidade de 3,3% (RB975201 e RB985476) até 63,3% (RB975157). Já com o uso do dobro da dose comercial, quatro cultivares tiveram valores de fitotoxicidade superiores a 50,0%: RB975157 (100,0%), RB855156 (81,7%), RB975201 (66,7%) e RB966928 (50,0%). Comparando as doses, somente RB975201 apresentou semelhanças entre 0,5D e 1D (18,3% e 3,3%, respectivamente), que diferiram de 2D (66,7%). Já aos 90 DAE não houve diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, mas os maiores valores numéricos de fitotoxicidade foram obtidos com cultivar RB975157 na dose de 0,5D (68,3%), e nas maiores doses destacam-se as cultivares RB855156 e RB975157 com maior fitotoxicidade.

Tabela 10. Porcentagem de fitotoxicidade nas cultivares de cana-de-açúcar aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE pelos herbicidas diurom+hexazinona+sulfurometurom-metílico

Cultivares	7 DAE				15 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	0 aA	0 bA	0 bA	5,0 deA	0 aA	5,0 bA	20,0 bA	23,3 cdA
RB 855156	0 aB	35,0 abAB	16,7 bAB	70,0 abcA	0 aB	50,0 abA	56,7 abA	83,3 abA
RB 867515	0 aA	33,3 abA	13,3 bA	0 eA	0 aB	40,0 abAB	63,3 abA	10,0 dB
RB 966928	0 aB	45,0 abAB	3,3 bB	66,7 abcdA	0 aB	75,0 aA	46,7 abA	75,0 abcA
RB 975157	0 aB	70,0 aA	81,7 aA	100,0 aA	0 aB	76,7 aA	91,7 aA	100,0 aA
RB 975201	0 aB	13,3 abB	16,6 bB	71,7 abA	0 aB	43,3 abAB	50,0 abA	86,6 abA
RB 975952	0 aA	5,0 bA	0 bA	6,7 cdeA	0 aA	38,3 abA	31,7 bA	15,0 dA
RB 985476	0 aA	13,3 abA	6,7 bA	10,0 bcdeA	0 aB	63,3 aA	58,3 abA	41,7 bcdAB
DMS (5%)	32,2 Fator 1	19,2 Fator 2	64,4 Coluna	54,3 Linha	27,2 Fator 1	16,2 Fator 2	54,3 Coluna	45,8 Linha
CV (%)	117,9				54,6			
Cultivares	30 DAE				45 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	0 aA	0 cA	26,7 abA	41,7 bcA	0 aA	15,0 abA	33,3 abA	28,3 bcdA
RB 855156	0 aB	53,3 abcA	55,0 abA	86,7 abA	0 aB	48,3 abAB	61,7 abA	86,7 abA
RB 867515	0 aA	40,0 abcA	45,0 abA	8,3 cA	0 aB	50,0 abA	36,7 abAB	18,3 cdAB
RB 966928	0 aB	66,7 abA	40,0 abAB	50,0 abcA	0 aB	73,3 aA	51,7 abA	40,0 bcdAB
RB 975157	0 aB	83,3 aA	81,7 aA	100,0 aA	0 aB	71,7 aA	76,7 aA	100,0 aA
RB 975201	0 aB	38,3 abcAB	30,0 abAB	76,7 abA	0 aB	23,3 abAB	5,0 bB	66,7 abcA
RB 975952	0 aA	21,7 bcA	13,3 bA	3,3 cA	0 aA	8,3 bA	20,0 abA	1,7 dA
RB 985476	0 aA	40,0 abcA	13,3 bA	13,3 cA	0 aA	18,3 abA	3,3 bA	8,3 cdA
DMS (5%)	27,8 Fator 1	16,6 Fator 2	55,6 Coluna	46,9 Linha	29,4 Fator 1	17,5 Fator 2	58,7 Coluna	49,5 Linha
CV (%)	67,7				77,6			
Cultivares	60 DAE				90 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	0 aA	33,3 aA	45,0 aA	16,7 bA	0	30,0	18,3	31,7
RB 855156	0 aB	40,0 aAB	51,7 aAB	81,7 aA	0	40,0	60,0	81,7
RB 867515	0 aA	53,3 aA	43,3 aA	16,7 bA	0	38,3	30,0	10,0
RB 966928	0 aB	63,3 aA	41,7 aAB	50,0 abAB	0	55,0	21,7	36,7
RB 975157	0 aB	66,7 aA	63,3 aA	100,0 aA	0	68,3	55,0	100,0
RB 975201	0 aB	18,3 aAB	3,3 aB	66,7 abA	0	16,7	6,7	71,6
RB 975952	0 aA	15,0 aA	10,0 aA	6,7 bA	0	16,7	11,7	21,7
RB 985476	0 aA	16,7 aA	3,3 aA	11,7 bA	0	16,7	5,0	20,0
DMS (5%)	32,0 Fator 1	19,0 Fator 2	63,9 Coluna	53,9 Linha	31,9 Fator 1	19,0 Fator 2	-	-
CV (%)	87,1				92,5			

Letras iguais minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

DAE: Dias Após a Emergência; DMS: Fator 1 – referente às médias do fator cultivares; Fator 2 – referente às médias do fator doses; Coluna – referente às colunas; Linha – referente às linhas.

Estes resultados divergem dos resultados observados por Azania et al. (2006), em que avaliaram a seletividade de diurom+hexazinona, hexazinona, metribuzin e isoxaflutole na cultivar de cana-de-açúcar RB835089, e constataram que para todos os herbicidas foram observados sintomas de fitotoxicidade até os 45 DAA mas ausência dos sintomas quando atingiram os 60 DAA. Entretanto, neste experimento os herbicidas foram aplicados em pós-emergência inicial da cultura.

Em relação às curvas de dose-resposta com a mistura dos herbicidas diurom+hexazinona+sulfuometurom-metílico, observa-se que a cultivar RB835054 apresentou maior fitotoxicidade a partir 45 DAE, porém o valor não foi alto, estando abaixo de 35% ao final das avaliações (90 DAE) até mesmo na dose 2D (Figura 9A). Já a cultivar RB855156 apresentou alta fitotoxicidade aos herbicidas a partir de 15 DAE até os 90 DAE para todos os tratamentos, variando de, aproximadamente, 45% de fitotoxicidade para dose 0,5D e acima de 80% para a dose 2D (Figura 9B). A cultivar RB867515 teve maior fitotoxicidade aos 15 e 45 DAE, mas diminuiu nas demais épocas de avaliação, recuperando-se aos 90 DAE com valores de 30% e 20% nas doses 1D e 2D, respectivamente (Figura 10A).

As épocas de maior fitotoxicidade para RB966928 foram aos 7 e 15 DAE, principalmente na dose 2D, ficando em ambas acima de 60%. Estas épocas são o período inicial de crescimento das plantas, o que mostra a sensibilidade da cultivar enquanto não estiver mais bem estabelecida. Aos 90 DAE ocorreu uma leve recuperação, com 40% de fitotoxicidade nas doses 1D e 2D (Figura 10B). A RB975157 foi bastante sensível aos produtos em todos os tratamentos e épocas de avaliação, sobretudo, como as demais cultivares, entre 15 e 45 DAE. Com a dose de 0,5D os resultados foram acima de 60% em todas as datas, e aos 90 DAE ocorreu a morte das plantas no tratamento de 2D (Figura 11A).

A cultivar RB975201 também foi mais sensível aos 15 e 30 DAE, com valores abaixo de 40% de fitotoxicidade para as doses 0,5D e 1D e acima de 60% com a dose 2D. Aos 90 DAE as plantas se recuperaram, porém quando aplicada a dose 2D a fitotoxicidade permaneceu alta (Figura 11B). Tanto para a cultivar RB975952 quanto para a RB985476, nota-se que a curva de 15 DAE está bastante acima das demais, mostrando que esta época foi a de maior fitotoxicidade (Figura 12A e 12B, respectivamente). Contudo, aos 90 DAE as plantas apresentaram uma ótima recuperação, ficando abaixo de 15% de fitotoxicidade até a dose de 2D para a RB975952 e abaixo de 20% para a RB985476 com esta mesma dose.

Figura 9. Curvas dose-resposta dos herbicidas diurom+hexazinona+sulfometurom-metilico aplicados nas cultivares RB835054 (A) e RB855156 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE

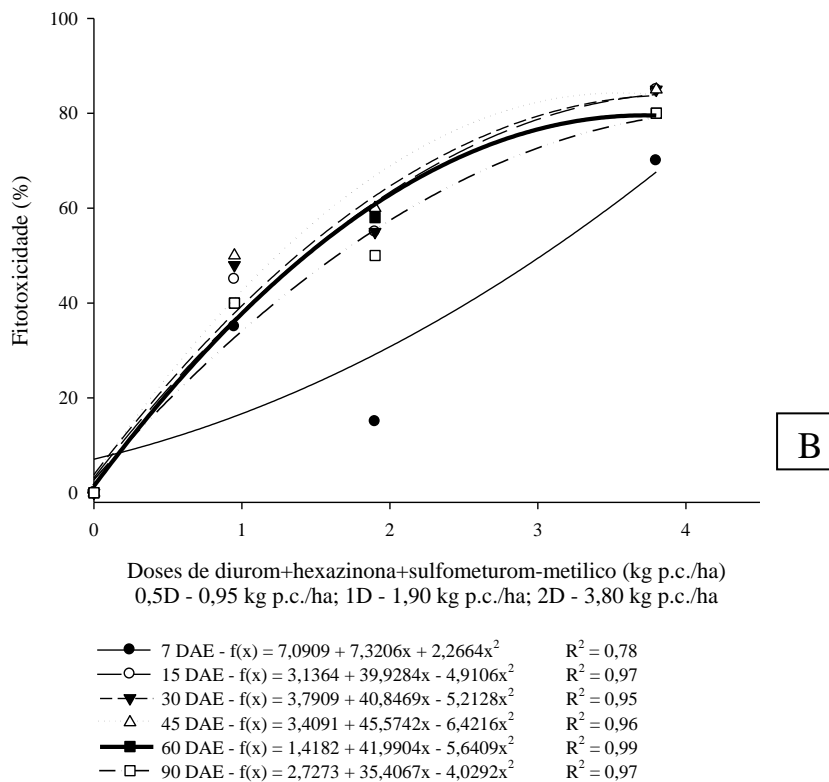
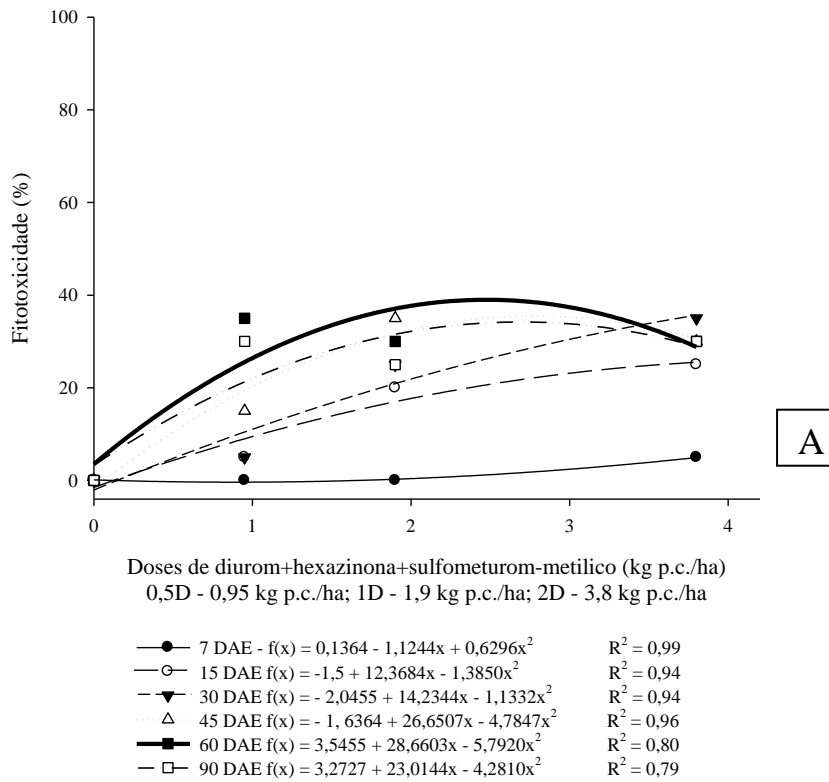


Figura 10. Curvas dose-resposta dos herbicidas diurom+hexazinona+sulfometurom-metilico aplicados nas cultivares RB867515 (A) e RB966928 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE

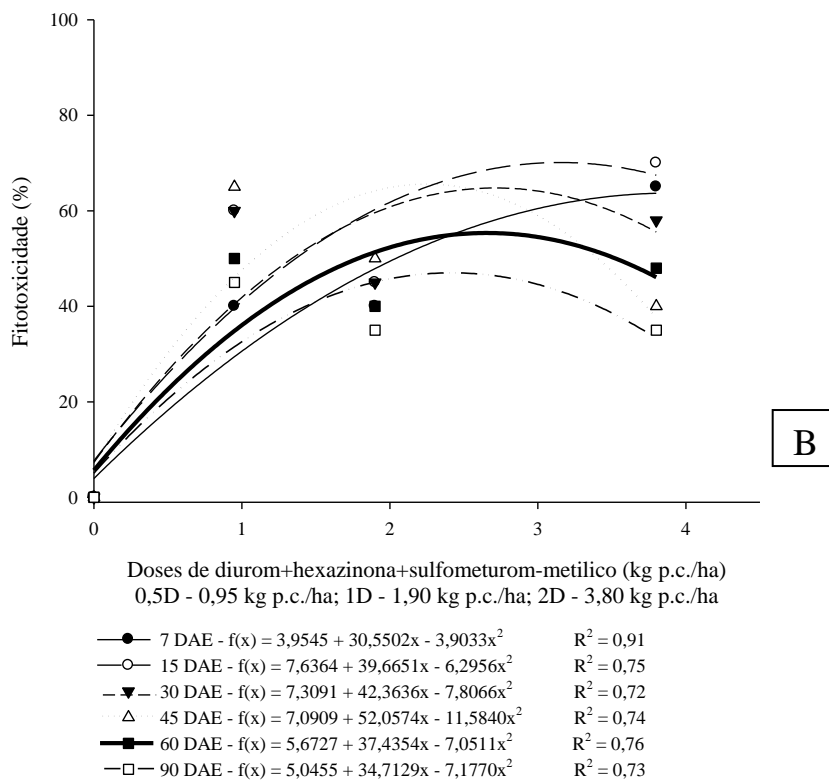
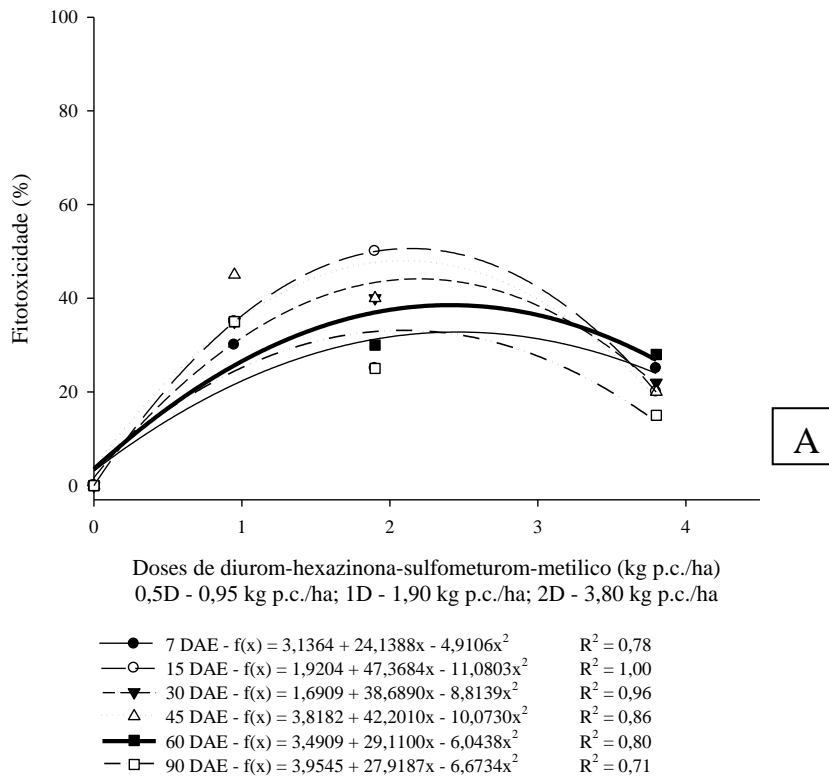
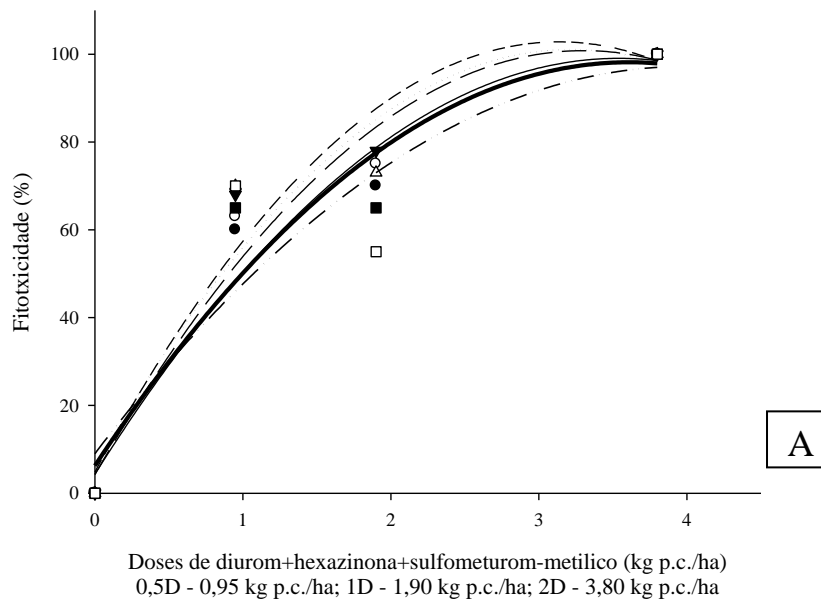
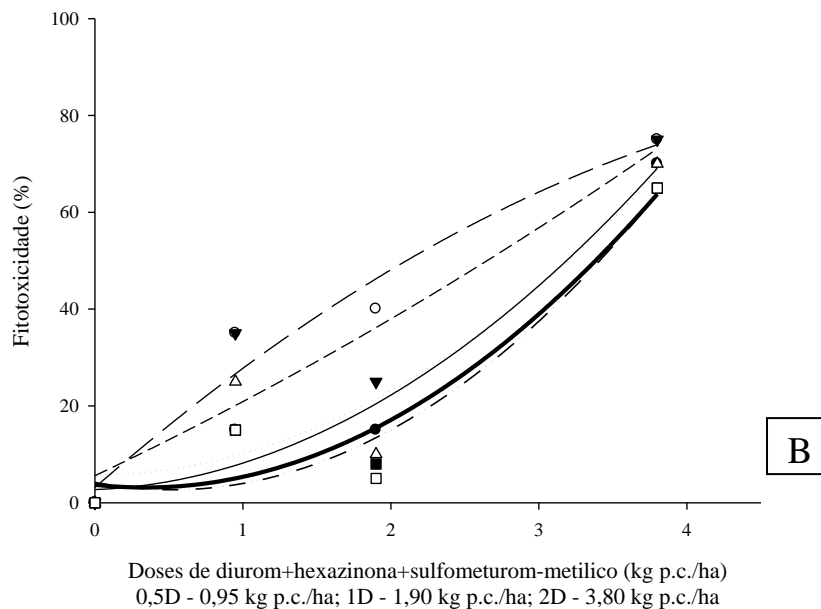


Figura 11. Curvas dose-resposta dos herbicidas diurom+hexazinona+sulfometurom-metilico aplicados nas cultivares RB975157 (A) e RB975201 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE

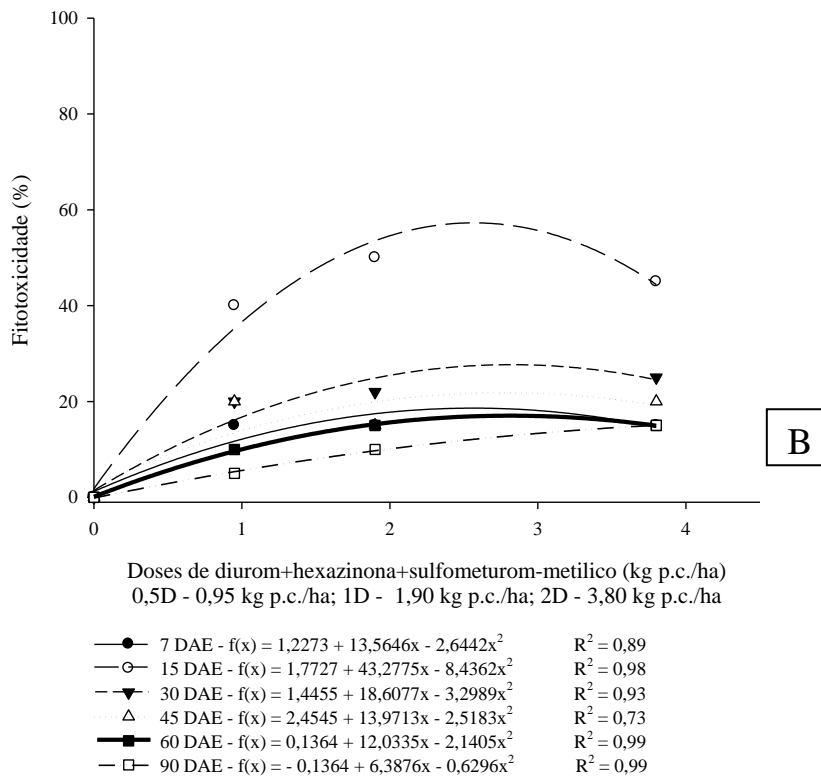
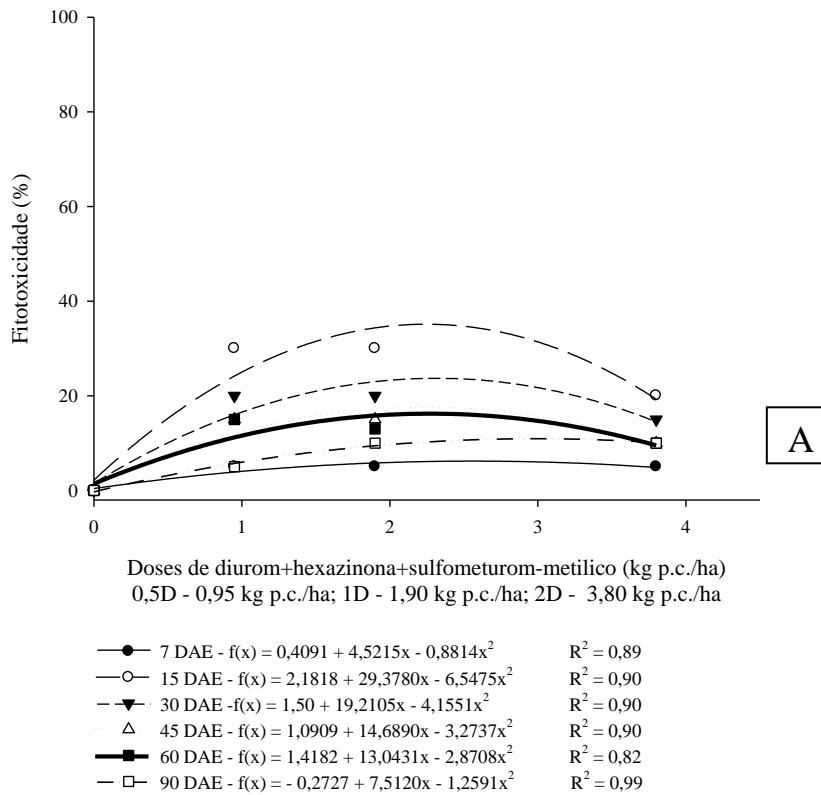


- 7 DAE - $f(x) = 4,3636 + 53,4928x - 7,5548x^2$ $R^2 = 0,96$
- 15 DAE - $f(x) = 4,20 + 58,5263x - 8,8643x^2$ $R^2 = 0,96$
- ▼— 30 DAE - $f(x) = 4,80 + 62,5263x - 9,9723x^2$ $R^2 = 0,95$
- △— 45 DAE - $f(x) = 6,0545 + 59,0239x - 9,1665x^2$ $R^2 = 0,92$
- 60 DAE - $f(x) = 6,2727 + 50,9091x - 7,0511x^2$ $R^2 = 0,91$
- 90 DAE - $f(x) = 9,0 + 44,2105x - 5,5402x^2$ $R^2 = 0,81$



- 7 DAE - $f(x) = 2,7273 + 1,1962x + 4,2810x^2$ $R^2 = 0,97$
- 15 DAE - $f(x) = 3,1364 + 26,7703x - 2,1405x^2$ $R^2 = 0,96$
- ▼— 30 DAE - $f(x) = 5,5909 + 14,4258x + 0,8814x^2$ $R^2 = 0,87$
- △— 45 DAE - $f(x) = 5,7273 + 0,1435x + 4,2810x^2$ $R^2 = 0,86$
- 60 DAE - $f(x) = 3,7364 - 3,4402x + 5,0617x^2$ $R^2 = 0,93$
- 90 DAE - $f(x) = 4,2273 - 5,9091x + 5,6661x^2$ $R^2 = 0,92$

Figura 12. Curvas dose-resposta dos herbicidas diurom+hexazinona+sulfometurom-metilico aplicados nas cultivares RB975952 (A) e RB985476 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE



Nas avaliações de altura somente aos 15 e 30 DAE ocorreram diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos com a mistura de herbicidas diurom+hexazinona+sulfuometurom-metílico (Tabela 11). No primeiro período citado, na dose comercial observou-se que as plantas de RB975157 apresentaram menor altura média, com 0,8 cm, enquanto que as RB835054, RB975201 e RB975952 apresentaram altura maior que 6,0 cm. Com o tratamento 2D, a RB855156 apresentou altura de 1,5 cm e as plantas RB867515 e RB975952 apresentaram altura acima de 6,0 cm. Comparando as doses, destaca-se o crescimento das plantas pertencentes a cultivar RB975157, que diminuiu significativamente conforme se aumentou a dose, sendo de 8,7 cm na testemunha e 0 cm com o dobro (ausência de planta). Para a RB855156 isso também foi observado, variando de 6,0 cm na testemunha a 1,5 cm com a aplicação da maior dose.

Aos 30 DAE observou-se no tratamento 1D, que a altura das plantas variou de 2,5 cm (RB975157) até 8,3 cm (RB975201). Da mesma forma, no tratamento 2D, observou-se plantas de RB855156 com 1,8 cm de altura. Fazendo-se a comparação entre as doses, RB975157 foi a que mais diferiu da testemunha, seguida por RB975201, em que com o aumento da dose ocorreu diminuição da altura das plantas.

Para as avaliações de área foliar e biomassa seca com a mistura diurom+hexazinona+sulfuometurom-metílico, com o uso de 0,5D não foram verificadas diferenças entre as cultivares, mas com o uso da dose recomendada os valores de área foliar oscilaram de 231,1 cm² a 54,9 cm² para a RB975201 e a RB855156, respectivamente. Com o uso de 2D, a RB867515 apresentou a maior área foliar observada de 172,6 cm². Quanto a biomassa seca, não houve diferenças significativas nas doses de 0,5D e 1D, entretanto com o tratamento de 2D os maiores valores de massa foram para a RB867515 (4,2 g) e RB975952 (3,9 g), semelhantes entre si, e diferentes de RB855156 (0,5 g) e RB975157 (0 g). Comparando as doses, apenas nas cultivares RB855156 e RB975157 os tratamentos diferiram de suas respectivas testemunhas (Tabela 12).

Tabela 11. Efeito da mistura de herbicidas diurom+hexazona+sulfurometurom-metílico aplicada em diferentes doses sobre a altura (cm) das plantas de cana-de-açúcar.

Cultivares	7 DAE				15 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	5,3	5,2	5,8	3,5	5,8 aA	5,5 aA	6,2 aA	5,2 abA
RB 855156	5,0	2,0	1,8	1,3	6,0 aA	2,7 aAB	2,8 abAB	1,5 bcB
RB 867515	4,2	3,5	2,3	4,3	6,0 aA	4,3 aA	5,2 abA	6,3 aA
RB 966928	4,7	1,2	3,0	1,2	5,0 aA	1,8 aA	3,7 abA	2,5 abcA
RB 975157	4,2	1,3	0,7	0	8,7 aA	2,0 aB	0,8 bB	0 cB
RB 975201	4,3	3,5	4,5	0,8	5,7 aAB	5,7 aAB	6,7 aA	2,2 abcB
RB 975952	4,2	4,0	5,2	5,0	8,3 aA	6,0 aA	6,5 aA	6,2 aA
RB 985476	4,8	3,7	3,5	4,2	6,7 aA	5,5 aA	5,3 abA	5,3 abA
DMS (5%)	2,1 Fator 1	1,3 Fator 2	-	-	2,3 Fator 1	1,4 Fator 2	4,6 Coluna	3,9 Linha
CV (%)	48,8				37,9			
Cultivares	30 DAE				45 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	6,5 aA	5,2 aA	6,5 abA	5,3 abcdA	7,2	5,7	6,8	6,7
RB 855156	6,3 aA	3,2 aA	3,5 abA	1,8 cdA	7,3	4,2	5,7	1,8
RB 867515	6,7 aA	4,8 aA	5,3 abA	7,2 abcA	7,5	5,5	6,5	7,7
RB 966928	5,8 aA	3,2 aA	5,0 abA	4,0 abcdA	6,0	4,0	6,2	5,7
RB 975157	10,2 aA	2,5 aB	2,5 bB	0 dB	11,5	3,8	5,3	0
RB 975201	7,3 aA	7,7 aA	8,3 aA	2,5 bcdB	9,3	9,0	9,5	3,8
RB 975952	9,5 aA	6,8 aA	7,7 abA	8,5 aA	10,2	9,2	8,8	10,8
RB 985476	8,0 aA	6,2 aA	6,7 abA	7,5 abA	9,3	8,2	8,3	8,8
DMS (5%)	2,7 Fator 1	1,6 Fator 2	5,4 Coluna	4,5 Linha	3,8 Fator 1	2,3 Fator 2	-	-
CV (%)	37,0				43,3			
Cultivares	60 DAE				90 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	8,5	6,3	9,5	8,5	18,0	9,2	12,5	11,5
RB 855156	12,0	8,3	7,2	2,5	20,3	10,2	9,5	3,3
RB 867515	9,5	8,2	8,3	9,7	17,3	10,2	11,2	15,8
RB 966928	8,8	5,7	9,0	7,2	15,8	9,0	11,8	11,7
RB 975157	13,5	4,5	6,7	0	19,8	6,0	10,3	0
RB 975201	11,8	10,5	12,0	4,3	13,8	14,7	15,5	6,0
RB 975952	11,5	10,7	9,7	15,3	18,3	15,8	16,3	17,2
RB 985476	9,7	9,2	11,3	10,8	16,2	14,2	15,7	14,0
DMS (5%)	4,9 Fator 1	2,9 Fator 2	-	-	6,2 Fator 1	3,7 Fator 2	-	-
CV (%)	43,8				37,7			

Letras iguais minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

DAE: Dias Após a Emergência; DMS: Fator 1 – referente às médias do fator cultivares; Fator 2 – referente às médias do fator doses; Coluna – referente às colunas; Linha – referente às linhas.

Tabela 12. Análises de área foliar (cm²) e biomassa seca da parte aérea das plantas (g) das diferentes cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao diurom+hexazinona+sulfometurom-metílico aos 90 DAE

Cultivares	Diurom+hexazinona+sulfometurom-metílico							
	Área Foliar (cm ²)				Biomassa seca (g)			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	220,4 abA	105,1 aA	122,7 abA	78,7 abA	4,8 abA	2,1 aAB	2,2 aAB	1,7 abB
RB 855156	310,5 aA	105,3 aB	54,9 bB	18,8 abB	6,8 aA	2,3 aB	1,1 aB	0,5 bB
RB 867515	220,4 abA	120,1 aA	138,0 abA	172,6 aA	4,4 abA	2,1 aA	2,1 aA	4,2 aA
RB 966928	127,2 bA	58,5 aA	116,3 abA	88,0 abA	3,2 bA	1,2 aA	2,4 aA	1,7 abA
RB 975157	254,4 abA	54,8 aB	79,7 abB	0 bB	6,4 abA	1, aB	1,9 aB	0 bB
RB 975201	217,4 abA	174,6 aAB	231, aA	58,3 abB	3,3 bAB	3,5 aAB	4,3 aA	1,0 abB
RB 975952	192,9 abA	214,0 aA	222,1 abA	159,7 abA	3,7 abA	3,9 aA	4,1 aA	3,9 aA
RB 985476	287,0 abA	152,0 aAB	178,3 abAB	130,6 abB	4,3 abA	2,8 aA	3,8 aA	2,4 abA
DMS (5%)	85,1 Fator 1	50,7 Fator 2	170,2 Coluna	143,4 Linha	1,7 Fator 1	1,0 Fator 2	3,4 Coluna	2,9 Linha
CV (%)	45,6				45,7			

Letras iguais minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

DAE: Dias Após a Emergência; DMS: Fator 1 – referente às médias do fator cultivares; Fator 2 – referente às médias do fator doses; Coluna – referente às colunas; Linha – referente às linhas.

Aplicação do herbicida imazapique nas cultivares de cana-de-açúcar

De acordo com os dados de fitotoxicidade obtidos para o herbicida imazapique, aos 7 DAE não há diferenças significativas, embora possam ser destacados os valores de fitotoxicidade que variaram de 0% (RB985476) até 36,7% (RB 975201) com o uso da dose comercial e a morte das plantas (RB975157 e RB 975201) com o uso do dobro da dose recomendada (2D) (Tabela 13).

Aos 15 DAE, a menor fitotoxicidade, com o uso da dose comercial, foi observada na cultivar RB855156 com 18,3% e a maior fitotoxicidade foi de 90% na cultivar RB975157. No tratamento 2D, detectou-se uma evolução dos sintomas em quase todas as cultivares estudadas, exceto para a RB975952, que apresentou 66,7% de fitotoxicidade. Em relação às doses, observou-se que, principalmente em RB835054 e RB855156, conforme se aumentou a dose do herbicida houve aumento dos efeitos fitotóxicos nas plantas das oito cultivares.

Quando analisadas aos 30 DAE, a RB975157 continuou sendo muito sensível ao herbicida, com 96,7% de fitotoxicidade com uso de 0,5D, e 90,0% com a dose recomendada, semelhante à RB867515 (83,3%) e RB975952 (85,0%). Com a maior dose aplicada, não houve diferenças significativas entre as cultivares, porém RB975157

e RB975201 atingiram 100,0% e as demais plantas ficaram acima de 68,0% de fitotoxicidade. De modo geral, aos 30 DAE todas as cultivares sofreram mais pela aplicação do herbicida, praticamente em todas as plantas os valores foram acima de 20,0%, sendo que apenas a RB867515, no tratamento 0,5D, apresentou fitotoxicidade de 18,3% (Tabela 13).

Aos 45 DAE não houve diferenças estatísticas significativas, e manteve-se o fato da cultivar RB975157 apresentar maiores valores de fitotoxicidade, com 96,7%, 93,3% e 100,0% para 0,5D, 1D e 2D, respectivamente. Com 60 DAE esta cultivar apresentou 80,0% de fitotoxicidade em 0,5D, diferindo significativamente de RB867515 (3,3%); 90,0% com 1D, e 100,0% com a dose 2D. A RB975201 também apresentou 100,0% de fitotoxicidade na dose de 2D, e ambas foram semelhantes a RB855156 (93,3%). Em relação às doses, RB855156 foi semelhante nos tratamentos 0,5D e 1D (13,3% e 28,3%, respectivamente), que diferiram da dose de 2D (93,3%). Nas cultivares RB975201 e RB975952 este comportamento foi repetido, com 46,7% e 55,0% nos tratamentos 0,5D e 1D, para a primeira cultivar, e 8,3% e 25,0% para a segunda, que diferem de seus resultados na maior dose (100,0% e 60,0%, respectivamente). Já a cultivar RB966928 apresentou semelhança entre a menor dose (11,7%) e a maior dose aplicada (55,0%), que diferiram da dose comercial (70,0%).

Quando as plantas foram analisadas aos 90 DAE, não observou-se diferenças estatísticas significativas, sendo que na menor dose os maiores valores numéricos de fitotoxicidade foram de 50,0% em RB975157 e RB975201. Na dose comercial as plantas que apresentaram maiores valores de fitotoxicidade foram RB975157 com 83,3% e acima de 60,0% em RB867515, RB966928 e RB975201. Já com o dobro da dose os valores de fitotoxicidade foram acima de 40,0% em todas as cultivares, atingindo 100,0% em RB975157 e RB975201 e 78,3% em RB855156 (Tabela 13).

Zera et al. (2010) avaliou a aplicação de imazapique em pós-emergência inicial das cultivares IACSP94-2094, IACSP94-2101, IACSP93-3046, IACSP94-4004, IACSP86-2480 e RB72454 e obteve resultados distintos: os sintomas de intoxicação foram de 3,5% aos 15 DAA; 7,8% aos 60 DAA e ausência de sintomas aos 90 DAA para estas cultivares.

Tabela 13. Porcentagem de fitotoxicidade pelo herbicida imazapique nas diferentes cultivares de cana-de-açúcar aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.

Cultivares	7 DAE				15 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	0	0	25,0	26,7	0 aB	5,0 dB	48,3 abA	56,7 aA
RB 855156	0	5,0	15,0	45,0	0 aB	15,0 cdB	18,3 bB	85,0 aA
RB 867515	0	0	33,3	73,3	0 aB	35,0 bcdB	73,3 aA	85,0 aA
RB 966928	0	0	23,3	48,3	0 aB	63,3 abA	73,3 aA	86,7 aA
RB 975157	0	33,3	33,3	100,0	0 aB	96,7 aA	90,0 aA	100,0 aA
RB 975201	0	33,3	36,7	100,0	0 aC	51,7 bcB	78,3 aAB	100,0 aA
RB 975952	0	23,3	60,0	40,0	0 aB	71,7 abA	80,0 aA	66,7 aA
RB 985476	0	0	0	45,0	0 aB	63,3 abA	63,3 aA	83,3 aA
DMS (5%)	38,1 Fator 1	22,7 Fator 2	-	-	22,2 Fator 1	13,2 Fator 2	44,3 Coluna	37,3 Linha
CV (%)	125,5				34,9			
Cultivares	30 DAE				45 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	0 aB	28,3 bAB	48,3 abA	68,3 aA	0	30,0	58,3	63,3
RB 855156	0 aB	35,0 bB	21,7 bB	88,3 aA	0	46,7	36,7	85,0
RB 867515	0 aB	18,3 bB	83,3 aA	88,3 aA	0	10,0	81,7	81,7
RB 966928	0 aB	50,0 abA	63,3 abA	81,7 aA	0	16,7	51,7	75,0
RB 975157	0 aB	96,7 aA	90,0 aA	100,0 aA	0	96,7	93,3	100,0
RB 975201	0 aC	43,3 bB	75,0 aAB	100,0 aA	0	38,3	60,0	100,0
RB 975952	0 aB	48,3 abA	85,0 aA	75,0 aA	0	13,3	48,3	70,0
RB 985476	0 aB	48,3 abA	48,3 abA	73,3 aA	0	18,3	40,0	73,3
DMS (5%)	24,6 Fator 1	14,6 Fator 2	49,1 Coluna	41,4 Linha	28,9 Fator 1	17,2 Fator 2	-	-
CV (%)	39,5				52,1			
Cultivares	60 DAE				90 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	0 aB	26,7 abAB	58,3 abcA	73,3 aA	0	0	46,7	43,3
RB 855156	0 aB	13,3 bB	28,3 bcB	93,3 aA	0	5,0	3,3	78,3
RB 867515	0 aB	3,3 bB	85,0 abA	76,7 aA	0	6,7	61,7	65,0
RB 966928	0 aC	11,7 bBC	70,0 abcA	55,0 aAB	0	6,7	68,3	58,3
RB 975157	0 aB	80,0 aA	90,0 aA	100,0 aA	0	50,0	83,3	100,0
RB 975201	0 aC	46,7 abBC	55,0 abcAB	100,0 aA	0	50,0	65,0	100,0
RB 975952	0 aB	8,3 bB	25,0 cAB	60,0 aA	0	10,0	30,0	45,0
RB 985476	0 aA	8,3 bA	46,7 abcA	43,3 aA	0	6,7	11,7	40,0
DMS (5%)	28,7 Fator 1	17,1 Fator 2	57,3 Coluna	48,3 Linha	31,4 Fator 1	18,7 Fator 2	-	-
CV (%)	57,0				75,9			

Letras iguais minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

DAE: Dias Após a Emergência; DMS: Fator 1 – referente às médias do fator cultivares; Fator 2 – referente às médias do fator doses; Coluna – referente às colunas; Linha – referente às linhas.

Para as avaliações das curvas de dose-resposta com o imazapique, a cultivar RB835054 apresentou maior fitotoxicidade a partir de 30 DAE e manteve resultados constantes até o final das avaliações aos 90 DAE, em que a fitotoxicidade foi entre 55 e 65% para as doses 1D e 2D (Figura 13A). A cultivar RB855156 apresentou resultados satisfatórios com 0,5D e 1D para todas as datas de avaliação, com menos de 30% de fitotoxicidade, aproximadamente. Contudo, a dose de 2D provocou maiores injúrias às plantas, chegando a 45% de fitotoxicidade apenas aos 7 DAE, e aos 90 DAE os danos se aproximaram a 90% de fitotoxicidade (Figura 13B).

Para as cultivares RB867515 e RB966928, observaram-se curvas crescentes a partir de 15 DAE (maior fitotoxicidade) em relação às doses aplicadas (Figuras 14A e 14B, respectivamente). Aos 90 DAE as plantas apresentaram leve recuperação, mas os resultados ficaram acima de 55% para as doses 1D e 2D para ambas as cultivares. As cultivares RB975157 e RB975201 apresentaram alta sensibilidade ao herbicida desde os 7 DAE, atingindo 100% de fitotoxicidade na dose 2D. Nas demais épocas de avaliação os valores de fitotoxicidade na dose 0,5D variaram entre 45 e 70% para a RB975157 e entre 40 e 50% para RB975201, e com a dose 1D foram acima de 80% para RB975157 e entre 60 e 75% para a outra cultivar (Figuras 15A e 15B, respectivamente).

Este herbicida causou maiores danos à cultivar RB975952 principalmente aos 15 e 30 DAE, com 75% de fitotoxicidade na dose 1D, mas as plantas apresentaram boa recuperação e aos 90 DAE o valor caiu para 30%, aproximadamente (Figura 16A). A época de 15 e 30 DAE também foram as mais sensíveis para a RB985476, porém as plantas se recuperaram e a época de 90 DAE foi a de menor fitotoxicidade, com valores abaixo de 20% de fitotoxicidade para as doses 0,5D e 1D (Figura 16B).

Figura 13. Curvas dose-resposta do herbicida imazapique aplicado nas cultivares RB835054 (A) e RB855156 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE

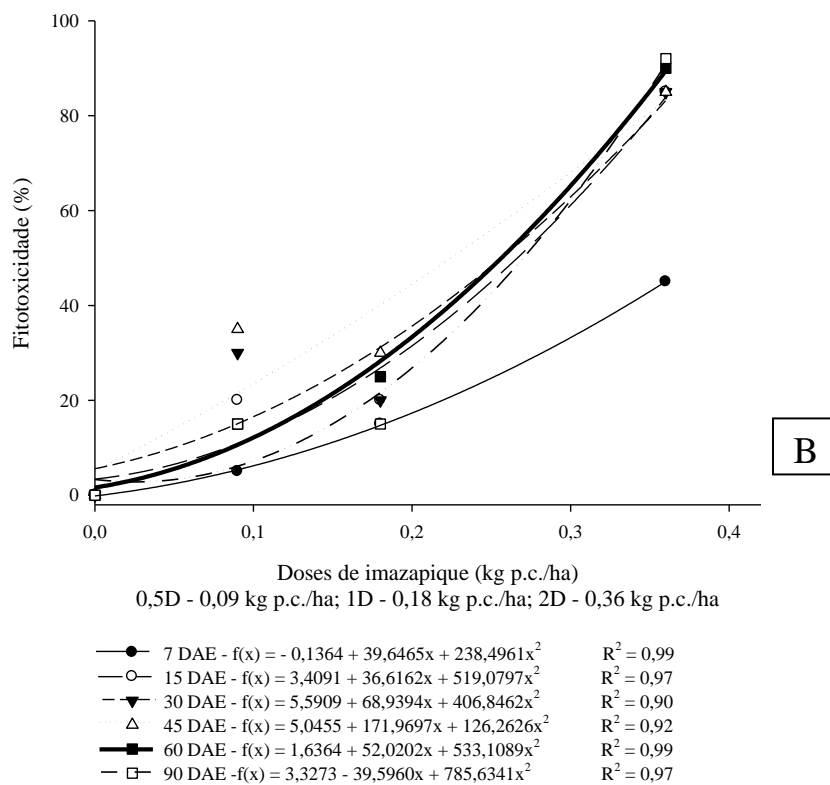
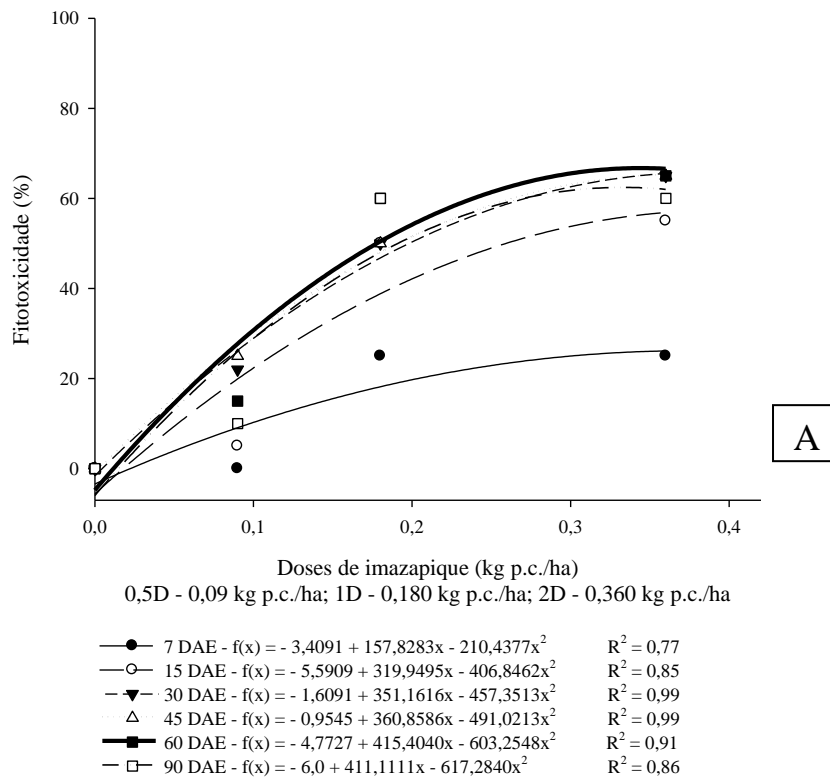


Figura 14. Curvas dose-resposta do herbicida imazapique aplicado nas cultivares RB867515 (A) e RB966928 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE

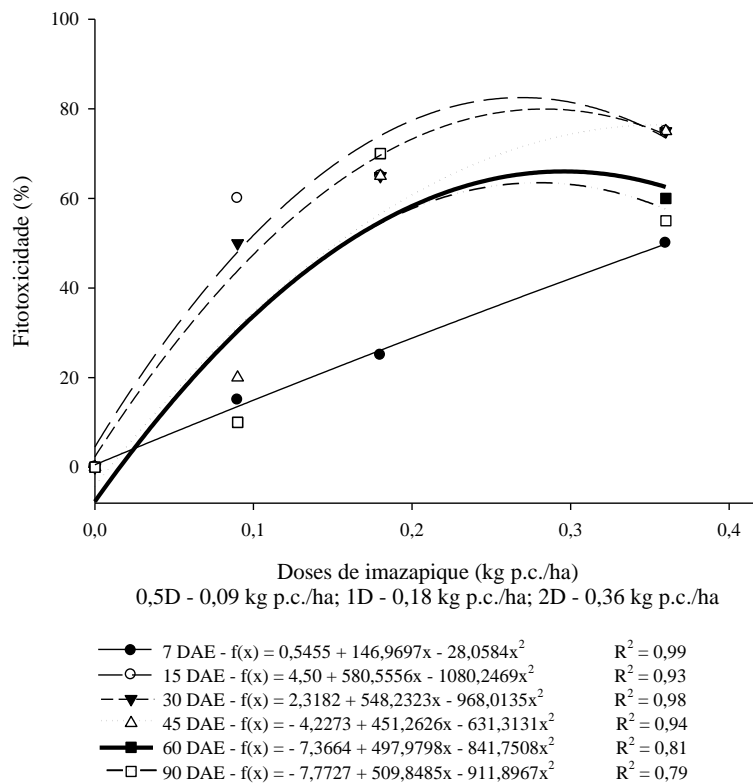
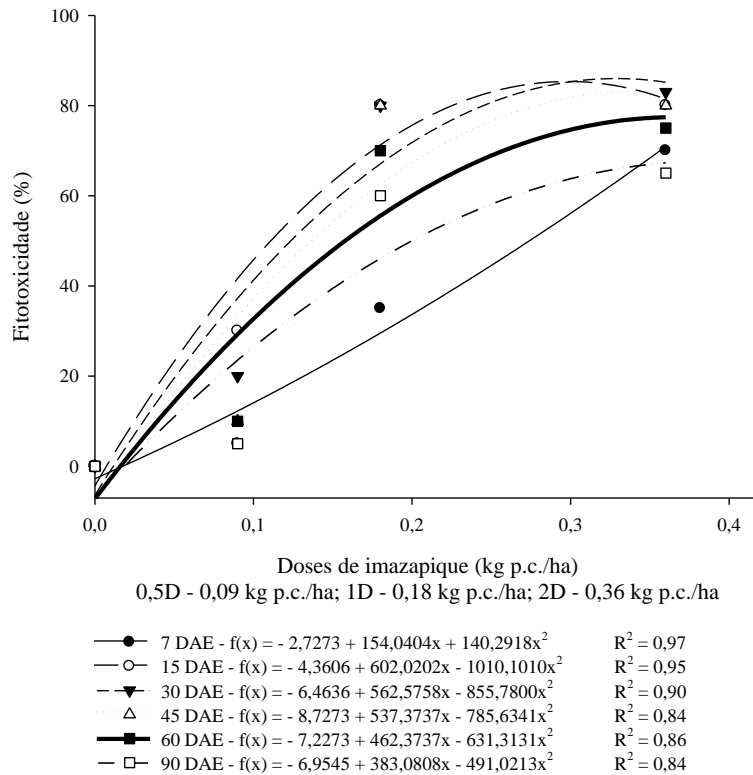


Figura 15. Curvas dose-resposta do herbicida imazapique aplicado nas cultivares RB975157 (A) e RB975201 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE

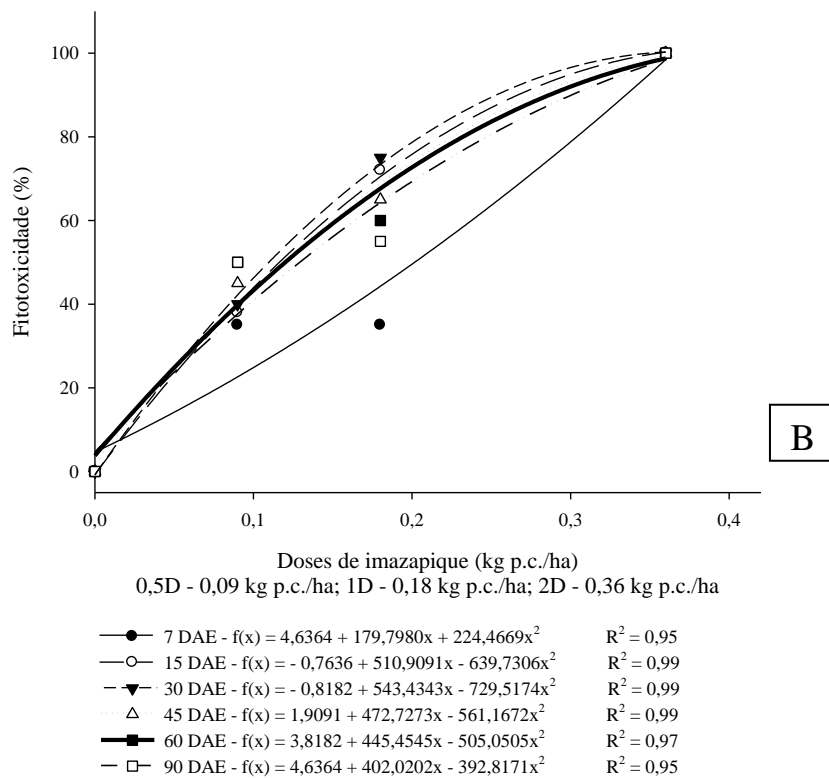
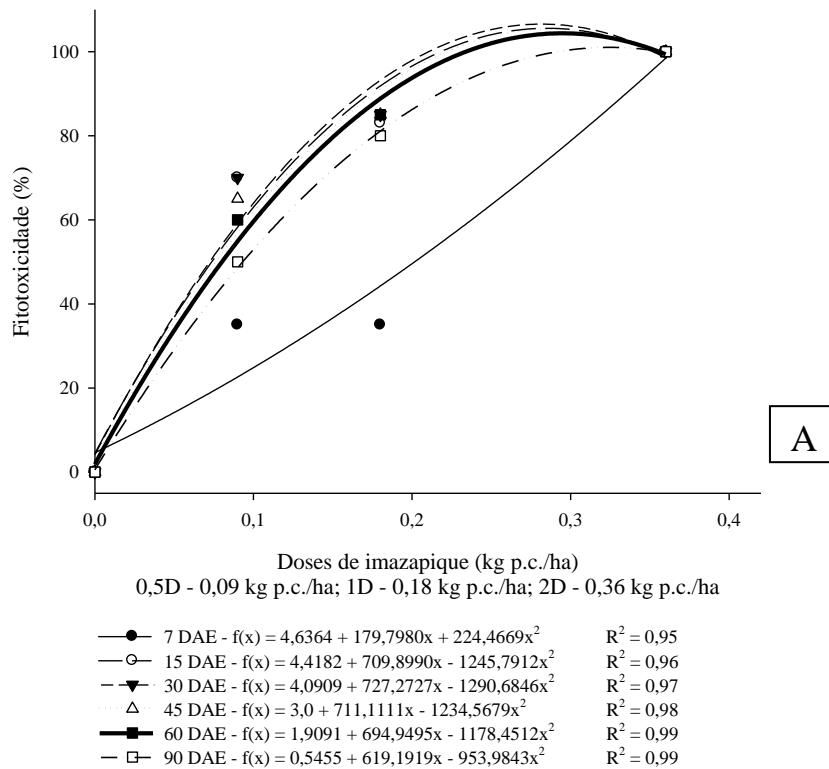
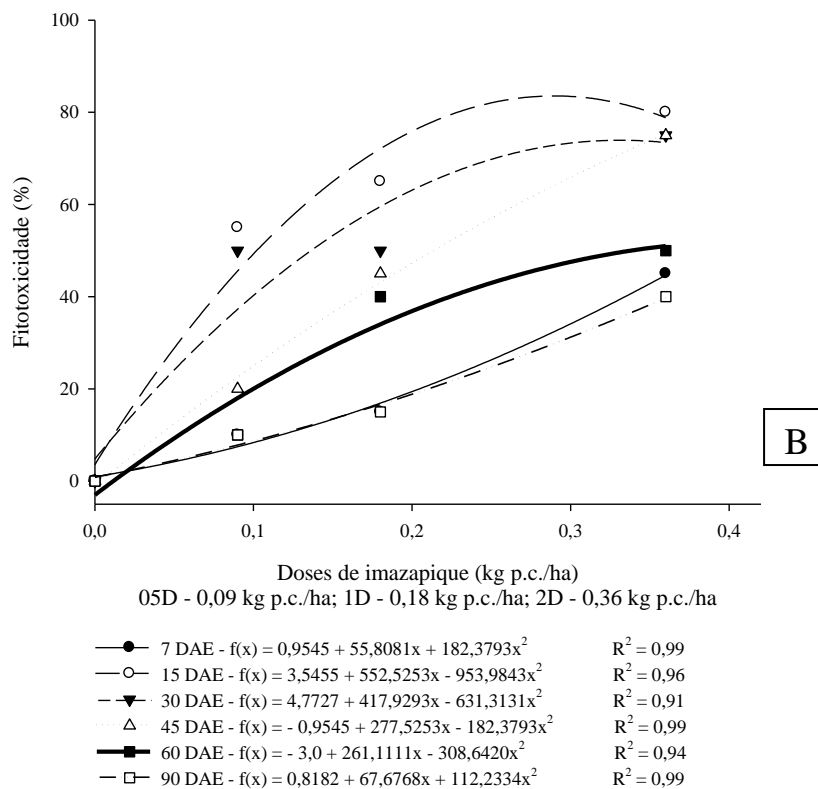
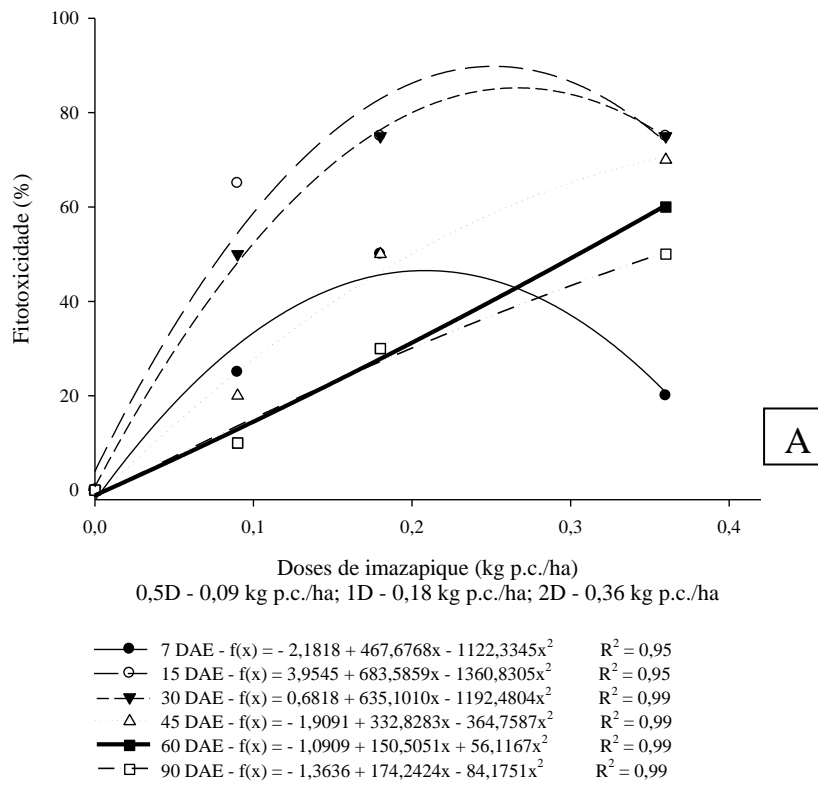


Figura 16. Curvas dose-resposta do herbicida imazapique aplicado nas cultivares RB975952 (A) e RB985476 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE



Em relação à altura das plantas quando aplicado imazapique, somente com 7 DAE não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos. Aos 15 DAE, com o tratamento 0,5D observou-se menor tamanho de planta em RB975157 com 0,8 cm, e o maior para RB867515 com 6,5 cm de altura. Com a dose recomendada (1D), não houve diferenças entre as cultivares, já com 2D a cultivar RB975952 diferiu de quase todas as outras cultivares (7,7 cm), exceto da RB835054 que apresentou 4,0 cm de altura. Fazendo a comparação das doses, as cultivares que mais diferiram de suas testemunhas foram RB975157, RB975952 e RB985476 (Tabela 14).

Na avaliação de 30 DAE, a menor altura verificada manteve-se com a cultivar RB975157, com valor de 1,3 cm, e a maior foi em RB985476 (9,0 cm). Com 1D não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos e as testemunhas, porém com 2D a cultivar RB975952 diferiu das outras cultivares (9,5 cm) mas foi semelhante a RB835054 (4,0 cm).

Aos 45 DAE, as maiores diferenças numéricas obtidas com o tratamento 0,5D foram entre a RB975157 (1,2 cm) e RB975952 e RB985476 (7,8 e 9,8 cm, respectivamente). A dose comercial não apresentou diferenças estatísticas e com a utilização do tratamento 2D a cultivar RB975952 apresentou o maior crescimento (10,3 cm) em relação a RB855156 (3,0 cm) e RB975157 e RB975201 (0 cm). Aos 60 DAE somente com a maior dose ocorreram diferenças significativas entre as cultivares e com mesmo comportamento que no período anterior: RB975952 apresentou maior altura (12,5 cm) do que as demais e diferiu de RB855156 (3,5 cm) e de RB975157 e RB975201 (0 cm). Na última avaliação, as diferenças ocorreram com os tratamentos 1D e 2D, sendo na primeira a RB975157 apresentou menor altura (6,8 cm) que as demais diferindo de RB855156 que teve 19,2 cm; e na maior dose a RB975952 apresentou 19,0 cm enquanto que RB855156 teve apenas 5,5 cm.

Tabela 14 – Efeito do herbicida imazapique aplicado em diferentes doses sobre a altura (cm) das plantas de cana-de-açúcar

Cultivares	7 DAE				15 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	5,3	4,8	3,0	3,3	5,3 aA	5,7 aA	3,5 aA	4,0 abA
RB 855156	5,0	2,5	4,0	1,2	6,0 aA	3,3 abAB	5,0 aAB	1,5 bB
RB 867515	4,2	5,0	3,0	1,7	6,0 aAB	6,5 aA	3,3 aAB	2,2 bB
RB 966928	4,7	2,2	2,0	1,3	5,0 aA	4,3 abA	2,7 aA	1,7 bA
RB 975157	4,2	0,7	2,3	0	8,7 aA	0,8 bB	2,3 aB	0 bB
RB 975201	4,3	2,8	2,3	0	5,7 aA	5,3 abA	2,7 aAB	0 bB
RB 975952	4,2	2,5	1,8	4,8	8,3 aA	4,2 abBC	3,0 aC	7,7 aAB
RB 985476	4,8	4,5	4,0	1,7	6,7 aA	7,5 aA	4,8 aAB	2,7 bB
DMS (5%)	2,0 Fator 1	1,2 Fator 2	-	-	2,3 Fator 1	1,4 Fator 2	4,7 Coluna	3,9 Linha
CV (%)	51,9				42,6			
Cultivares	30 DAE				45 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	6,5 aA	5,8 abcA	4,0 aA	4,0 abA	7,2 aA	6,8 abA	4,3 aA	4,5 abA
RB 855156	6,3 aA	3,3 bcA	6,7 aA	2,7 bA	7,3 aA	4,3 abA	8,5 aA	3,0 bA
RB 867515	6,7 aA	7,2 abA	3,5 aA	3,0 bA	7,5 aA	7,7 abA	4,0 aA	4,2 abA
RB 966928	5,8 aA	5,8 abcA	4,3 aA	2,8 bA	6,0 aA	6,7 abA	4,8 aA	3,3 bA
RB 975157	10,2 aA	1,3 cB	3,3 aB	0 bB	11,5 aA	1,2 bB	3,5 aB	0 bB
RB 975201	7,3 aA	6,0 abcA	4,0 aAB	0 bB	9,3 aA	6,7 abA	5,8 aA	0 bB
RB 975952	9,5 aA	5,8 abcA	5,7 aA	9,5 aA	10,2 aA	7,8 aA	6,2 aA	10,3 aA
RB 985476	8,0 aAB	9,0 aA	5,3 aAB	3,5 bB	9,3 aA	9,8 aA	5,7 aA	4,7 abA
DMS (5%)	2,8 Fator 1	1,7 Fator 2	5,7 Coluna	4,8 Linha	3,3 Fator 1	2,0 Fator 2	6,6 Coluna	5,5 Linha
CV (%)	42,3				42,7			
Cultivares	60 DAE				90 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	8,5 aA	9,8 aA	6,8 aA	4,5 abA	18,0 aA	16,2 aA	10,2 abA	11,8 abA
RB 855156	12,0 aA	8,5 aAB	12,3 aA	3,5 bB	20,3 aA	12,8 aAB	19,2 aA	5,5 bcB
RB 867515	9,5 aA	10,3 aA	4,8 aA	5,0 abA	17,3 aA	16,7 aA	8,2 abA	8,5 abcA
RB 966928	8,8 aA	9,7 aA	6,2 aA	5,2 abA	15,8 aA	15,0 aA	9,3 abA	7,2 bcA
RB 975157	13,5 aA	3,5 aB	4,5 aB	0 bB	19,8 aA	8,2 aB	6,8 bB	0 cB
RB 975201	11,8 aA	8,0 aA	7,8 aA	0 bB	13,8 aA	8,8 aAB	7,8 abAB	0 cB
RB 975952	11,5 aA	11,2 aA	7,8 aA	12,5 aA	18,3 aA	16,5 aA	11,5 abA	19,0 aA
RB 985476	9,7 aA	11,7 aA	9,3 aA	7,3 abA	16,2 aA	15,7 aA	15,2 abA	9,7 abcA
DMS (5%)	4,4 Fator 1	2,6 Fator 2	8,8 Coluna	7,4 Linha	5,9 Fator 1	3,5 Fator 2	11,7 Coluna	9,9 Linha
CV (%)	43,1				36,7			

Letras iguais minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

DAE: Dias Após a Emergência; DMS: Fator 1 – referente às médias do fator cultivares; Fator 2 – referente às médias do fator doses; Coluna – referente às colunas; Linha – referente às linhas.

Para a área foliar, com a dose comercial, a RB855156 apresentou valor de 203,7 cm² enquanto a RB975157 produziu 26,8 cm². Já com a dose 2D a cultivar RB975952 apresentou 241,6 cm² e as cultivares RB975157 e RB975201 não apresentaram área foliar (ausência de planta). Em relação à biomassa seca, com a dose de 0,5D, a RB867515 apresentou o maior valor, de 4,5 g, e a RB975157 a menor produção, com 1,2 g. Com a aplicação da dose recomendada o maior valor de massa seca observada foi de 4,3 g na cultivar RB855156 e o menor foi de 0,8 g na RB975157. Com a dose 2D, a RB975952 apresentou 4,5 g enquanto que a RB855156 teve 1,0 g. Comparando as doses, as cultivares apresentaram diferenças significativas de suas testemunhas, principalmente para a cultivar RB855156 e RB975157, enquanto que somente as cultivares RB966928 e RB985476 não apresentaram diferenças estatísticas (Tabela 15).

Tabela 15. Análises de área foliar (cm²) e biomassa seca da parte aérea das plantas (g) das diferentes cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao imazapique aos 90 DAE

Cultivares	Imazapique							
	Área Foliar (cm ²)				Biomassa seca (g)			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	220,4	228,7	101,9	156,6	4,8 abA	3,4 abAB	1,7 abB	2,0 abB
RB 855156	310,5	168,9	203,7	50,0	6,8 aA	3,4 abBC	4,3 aAB	1,0 bC
RB 867515	220,4	239,4	68,3	66,4	4,4 abA	4,5 aA	1,4 abB	1,4 abB
RB 966928	127,2	177,2	66,7	70,0	3,2 bA	3,2 abA	1,5 abA	1,3 abA
RB 975157	254,4	59,3	26,8	0	6,4 abA	1,2 bB	0,8 bB	0 bB
RB 975201	217,4	111,2	76,4	0	3,3 bA	2,0 abAB	1,1 abAB	0 bB
RB 975952	192,9	203,0	111,0	241,6	3,7 abAB	3,1 abAB	1,6 abB	4,5aA
RB 985476	287,0	233,0	252,0	153,9	4,3 abA	3,5 abA	2,9 abA	2,4 abA
DMS (5%)	99,3	59,2	-	-	1,6	1,0	3,2	2,7
	Fator 1	Fator 2			Fator 1	Fator 2	Coluna	Linha
CV (%)	50,7				50,7			

Letras iguais minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

DAE: Dias Após a Emergência; DMS: Fator 1 – referente às médias do fator cultivares; Fator 2 – referente às médias do fator doses; Coluna – referente às colunas; Linha – referente às linhas.

Aplicação do herbicida metsulfurom-metílico nas cultivares de cana-de-açúcar

Quando aplicado o herbicida metsulfurom-metílico, o efeito fitotóxico nas cultivares foi menor em todos os tratamentos, não apresentando diferenças significativas nos diferentes períodos, exceto aos 45 DAE, em que RB855156 foi a mais sensível entre as cultivares, atingindo valores de 55,0% com 0,5D e 63,3% com 1D. No tratamento 2D, todas as cultivares apresentaram resultados de fitotoxicidade menores que 27,0%. Em relação às doses neste mesmo período, destaca-se o comportamento de RB975952, a qual apresentou 11,7% e 46,7% nos tratamentos 0,5D e 1D, respectivamente (Tabela 16).

Tabela 16. Porcentagem de fitotoxicidade pelo herbicida metsulfurom-metílico nas diferentes cultivares de cana-de-açúcar aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.

Cultivares	7 DAE				15 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	0	0	0	0	0	0	15,0	25,0
RB 855156	0	0	0	0	0	5,0	26,7	28,3
RB 867515	0	0	11,7	0	0	35,0	21,7	51,7
RB 966928	0	45,0	0	0	0	45,0	21,7	45,0
RB 975157	0	1,7	1,7	6,7	0	16,7	56,7	46,7
RB 975201	0	5,0	0	11,7	0	33,3	16,7	51,7
RB 975952	0	11,7	33,3	1,7	0	55,0	51,7	20,0
RB 985476	0	0	0	1,7	0	41,7	50,0	48,3
DMS (5%)	18,9 Fator 1	11,3 Fator 2	-	-	26,6 Fator 1	15,9 Fator 2	-	-
CV (%)	359,5				82,4			
Cultivares	30 DAE				45 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	0	10,0	16,7	13,3	0 aA	0 bA	10,0 bcA	6,7 aA
RB 855156	0	46,7	50,0	31,7	0 aC	55,0 aAB	63,3 aA	26,7 aBC
RB 867515	0	13,3	8,3	6,7	0 aA	11,7 bA	0 cA	0 aA
RB 966928	0	45,0	23,3	30,0	0 aA	33,3 abA	1,7 cA	21,7 aA
RB 975157	0	16,7	48,3	31,7	0 aA	5,0 bA	15,0 bcA	20,0 aA
RB 975201	0	0	13,3	18,3	0 aA	0 bA	0 cA	8,3 aA
RB 975952	0	25,0	48,3	10,0	0 aB	11,7 bB	46,7 abA	0 aB
RB 985476	0	20,0	26,7	31,7	0 aA	0 bA	5,0 cA	6,7 aA
DMS (5%)	25,5 Fator 1	15,2 Fator 2	-	-	20,0 Fator 1	11,9 Fator 2	40,0 Coluna	33,8 Linha
CV (%)	109,2				143,8			
Cultivares	60 DAE				90 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	0	0	3,3	0	0	0	5,0	0
RB 855156	0	20,0	43,3	3,3	0	6,7	10,0	13,3
RB 867515	0	8,3	0	0	0	5,0	0	0
RB 966928	0	33,3	0	18,3	0	35,0	0	23,3
RB 975157	0	0	5,0	5,0	0	1,7	6,7	5,0
RB 975201	0	0	0	10,0	0	0	0	13,3
RB 975952	0	6,7	33,3	0	0	8,3	33,3	5,0
RB 985476	0	6,7	0	6,7	0	1,7	0	3,0
DMS (5%)	20,9 Fator 1	12,5 Fator 2	-	-	20,0 Fator 1	11,9 Fator 2	-	-
CV (%)	257,8				283,8			

Letras iguais minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

DAE: Dias Após a Emergência; DMS: Fator 1 – referente às médias do fator cultivares; Fator 2 – referente às médias do fator doses; Coluna – referente às colunas; Linha – referente às linhas.

Para as curvas de dose-resposta com o metsulfurom-metílico, a cultivar RB835054 apresentou baixa fitotoxicidade nas doses testadas, e somente aos 15 DAE os valores tiveram um aumento, principalmente na dose 2D (30%). Aos 90 DAE as plantas se recuperaram e apresentaram valores menores de 20% de fitotoxicidade mesmo com a dose mais alta (Figura 17A). Em relação a RB855156, ela sofreu maiores injúrias ao produto aos 30 e 45 DAE, com aproximadamente 40% de fitotoxicidade, mas as plantas se recuperaram e aos 90 DAE os valores foram abaixo de 20% para as doses testadas (Figura 17B).

A cultivar RB867515 foi bastante tolerante ao produto, sendo que somente com 15 DAE a sensibilidade foi um pouco maior (30%), mas a avaliação de 90 DAE foi a que apresentou os menores valores de fitotoxicidade, abaixo de 15% (Figura 18A). Já a cultivar RB966928, aos 15 e 30 DAE apresentaram mais sintomas de fitotoxicidade desde a dose de 0,5D. Aos 90 DAE as plantas tiveram uma leve recuperação, apresentando aproximadamente 20% de fitotoxicidade com a dose 2D (Figura 18B).

A cultivar RB975157 apresentou alta fitotoxicidade ao herbicida aos 15 DAE, e nota-se que aos 30 DAE começa a ocorrer uma redução neste valor. Aos 90 DAE, as plantas se recuperaram, com valores abaixo de 10% de fitotoxicidade até a dose 2D (Figura 19A). Para a RB975201 e a RB975952 também se pode observar este comportamento, em que nas primeiras épocas de avaliação a fitotoxicidade é maior, principalmente aos 15 DAE, mas as plantas se recuperaram bem e aos 90 DAE a fitotoxicidade foi muito baixa (Figuras 19B e 20A, respectivamente). A RB985476 apresentou fitotoxicidade bastante elevada aos 15 DAE e redução de injúrias aos 30 DAE, recuperando-se bem e, aos 90 DAE, a fitotoxicidade foi praticamente zero (0%) (Figura 20B).

Figura 17. Curvas dose-resposta do herbicida metsulfurom-metilico aplicado nas cultivares RB835054 (A) e RB855156 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE

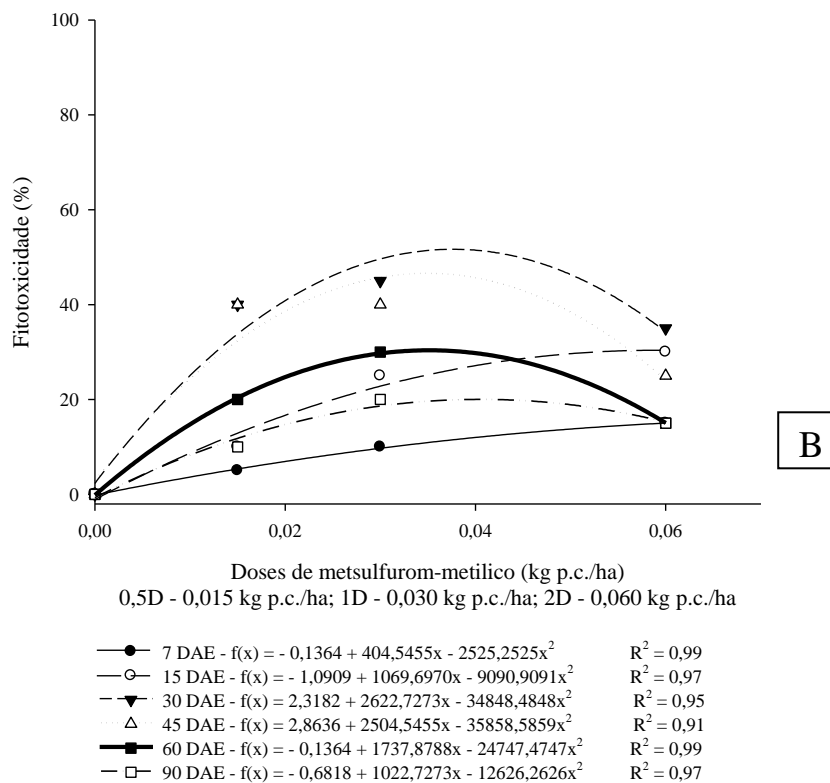
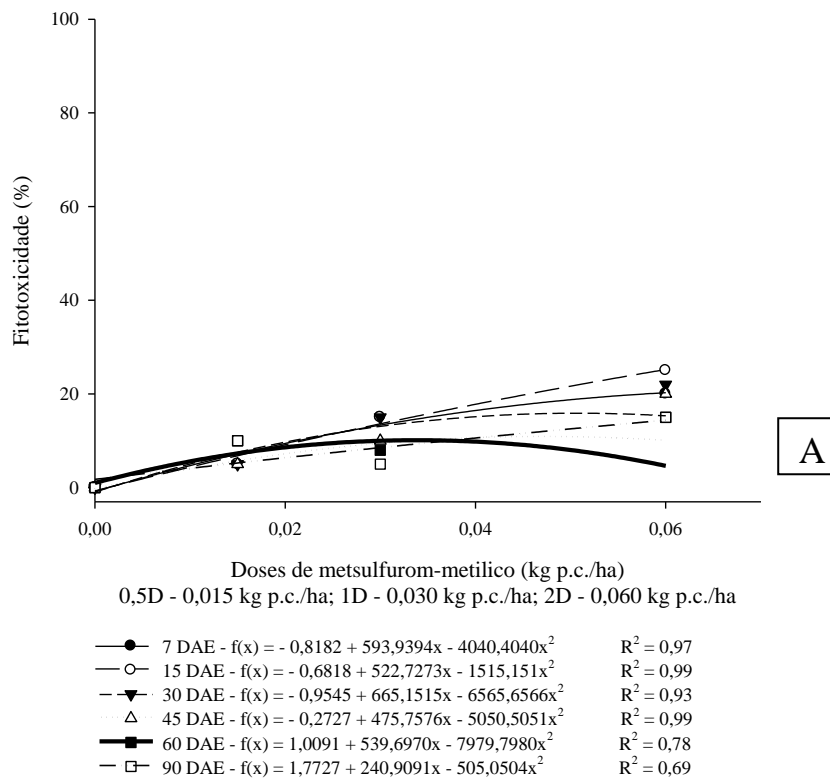


Figura 18. Curvas dose-resposta do herbicida metsulfurom-metilico aplicado nas cultivares RB867515 (A) e RB966928 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE

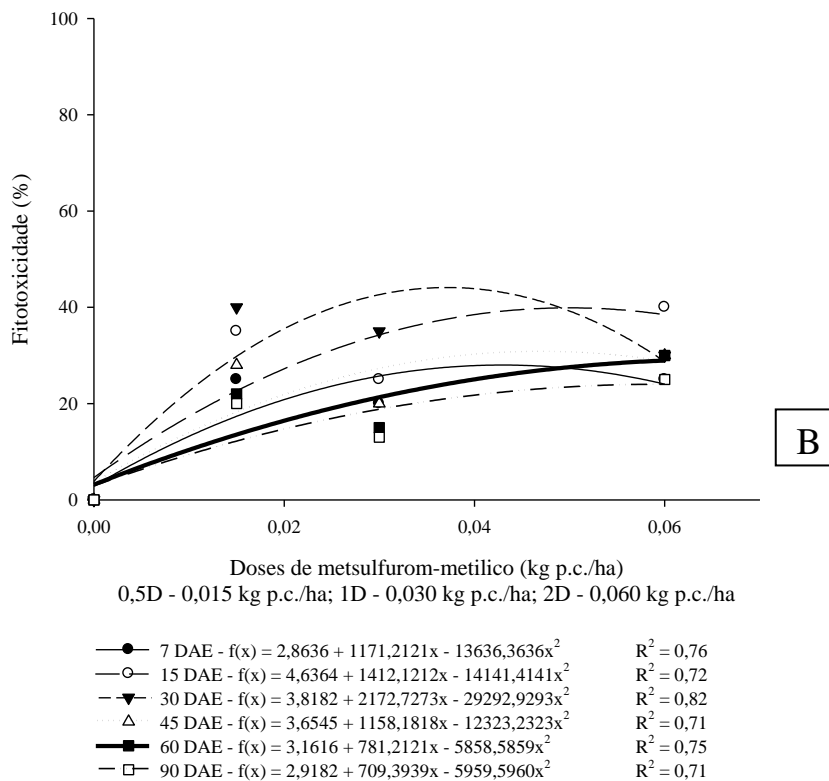
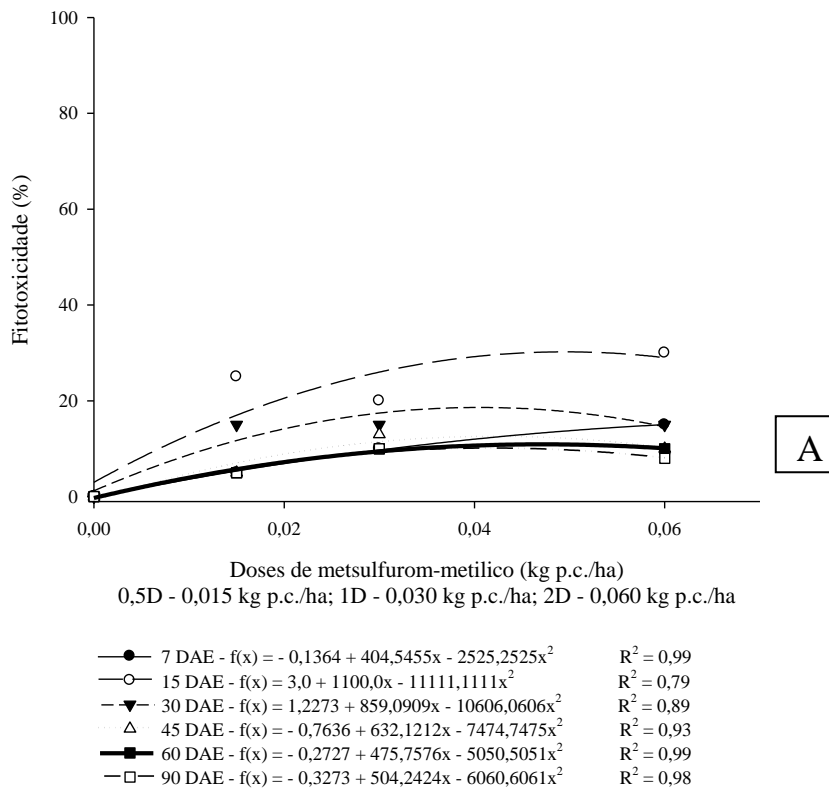


Figura 19. Curvas dose-resposta do herbicida metsulfurom-metilico aplicado nas cultivares RB975157 (A) e RB975201 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE

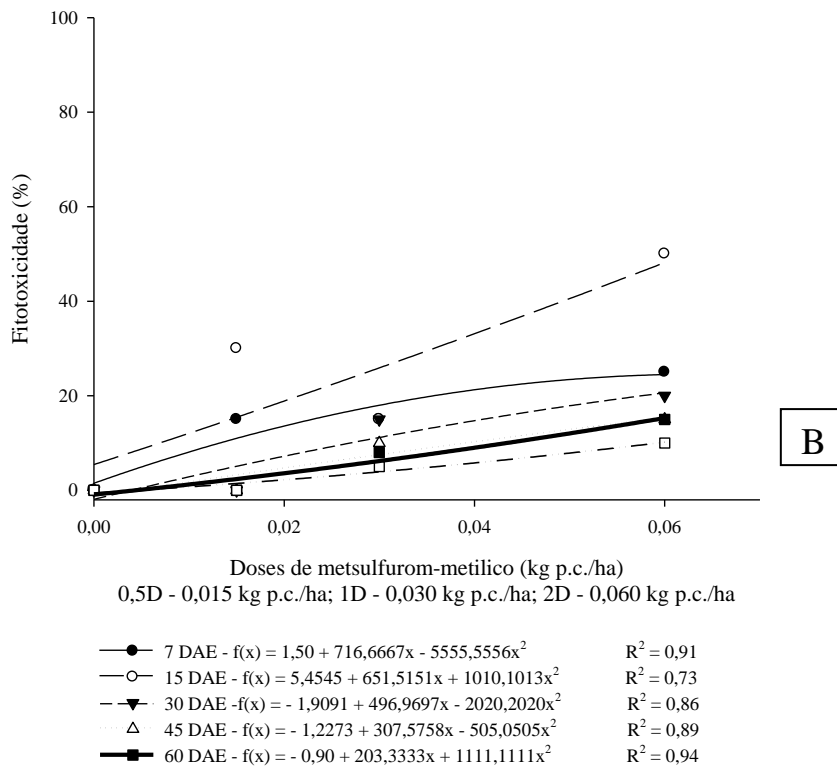
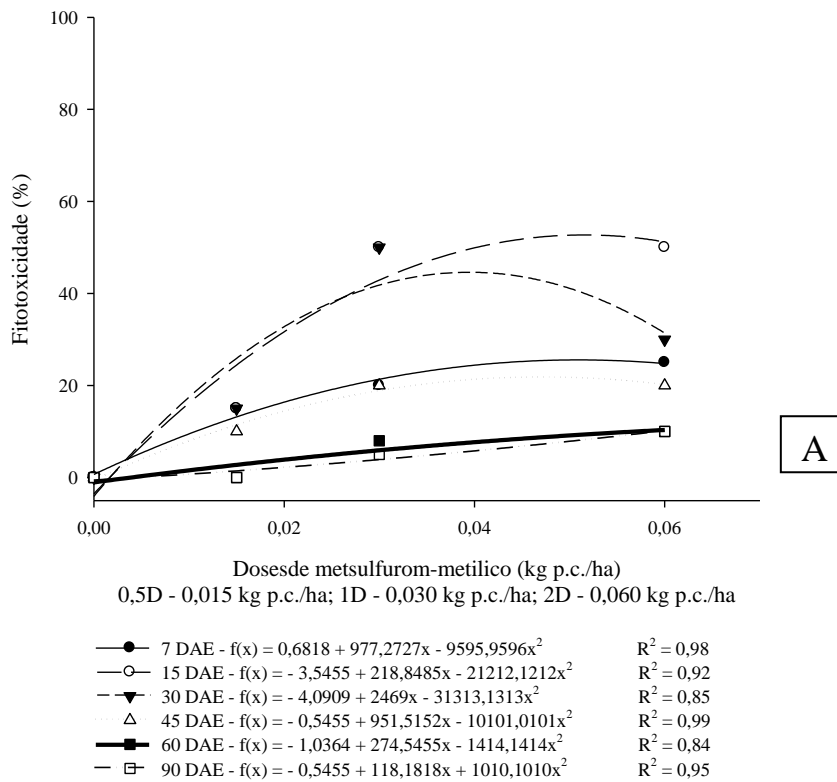
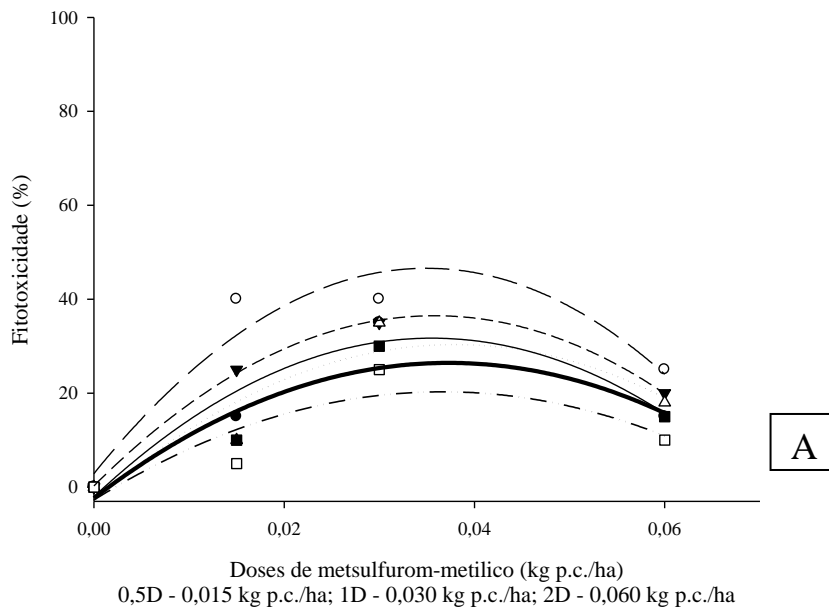
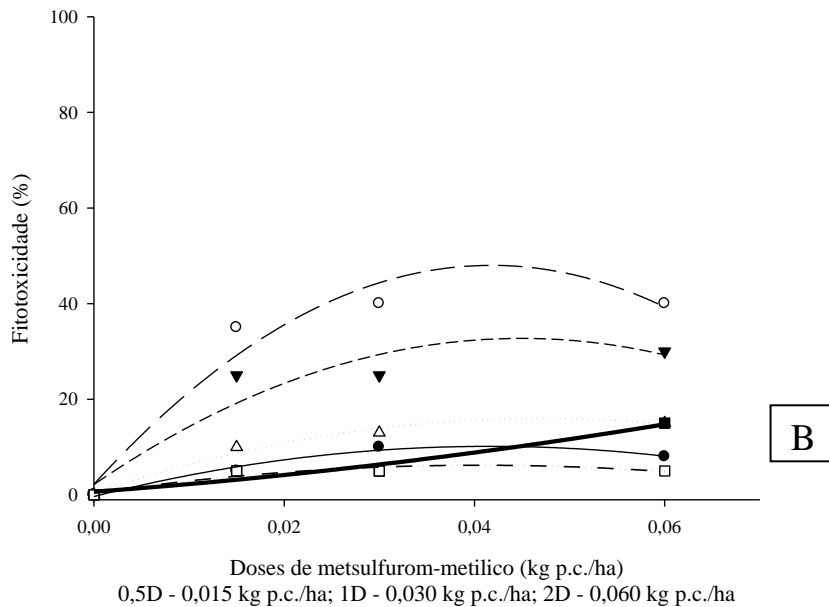


Figura 20. Curvas dose-resposta do herbicida metsulfurom-metilico aplicado nas cultivares RB975952 (A) e RB985476 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE



- 7 DAE - $f(x) = -2,0455 + 1901,5152x - 26767,6768x^2$ $R^2 = 0,92$
- 15 DAE - $f(x) = 2,8636 + 2504,5455x - 35858,5859x^2$ $R^2 = 0,91$
- ▼ 30 DAE - $f(x) = 0,2727 + 2024,2424x - 28282,8283x^2$ $R^2 = 0,99$
- △ 45 DAE - $f(x) = -3,0545 + 1761,8182x - 23232,3232x^2$ $R^2 = 0,83$
- 60 DAE - $f(x) = -2,3182 + 1543,9394x - 20707,0707x^2$ $R^2 = 0,86$
- 90 DAE - $f(x) = -2,7273 + 1257,5758x - 17171,7172x^2$ $R^2 = 0,74$



- 7 DAE - $f(x) = -0,3273 + 504,2424x - 6060,6061x^2$ $R^2 = 0,98$
- 15 DAE - $f(x) = 2,1818 + 2193,9394x - 26262,6263x^2$ $R^2 = 0,95$
- ▼ 30 DAE - $f(x) = 2,1818 + 1360,6061x - 15151,5152x^2$ $R^2 = 0,89$
- △ 45 DAE - $f(x) = 0,4636 + 657,8788x - 6969,6970x^2$ $R^2 = 0,98$
- 60 DAE - $f(x) = 0,6818 + 143,9394x + 1515,1515x^2$ $R^2 = 0,95$
- 90 DAE - $f(x) = 0,4091 + 286,3636x - 3535,3535x^2$ $R^2 = 0,89$

Para o herbicida metsulfurom-metílico não ocorreram diferenças estatísticas entre os tratamentos nas avaliações de crescimento das plantas. Além disso, aos 90 DAE, observa-se que realmente os resultados estão muito próximos de suas respectivas testemunhas para todas as cultivares, e elas apresentaram bom crescimento mesmo com a aplicação do produto nas doses testadas (Tabela 17).

Na tabela 18 estão apresentados os dados de área foliar e biomassa seca das plantas em relação ao metsulfurom-metílico. Não foram verificadas diferenças estatísticas quanto à área foliar, apesar das diferenças numéricas como com a dose 0,5D, em que a cultivar RB867515 produziu 300,8 cm² e a RB966928 com 78,3 cm² de área foliar. Também não houve diferenças estatísticas entre os dados de biomassa seca, confirmando o comportamento regular das plantas sob aplicação das doses testadas no experimento, da mesma forma já verificada em relação à fitotoxicidade e altura das plantas.

Tabela 17. Efeito do herbicida metsulfurom-metílico aplicado em diferentes doses sobre a altura (cm) das plantas de cana-de-açúcar

Cultivares	7 DAE				15 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	5,3	4,7	5,3	6,0	5,8	5,2	6,5	6,5
RB 855156	5,0	4,5	4,2	4,2	6,0	4,8	4,0	4,2
RB 867515	4,2	4,7	4,3	4,7	6,0	7,0	6,5	5,2
RB 966928	4,7	2,3	3,5	2,8	5,0	3,7	4,5	4,7
RB 975157	4,2	4,5	3,2	2,8	8,6	8,5	6,7	5,2
RB 975201	0,3	3,5	4,5	3,8	5,6	7,0	6,7	5,7
RB 975952	4,2	4,3	3,0	4,8	8,3	6,3	4,3	7,3
RB 985476	4,8	5,0	6,0	4,5	6,7	6,2	7,0	5,5
DMS (5%)	1,8 Fator 1	1,1 Fator 2	-	-	2,3 Fator 1	1,4 Fator 2	-	-
CV (%)	33,0				29,7			
Cultivares	30 DAE				45 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	6,5	5,7	7,2	7,0	7,2	6,2	7,7	7,7
RB 855156	6,3	6,8	4,8	5,5	7,3	7,2	5,2	7,5
RB 867515	6,7	7,3	9,2	7,8	7,5	8,0	9,8	8,3
RB 966928	5,8	4,8	6,3	5,3	6,0	4,5	7,2	6,0
RB 975157	10,2	10,5	8,5	7,5	11,5	11,3	10,3	10,2
RB 975201	7,3	10,3	10,2	9,3	9,3	11,2	9,8	11,0
RB 975952	9,5	7,7	5,0	8,3	10,2	9,5	5,5	10,2
RB 985476	8,0	6,7	8,8	6,8	9,3	8,5	10,5	8,0
DMS (5%)	2,6 Fator 1	1,5 Fator 2	-	-	2,4 Fator 1	1,4 Fator 2	-	-
CV (%)	27,0				22,4			
Cultivares	60 DAE				90 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	8,5	8,2	8,2	9,3	18,0	15,7	15,5	14,8
RB 855156	12,0	8,5	7,0	13,0	20,3	18,0	14,7	17,0
RB 867515	9,5	10,3	11,5	10,0	17,3	16,2	20,7	15,5
RB 966928	8,8	6,2	9,7	8,7	15,8	10,3	17,8	14,8
RB 975157	13,5	13,0	13,7	14,5	19,8	19,3	17,5	16,5
RB 975201	11,8	14,7	13,3	11,7	13,8	17,8	16,3	14,2
RB 975952	11,5	11,8	7,8	12,8	18,3	18,0	13,5	17,7
RB 985476	9,7	10,5	11,2	9,8	16,2	17,0	16,7	15,5
DMS (5%)	3,5 Fator 1	2,1 Fator 2	-	-	5,0 Fator 1	3,0 Fator 2	-	-
CV (%)	25,6				23,6			

DAE: Dias Após a Emergência; DMS: Fator 1 – referente às médias do fator cultivares; Fator 2 – referente às médias do fator doses.

Tabela 18. Análises de área foliar (cm²) e biomassa seca da parte aérea das plantas (g) das diferentes cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao metsulfurom-metílico aos 90 DAE

Cultivares	Metsulfurom-metílico							
	Área Foliar (cm ²)				Biomassa seca (g)			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 835054	220,4	206,2	213,2	132,4	4,8	3,6	3,8	3,3
RB 855156	310,5	196,4	155,4	120,3	6,8	3,8	3,0	2,8
RB 867515	220,4	300,8	334,1	242,4	4,4	4,8	6,7	4,1
RB 966928	127,2	78,3	193,7	175,3	3,2	1,8	4,1	1,9
RB 975157	254,4	234,5	271,5	151,9	6,4	5,0	5,9	4,9
RB 975201	217,4	224,3	212,9	159,6	3,3	3,8	4,2	3,1
RB 975952	192,9	208,1	228,5	240,8	3,7	3,2	3,5	4,0
RB 985476	287,0	328,1	257,2	206,7	4,3	3,9	4,5	3,3
DMS (5%)	111,3	66,3	-	-	1,9	1,1	-	-
	Fator 1	Fator 2			Fator 1	Fator 2		
CV (%)	40,3				35,7			

DAE: Dias Após a Emergência; DMS: Fator 1 – referente às médias do fator cultivares; Fator 2 – referente às médias do fator doses.

Schiavetto et al. (2012) testaram a seletividade de vários herbicidas a oito cultivares de cana-de-açúcar, aplicados em pós-emergência inicial e verificaram que as cultivares foram tolerantes as associações de herbicidas sulfentrazone+diurom+hexazinona, metsulfurom-metílico+sulfentrazone, diurom+hexazinona+clomazone, metribuzim+diurom+hexazinona, diurom+hexazinona+MSMA e ametrina+trifloxissulfurom-sódio+diurom+hexazinona, sem prejuízo final da produtividade e da qualidade da matéria-prima, embora ocorram diferenças iniciais entre cultivares quanto a sintomas de intoxicação, teor de clorofila e altura das plantas.

Aplicação do herbicida diurom nas cultivares de cana-de-açúcar

Os resultados de fitotoxicidade ao herbicida diurom estão apresentados na tabela 19. Não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre todos os tratamentos e em todas as épocas de avaliação. Contudo, quando se compara os resultados numéricos, verifica-se que a cultivar RB867515 foi mais sensível a este produto do que as demais cultivares, apresentando maior clorose nas folhas.

De acordo com Velini et al. (2000a), que avaliou a intoxicação de diferentes doses da mistura de oxifluorfem+ametrina em pré e pós-emergência de 10 cultivares de cana-de-açúcar, os sintomas ocasionados às plantas foi devido ao oxifluorfem (inibidor

da PROTOX), não verificando sintomas característicos de intoxicação por ametrina (inibidor do FSII). Os autores também avaliaram que as plantas foram mais sensíveis quando a aplicação destes produtos foi em pós-emergência, e que na brotação das plantas, a passagem pelo solo contendo os herbicidas aplicados em pré-emergência foi de baixa importância de absorção.

Tabela 19. Porcentagem de fitotoxicidade pelo herbicida diurom nas diferentes cultivares de cana-de-açúcar aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE.

Cultivares	7 DAE				15 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 867515	0	0	0	20	0	0	21,7	25
RB 975157	0	3,3	16,7	3,3	0	13,3	11,7	5
RB 985476	0	16,7	1,7	0	0	13,3	6,7	8,3
DMS (5%)	14,5 Fator1	18,5 Fator 2	-	-	16,8 Fator1	21,5 Fator 2	-	-
CV (%)	277,58				188,80			
Cultivares	30 DAE				45 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 867515	0	0	0	0	0	0	10	10
RB 975157	0	3,3	6,7	5	0	11,7	6,7	8,3
RB 985476	0	16,7	0	5	0	6,7	18,3	1,7
DMS (5%)	6,2 Fator 1	8,0 Fator 2	-	-	9,8 Fator1	12,5 Fator 2	-	-
CV (%)	200,41				156,7			
Cultivares	60 DAE				90 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 867515	0	38,3	25	28,3	0	1,7	0	0
RB 975157	0	15,0	1,7	10,0	0	1,7	0	1,7
RB 985476	0	15,0	6,7	10,0	0	0	5	0
DMS (5%)	8,6 Fator1	11,0 Fator 2	-	-	2,9 Fator1	3,8 Fator 2	-	-
CV (%)	67,7				346,4			

DAE: Dias Após a Emergência; DMS: Fator 1 – referente às médias do fator cultivares; Fator 2 – referente às médias do fator doses.

Em seu estudo, Oliveira, Gregori e Paranhos (1966) fizeram aplicação de diurom em pré e pós-emergência da cana-de-açúcar, isolado e em mistura com 2,4-D amina, e verificaram que ocorreu um controle satisfatório das plantas daninhas presentes na área de estudo e não houve problemas quanto a fitotoxicidade da cana. Além disso,

verificaram que os tratamentos com aplicação em pré-emergência apresentaram melhores resultados em relação ao de pós.

Nas curvas de dose-resposta com o diurom pode-se observar que as três cultivares foram tolerantes ao produto. A cultivar RB867515 apresentou baixa fitotoxicidade nas doses testadas e somente aos 60 DAE os valores foram mais elevados, mas aos 90 DAE as plantas se recuperaram e apresentaram valores menores de 10% de fitotoxicidade mesmo com a dose mais alta (Figura 21). As cultivares RB975157 e RB985476 apresentaram fitotoxicidade muito baixa, com maiores valores aos 7 e 15 DAE e 45 DAE, respectivamente, porém todos estes foram abaixo de 20% de fitotoxicidade (Figuras 22A e 22B, respectivamente), com recuperação das plantas aos 90 DAE.

Figura 21. Curvas dose-resposta do herbicida diurom aplicado na cultivar RB867515 nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE

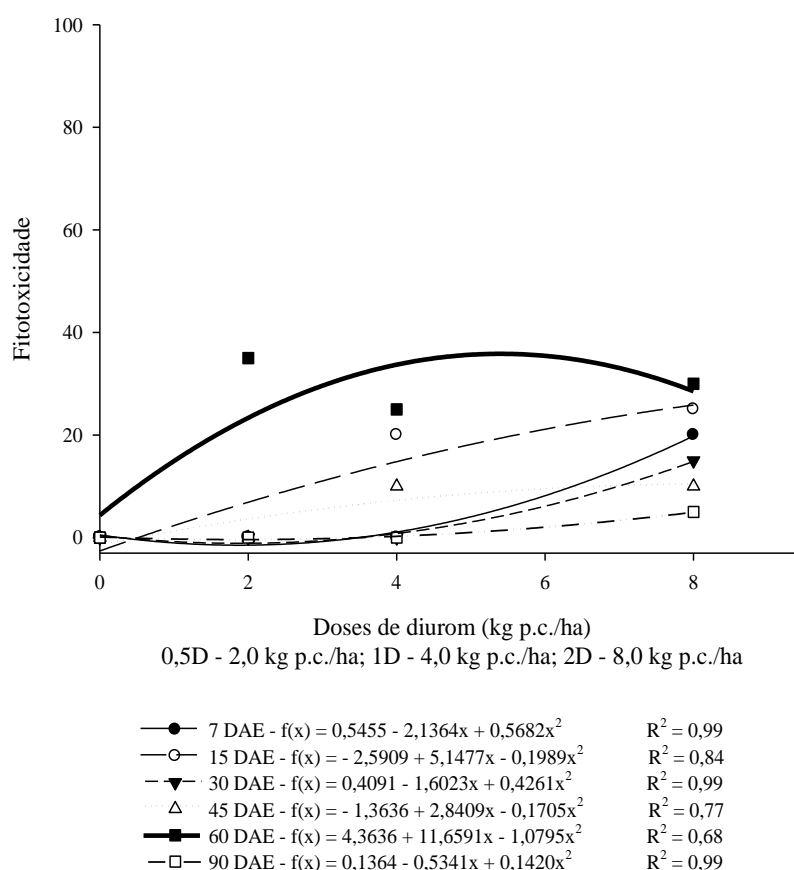
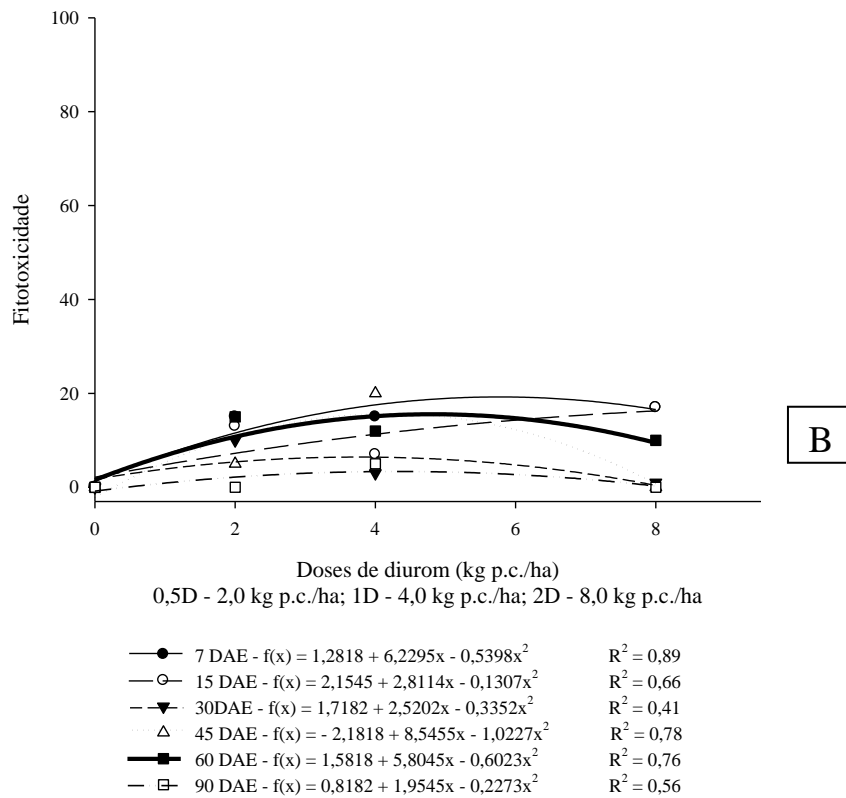
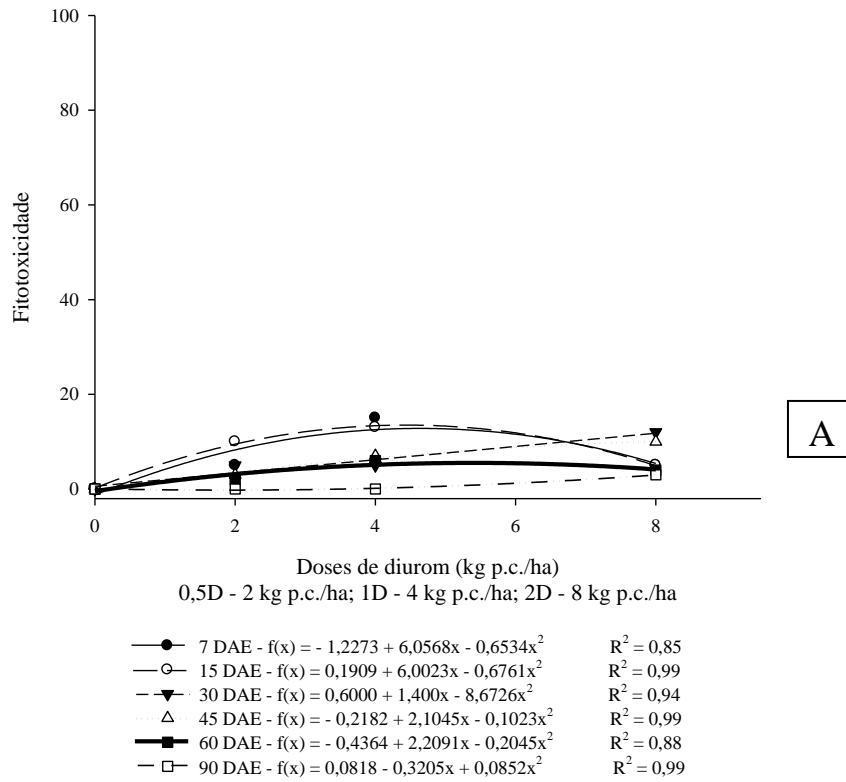


Figura 22. Curvas dose-resposta do herbicida diurom aplicado nas cultivares RB975157 (A) e RB985476 (B) nas doses testadas aos 7, 15, 30, 45, 60 e 90 DAE



Em relação à altura das plantas (tabela 20), não houve diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, apesar de que a cultivar RB985476 apresentou os menores valores entre todas as plantas. Este comportamento deve-se ao fato desta cultivar ter como característica própria o desenvolvimento e crescimento iniciais mais lentos, o qual não está relacionado diretamente com o herbicida. Ao final dos 90 DAE, estas plantas se apresentaram bastante semelhantes às plantas das outras cultivares.

Tabela 20. Efeito do herbicida diurom aplicado em diferentes doses sobre a altura (cm) das plantas de cana-de-açúcar

Cultivares	7 DAE				15 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 867515	6,0	7,0	7,3	4,7	8,5	8,7	8,2	7,7
RB 975157	8,7	7,0	7,0	8,5	10,0	8,0	9,0	8,5
RB 985476	4,0	4,7	3,7	3,8	4,5	5,5	4,3	5
DMS (5%)	1,9 Fator 1	2,4 Fator 2	-	-	1,4 Fator 1	1,7 Fator 2	-	-
CV (%)	30,57				18,22			
Cultivares	30 DAE				45 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 867515	11,0	10,0	8,5	10,2	12,3	12,0	11,0	12,3
RB 975157	10,7	9,3	10,0	9,5	11,3	8,0	10,3	10,2
RB 985476	5,3	5,8	5,2	5,7	5,8	6,2	6,2	7,3
DMS (5%)	1,2 Fator 1	1,5 Fator 2	-	-	1,5 Fator 1	1,9 Fator 2	-	-
CV (%)	13,84				15,25			
Cultivares	60 DAE				90 DAE			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 867515	13,5	13,5	12,0	12,8	18,2	18,7	17,2	18,5
RB 975157	12,7	11,2	11,2	10,5	14,3	14,7	15,2	14,5
RB 985476	6,8	6,3	8,2	9,3	9,8	12,3	12,3	13,7
DMS (5%)	1,6 Fator 1	2,1 Fator 2	-	-	2,3 Fator 1	2,9 Fator 2	-	-
CV (%)	14,81				15,0			

DAE: Dias Após a Emergência; DMS: Fator 1 – referente às médias do fator cultivares; Fator 2 – referente às médias do fator doses.

Na tabela 21 observam-se os resultados de área foliar e biomassa seca da parte aérea das plantas. Para ambos os parâmetros não foram verificadas diferenças estatísticas significativas, apesar das diferenças numéricas de área foliar, como na cultivar RB985476, em que a testemunha apresentou valor de 213,4 cm² e no tratamento com 0,5D o valor foi de 431,1 cm².

Tabela 21. Análises de área foliar (cm²) e biomassa seca da parte aérea das plantas (g) das diferentes cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao diurom aos 90 DAE

Cultivares	Diurom							
	Área Foliar (cm ²)				Biomassa seca (g)			
	Doses (D)				Doses (D)			
	0	0,5	1	2	0	0,5	1	2
RB 867515	574,9	407,7	408,3	452,9	13,3	9,0	9,3	9,1
RB 975157	392,2	454,9	437,5	389,2	8,1	10,0	9,0	7,0
RB 985476	213,4	431,1	422,8	383,3	4,2	6,2	6,7	6,9
DMS (5%)	130,4	166,4	-	-	2,2	2,8	-	-
	Fator 1	Fator 2			Fator 1	Fator 2		
CV (%)	30,91				26,4			

DAE: Dias Após a Emergência; DMS: Fator 1 – referente às médias do fator cultivares; Fator 2 – referente às médias do fator doses.

4.4. CONCLUSÃO

A partir destas análises, pode-se concluir:

- As plantas apresentaram maior fitotoxicidade entre 15 e 45 DAE e apresentaram recuperação positiva até os 90 DAE nas doses de 0,5D e 1D.
- A cultivar RB975157, de modo geral, foi a mais sensível, apresentou maiores problemas de emergência e sintomas de fitotoxicidade. Da mesma forma, a RB867515 e a RB966928 mostraram-se medianamente sensíveis aos produtos e doses aplicados, e as cultivares RB975952 e RB985476 foram as que menos apresentaram efeitos dos herbicidas.
- Os herbicidas que causaram maior fitotoxicidade foram o imazapir e o imazapique, e o que causou menores danos às plantas foi o metsulfurometílico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASOCIACIÓN LATINO AMERICANA DE MALEZAS – ALAM. Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas. **ALAM**, v. 1, n. 1, p. 35-38, 1974.

AZANIA, C. A. M.; AZANIA, A. A. P. M. Caderno Técnico: Invasoras: menos invasoras, mais dinheiro. **Cana Cultivar**, v. 79, p. 3-10, 2005.

AZANIA, C. A. M., ROLIM, J. C., CASAGRANDE, A. A., LAVORENTI, N. A.; AZANIA, A. A. P. M. Seletividade de herbicidas. III – aplicação de herbicidas em pós-emergência inicial e tardia da cana-de-açúcar na época da estiagem. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 24, n. 3, p. 489-495, 2006.

AZANIA, C. A. M.; ROLIM, J. C. AZANIA, A. A. P. M.; SCHIAVETTO, A. R.; VANZELA, I. P. Seletividade de herbicidas em cana-de-açúcar. **Energia Brasileira**, ano II, n. 17, p. 56-60, 2008.

AZANIA, C. A. M.; AZANIA, A. A. P. M. Seletividade de Herbicidas. In: MONQUERO, P. A. et al., **Aspectos da Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**, cap.9, p.217-233, 2014.

GALVÃO, L. S.; FORMAGGIO, A. R.; TISOT, D. A. Discriminação de variedades de cana-de-açúcar com dados hiperespectrais do sensor Hyperion/EO-1. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.1, n.57, p.7-14, 2005.

JADOSKI, C. J.; TOPPA, E. V. B.; JULIANETTI, A.; HULSHOF, T.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Fisiologia do desenvolvimento do estágio vegetativo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.3, n.2, p.169-176, 2010.

MARTINS, D.; VELINI, E. D.; NEGRISOLI, E.; MARCHI, S. R.; SILVA, J. R. V. Seletividade do herbicida diclosulam, aplicado em pré e pós-emergência em diversas cultivares de cana-de-açúcar. **Revista de Herbicidas**, v. 4, n. 2, 2005.

MONQUERO, P. A.; BINHA, D. P.; INÁCIO, E. M.; SILVA, P. V. da; AMARAL, L. R. do. Seletividade de herbicidas em variedades de cana-de-açúcar. **Brangantia**, Campinas-SP, v.70, n.2, p.285-293, 2011.

OLIVERIA JR., R. S.; CONSTANTIN, J. **Plantas daninhas e seu manejo**. Guaíba: Agropecuária, p.362, 2001.

OLIVEIRA, H.; GREGORI, R.; PARANHOS, S. B. Experiência com herbicidas empregados a sós e combinados, em aplicações de pré e pós-emergência em cana-de-açúcar. **Sem. Bras. Herb. Ervas Dan.**, n. 7, Sete Lagoas, 1966. **Resumos**.

PROCÓPIO, S.O. et al. **Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar**. Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa, 2003. 150 p.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. L. S. **Guia de herbicidas**. 5. ed. Londrina: Grafmarke, 2005.

ROLIM, J. C.; CHISTOFFOLETI, P. J. Tolerância de variedades de cana-de-açúcar ao herbicida tebuthiuron. Piracicaba: **IAAPlanalsucar**, 1982, p.1-21.

SANTOS, G.; FRANCISCHINI, A. C.; CONSTANTIN, J; OLIVEIRA JR., R. S. *Carryover* proporcionado pelos herbicidas s-metolachlor e trifuralin nas culturas de feijão, milho e soja. **Planta Daninha**, v. 30, n. 4, p. 827-834, 2012.

SCHIAVETTO, A. R.; PERECIN, D.; AZANIA, C. A. M.; ZERA, F. S.; AZANIA, A. A. P. M. LORENZATO, C. M. Tolerância de cana-de-açúcar a herbicidas avaliada pela diferença dos tratamentos. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 30, n. 1, p. 173-184, 2012.

SILVA, A. A. et al. **Biologia e controle de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2005.

SILVA A. A.; SILVA J. F.; FERREIRA L. R.; FERREIRA, F. A. Herbicidas: Absorção, Translocação, Metabolismo, Formulação e Misturas. In: **Tópicos em Manejo de Plantas Daninhas**, p. 118-154, 2007 (b).

TORRES, L. G.; FERREIRA, E. A.; ROCHA, P. R. R.; FARIA, A. T.; GONÇALVES, V. A.; GALON, L.; SILVA, A. F.; SILVA, A. A. Alterações nas características fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar submetida à aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.30, n.3, p.581-587, 2012.

VELINI, E. D.; FREDERICO, L. A.; MORELLI, J. L.; MARUBAIASHI, O. M. Avaliação dos efeitos de doses de herbicida clomazone, aplicado em pós-emergência inicial, sobre crescimento e produtividade de soqueira de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) cv. SP 71-1406. **STAB**, v.10, p.13-16, 1992 (b).

VELINI, E. D.; MARTINS, D.; MANOEL, L. A.; MATSUOKA, S.; TRAVAIN, J. C.; CARVALHO, J. C. Avaliação da seletividade da mistura de oxyfluorfen e ametryne, aplicada em pré ou pós-emergência, a dez variedades de cana-de-açúcar (cana-planta). **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.18, n.1, p.123-134, 2000 (a).

VELINI, E. D.; PAGGIARO, C. M.; PEREIRA, W. S. P. Seletividade de Goal 240 CE aplicado em pós-emergência, à 10 variedades de cana-de-açúcar (cana-soca). In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22, 2000, Foz do Iguaçu. **Resumos...** Foz do Iguaçu: SBCPD, p.298, 2000 (b).

TERRA, M. A. **Seletividade de diclosulam, trifloxysulfuron-sodium e ametryne a variedades de cana-de-açúcar**. 2003. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP, 2003.

VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

VIDAL, R. A. et al. Seletividade de Herbicidas. In: MONQUERO, P. A. et al., **Aspectos da Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**, cap.10, p.236-256, 2014.

ZERA, F. S.; AZANIA, C. A. M.; SCHIAVETTO, A. R.; LORENZATO, C. M.; AZANIA, A. A. M. Seletividade de Herbicidas em Cultivares de Cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27, 2010, Ribeirão Preto-SP. **Resumos...** Ribeirão Preto: SBCPD, 2010, 348p.

5. CAPÍTULO 2

ABSORÇÃO E TRANSLOCAÇÃO DE HERBICIDAS EM CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO

Estudos de absorção e translocação de herbicidas em plantas podem ser realizados através da análise de suas moléculas radiomarcadas, na qual observa-se os locais de acúmulo do produto na planta. No sistema tradicional de cultivo de cana-de-açúcar, um dos herbicidas mais utilizado é o diurom, que é eficaz no controle de plantas daninhas eudicotiledôneas e de baixo potencial de lixiviação no solo. O objetivo deste trabalho foi estudar a absorção e translocação do herbicida diurom radiomarcado em pré e pós-emergência das plantas de cana-de-açúcar. O experimento foi realizado no Laboratório de Ecotoxicologia do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), usando as cultivares RB975157 (sensível), RB985476 (tolerante) e RB867515 (intermediária) e solo argiloso, com delineamento inteiramente casualizado e três repetições. Para o teste em pré-emergência, a camada superficial do solo recebeu ^{14}C -diurom, e avaliou-se a absorção e translocação do herbicida pelas plantas através de autorradiografia e da quantidade de herbicida na água de lavagem, solo e planta (parte aérea, raízes e tolete). Os períodos de avaliação foram 5, 10, 15, 20 e 25 DAE. Em pós-emergência, o ^{14}C -diurom foi aplicado na terceira folha totalmente expandida das plantas, e as avaliações foram feitas a 1, 2, 4, 8, 24 e 48 horas após a aplicação (HAA). Os resultados demonstraram que, em pré-emergência, a cultivar RB975157 apresentou, comparativamente, maiores quantidades de herbicida translocado nos toletes, e em pós-emergência a absorção e translocação via foliar foram semelhantes para as três cultivares. Concluiu-se que quando aplicado o diurom em pré-emergência na cana-de-açúcar, a absorção e translocação nas três cultivares foram muito baixas e o produto ficou retido ao solo, e em pós-emergência a maior parte do diurom não foi absorvido pelas folhas tratadas ao longo de 48h, e a translocação foi mínima para as três cultivares.

5.1. INTRODUÇÃO

A atividade biológica de um herbicida numa planta é função da absorção, da translocação, do metabolismo e da sensibilidade da planta a este produto e/ou a seus metabólitos. O fato das moléculas atingirem as folhas da planta e/ou o solo onde se desenvolve esta planta não é suficiente para que o herbicida exerça a sua ação. É necessário que ele penetre na planta e se transloque para atingir a organela onde irá atuar (SILVA et al., 2007b).

Para a cultura da cana-de-açúcar, a maioria dos herbicidas tem recomendação para ser aplicado em pré-emergência e/ou pós-emergência inicial da cultura e até mesmo das plantas daninhas e, sendo assim, o principal destino da maior parte do produto é o solo (CHRISTOFFOLETI et al., 2009; FRANCINO et al., 2010).

Uma ferramenta utilizada para a avaliação da absorção e da translocação dos herbicidas nas plantas é o sistema de análise com moléculas radiomarcadas, em que é possível observar em que local a molécula está acumulada na planta. De acordo com Devine, Duke e Fedtke (1993), existem várias técnicas para estudar a absorção foliar de herbicidas, devendo-se utilizar a mais adequada quanto aos objetivos experimentais, facilidade do procedimento e disponibilidade de instrumentalização especializada.

Uma das técnicas em que se faz uso do herbicida radiomarcado é a medição da absorção pela aplicação de gotículas do produto radiomarcado nas folhas para determinar a radiação remanescente na superfície foliar em vários intervalos de tempo após a aplicação por meio de lavagem da folha (AL KHATIB; PARKER; FUERST, 1992). Para a absorção radicular, normalmente são usados pedaços de tecidos das raízes imersos numa solução tamponada contendo o herbicida e cria-se um sistema experimental no qual vários fatores (pH, concentração do herbicida, temperatura) podem ser manipulados (Devine et al., 1987 apud MACIEL et al., 2002). Contudo, novas técnicas estão sendo desenvolvidas, como a aplicação do produto radiomarcado diretamente no solo, simulando uma aplicação em pré-emergência da planta, tanto cultura quanto planta daninha.

No sistema tradicional de cultivo de cana-de-açúcar, um dos herbicidas mais utilizados era o diurom, que é eficaz no controle de plantas daninhas dicotiledôneas e de baixa lixiviação no solo. Contudo, com a necessidade de substituir esse sistema que incluía a queima da cana-de-açúcar, passou-se a utilizar o sistema de plantio direto (cana crua), em que não é feita a queima da palha e esta permanece na área formando

uma cobertura sobre o solo. De acordo com Negrisoni et al. (2007), essa camada de palha é uma barreira para o uso de herbicidas aplicados no solo, ou seja, de aplicação pré-emergente. Assim, como o diurom apresenta baixa solubilidade em água, ele é pouco removido da palha e não atinge o solo, o que prejudicou o controle das plantas daninhas (PRADO, 2013), e passou a ser utilizado apenas em mistura com outros produtos.

Atualmente, a palha da cana-de-açúcar passou a ser retirada da área (processo de enleiramento) devido à grande quantidade depositada ao longo das colheitas e porque se viu sua utilidade para produção de energia para as usinas (TORREZAN, 2003). Com a nova alteração nas áreas cultivadas, o comportamento das plantas daninhas é modificado, mudando também a escolha dos produtos aplicados na área. Nestas condições, o diurom volta a ser uma opção viável para o controle destas plantas, uma vez que era um herbicida muito utilizado com aplicação diretamente ao solo (PRADO, 2013).

Portanto, o objetivo do trabalho apresentado neste capítulo foi estudar a absorção e translocação do herbicida diurom através da aplicação de moléculas radiomarcadas em pré e pós-emergência das plantas de cana-de-açúcar.

5.2. MATERIAL E MÉTODOS

Este experimento foi conduzido no Laboratório de Ecotoxicologia do CENA/USP (Centro de Energia Nuclear na Agricultura/Universidade de São Paulo), localizado no município de Piracicaba-SP, nas coordenadas 22°42'30" de latitude Sul e 47°38'00" de longitude Oeste. O clima pela classificação de Koppen é do tipo Cwa, mesotérmico com verões quentes e úmidos e invernos secos.

O solo utilizado, classificado como Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico (textura argilosa), foi proveniente de áreas sem aplicação de herbicidas do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos (CCA/UFSCar), localizado no município de Araras-SP. A coleta foi feita a partir da camada de 0-10 cm e sua análise química pode ser observada na tabela 1. Este solo foi seco ao ar e peneirado em malha de 2,0 mm para remoção de resíduos vegetais, torrões e outras impurezas para sua melhor homogeneização antes do plantio.

Tabela 1. Características químicas da amostra do solo utilizado no experimento.

Profundidade	pH _{CaCl2}	MO	P _{Resina}	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V%
		g dm ⁻³	mg dm ⁻³			mmol _c dm ⁻³				%
0-20	5,7	28	17	1,2	23	10	25	34,9	59,9	58

Fonte: Laboratório de Física do Solo (CCA/UFSCar)

Em experimentos preliminares foram determinados três cultivares de cana-de-açúcar que apresentassem diferentes respostas a herbicidas. Desta forma, utilizou-se neste estudo a cultivar RB975157 como a mais sensível, a RB985476 como a mais tolerante e a RB867515 como de resposta intermediária entre as anteriores. Os minitoletes, de aproximadamente 6,0 cm e com uma gema, foram fornecido pelo Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-Açúcar (RIDESA/PMGCA), localizado no CCA/UFSCar.

5.2.1. Aplicação de ¹⁴C-diurôm em pré-emergência das plantas

Utilizou-se vasos com capacidade de 1,5 L para cada cultivar e foi calculada a densidade de solo para determinar o peso total do vaso (vaso+solo), e considerando a adição de uma camada de 2,0 cm de solo superficial neste cálculo de peso total.

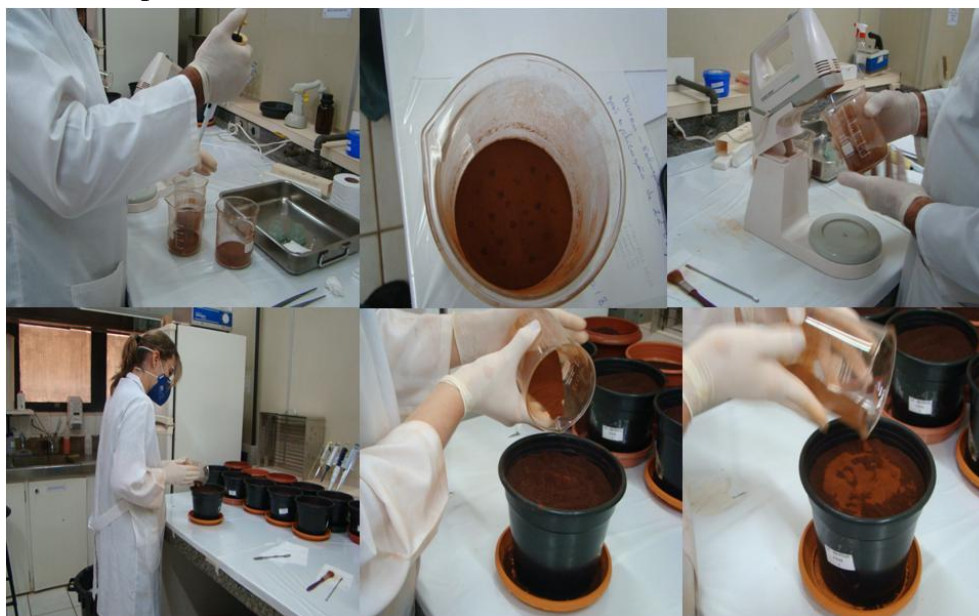
O delineamento foi inteiramente casualizado, com 4 repetições. Cada vaso foi preenchido com 1,3 L de solo frio (sem produto radiomarcado), seco e peneirado (malha de 2,0 mm), e os minitoletes contendo uma gema foram plantados. Um dia após o plantio foi adicionada uma camada de 1,0 cm de solo moído em moinho (MARCONI®) e acrescentando o herbicida radiomarcado, sendo esta camada equivalente a 110 g de solo, simulando aplicação em pré-emergência. Manteve-se o nível de umidade com adição de água até atingir a superfície do solo por capilaridade. Os vasos foram levados para casa de vegetação e mantidos em pratos para vasos para evitar possíveis contaminações radioativas, sendo que cada vaso foi irrigado com 50 ml de água ou mais, se necessário, colocando-a neste prato, mantendo o processo de capilaridade.

Preparação das soluções dos herbicidas radiomarcados

Para o preparo da calda (solução de trabalho), uma solução contendo, aproximadamente, 9971,0 dpm/ μ L (desintegrações por minuto) de solução foi preparada, sendo diluído o diurom radiomarcado (14 C-diurom, com marcação no grupo carboxílico, atividade específica = 3,83 MBq.mg $^{-1}$; pureza radioquímica = 98 %) em uma solução contendo o produto técnico diurom (Karmex técnico) (3-[3,4-dichlorophenyl]-1,1-dimethylurea), da marca DuPont (pureza= 80%), de tal forma que a concentração final do herbicida ficou equivalente à dose comercial de 4,0 kg/ha (3,2 kg i.a./ha), com um volume de calda de 100 μ L/vaso. A aplicação foi feita de forma proporcional ao tamanho da superfície de solo contida no vaso, no caso, 188,7 cm 2 . Um total de 16,6 kBq foram aplicados em cada vaso.

Para assegurar a aplicação homogênea do herbicida, foram aplicadas com microaplicador (Hamilton PB6000 Dispenser, Hamilton Co. EUA) as gotas da solução preparada com o produto radiomarcado, e a mistura foi feita utilizando-se uma batedeira (Figura 1).

Figura 1. Aplicação da solução de trabalho radiomarcada no solo (acima) e preenchimento do vaso com solo contaminado (abaixo)



Avaliações experimentais

Aos 5, 10, 15, 20 e 25 dias após a emergência, os vasos foram desmontados para fazer as avaliações qualitativas, através da radiografia das plantas, e quantitativas pela quantificação dos resíduos ligados aos herbicidas na água, no solo e plantas. Estas foram divididas em parte aérea, raiz e tolete.

Na desmontagem dos vasos foi utilizada água deionizada, fazendo-se a lavagem das raízes e do próprio vaso para não ficar solo retido. Todo solo e água utilizados foram cuidadosamente mantidos em bandejas para evitar a perda do produto radiomarcado. Em seguida, esta água foi pipetada, colocada em frascos e centrifugada a 4000 rpm por 5 minutos para remoção do material em suspensão, e mediu-se o volume total usado para a lavagem. Retirou-se três alíquotas de 10 mL da solução centrifugada, adicionando-se 10 mL de solução cintiladora instagel plus e fez-se a leitura das amostras em espectrômetro de cintilação líquida (Packard 1900 TR).

A análise do solo consistiu em secá-lo ao ar e separar 3 amostras de 0,2 g em barquinhas de porcelana, que foram queimadas em oxidador biológico R.J. Harvey Instrument Corporation OX500, para quantificar o herbicida restante, coletado em solução de etalonamina. As amostras foram analisadas através de cintilador líquido (Packard 1900 TR).

A absorção e translocação de diurom nas plantas foram estudados qualitativamente por autorradiografia e quantitativamente por combustão dos tecidos vegetais. Para a primeira, as plantas foram lavadas e secas ao ar, separadas em parte aérea, raízes e tolete, e prensadas para secar com papelão e folhas de papel A4 (Figura 2). Após a secagem foram reveladas em placas Super Resolution, tipo Sr por 120 horas e analisadas em aparelho de radioscanner Cyclone® Plus (“Storage Phospor System”). A placa de revelação foi protegido com filme de PVC para não ter contato direto com a planta. Quanto à análise quantitativa, as plantas foram secas em estufa a 40°C, e posteriormente foi feita a combustão dos tecidos das plantas, realizada no oxidador biológico, com três amostras de 0,2g para cada parte da planta. A radioatividade presente em todas as partes da planta foi considerada como tendo sido translocada, uma vez que o produto foi aplicado diretamente no solo, em pré-emergência da planta. Foi calculada uma média de três repetições, e a radioatividade de cada parte de planta comparada com a radioatividade total absorvida pela planta para calcular a translocação.

Figura 2. Crescimento e desenvolvimentos das plantas. Lavagem e preparo das plantas para análises.



5.2.2. Aplicação de ^{14}C -diurom em pós-emergência das plantas

Utilizou-se vasos com capacidade de 3,0 L para cada cultivar preenchidos com o solo. Os vasos foram mantidos em casa de vegetação até que as plantas de cana-de-açúcar apresentassem a terceira folha verdadeira (entre 30 e 45 dias).

Para o preparo da calda (solução de trabalho), uma solução contendo, aproximadamente, 2328,29 dpm/ μL de solução foi preparada, sendo diluído o diurom radiomarcado (^{14}C -diurom, com marcação no grupo carboxílico, atividade específica = 3,83 MBq. mg^{-1} ; pureza radioquímica = 98 %) em uma solução contendo o produto comercial diurom (Karmex 800) (3-[3,4-dichlorophenyl]-1,1-dimethylurea), da marca DuPont (pureza= 80%). Optou-se pelo uso do produto comercial para que a aplicação fosse o mais próximo das condições que ocorrem em campo. A concentração final do herbicida ficou equivalente à dose comercial de 4,0 kg/ha (3,2 kg i.a./ha), com um volume de calda de 750 μL /cultivar.

Para assegurar a aplicação homogênea do herbicida, foram aplicadas com microaplicador (Hamilton PB6000 Dispenser, Hamilton Co. EUA) 30 gotas da solução preparada com o produto radiomarcado (1 μL /gota, com total de 30 μL /planta) sobre a parte adaxial da terceira folha verdadeira das plantas de cana, de acordo com a media da

área foliar destas folhas (Figura 3). Um total de 70.000 dpm foram aplicados em cada planta.

A absorção e translocação foram estudadas a 1, 2, 4, 8, 24 e 48 horas após a aplicação do herbicida nas folhas (HAA). As plantas foram mantidas em casa de vegetação até que fosse atingido cada período de avaliação. Após cada período, as plantas foram retiradas dos vasos para se fazer as avaliações qualitativas, através da radiografia das plantas, e quantitativas pela quantificação da radioatividade em cada parte da planta, que foi dividida em folha tratada, parte aérea (restante das folhas não aplicadas), raiz e tolete.

As folhas tratadas com o produto radiomarcado foram retiradas das plantas e lavadas com 5,0 mL, aproximadamente, de solução de metanol 80% para eliminar o herbicida não absorvido (Figura 4). Com este líquido de lavagem, foram separadas três alíquotas de 100 µL e adicionadas 10 mL de solução cintiladora insta-gel plus e fez-se a leitura da amostra em espectrômetro de cintilação líquida (Packard 1900 TR).

A absorção e translocação de diurom nas plantas foram estudados qualitativamente por autorradiografia e quantitativamente por combustão dos tecidos vegetais. Para a primeira, as plantas foram separadas em folha tratada, parte aérea, raízes e tolete, e prensadas para secar com papelão e folhas de papel A4. Após a secagem foram reveladas em placa Super Resolution, tipo Sr por 120 horas e analisadas em aparelho de radioscanner Cyclone® Plus (“Storage Phosphor System”). A placa de revelação foi protegido com filme de PVC para não ter contato direto com a planta.

Quanto à análise quantitativa, as plantas foram secas em estufa a 40°C, e posteriormente foi feita a combustão dos tecidos das plantas, realizada em um oxidador biológico R.J. Harvey Instrument Corporation OX500, separadas em três amostras de 0,2 g para cada parte da planta, em barquinhas de porcelana. As amostras resultantes de cada tratamento foram coletadas individualmente em solução de etalonamina e levadas à leitura em espectrômetro de cintilação líquida. A radioatividade observada em todas as partes da planta foi considerada como absorvida, e a observada em todas as partes da planta exceto a folha tratada foi considerada como translocada. Foi calculada uma média de três repetições, e a radioatividade de cada parte de planta comparada com a radioatividade total absorvida pela planta para calcular a translocação.

Figura 3. Aplicação da solução de trabalho radiomarcada na folha de cana-de-açúcar



Figura 4. Lavagem da folha tratada com produto radiomarcado.



5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1. Aplicação de ¹⁴C-diurum em pré-emergência das plantas

Os resultados de translocação de diurum estão apresentados separadamente para cada cultivar nas tabelas 2, 3 e 4 com dados de radiação acumulada e porcentagem de translocação nos parâmetros avaliados, gráficos da porcentagem de translocação nas plantas e figuras da autorradiografia.

Em todos os tratamentos na cultivar RB867515 (sensibilidade intermediária), o produto radiomarcado ficou retido ao solo, praticamente, na totalidade do que foi aplicado (Tabela 2). Os resultados mostram a alta adsorção do herbicida no solo, sendo que as quantidades de radiação encontradas na água e nas plantas foram mínimas. De acordo com Rocha (2003), existem vários estudos que indicam que o diurum apresenta correlação positiva com os teores de matéria orgânica e CTC do solo. Segundo Inoue et al. (2006), cerca de 85% do diurum aplicado em solo argiloso ficou sorvido ao solo em pouco tempo após a aplicação.

Tabela 2. Radiação acumulada e translocação (%) de diurum na cultivar RB867515.

Períodos de Avaliação (DAE)	RB 867515					
	Radiação Acumulada (dpm)					
	Solo	Água	Parte Aérea	Raiz	Tolete	TOTAL
5	928223,1	6502,7	83,4	1543,5	952,2	937304,9
10	918844,0	1208,1	136,3	1270,4	457,9	921916,7
15	929736,8	691,6	172,9	329,0	1020,6	931950,9
20	950665,9	2241,8	288,5	741,9	882,7	954820,8
25	933636,4	1438,6	389,3	1576,8	1147,3	938188,4
Períodos de Avaliação (DAE)	Porcentagem de Translocação (%)					
	Solo	Água	Parte Aérea	Raiz	Tolete	TOTAL
	5	93,10	0,65	0,01	0,15	0,10
10	92,16	0,12	0,01	0,13	0,05	92,47
15	93,25	0,07	0,02	0,03	0,10	93,47
20	95,35	0,22	0,03	0,07	0,09	95,76
25	93,64	0,14	0,04	0,16	0,12	94,10

dpm: desintegrações por minuto

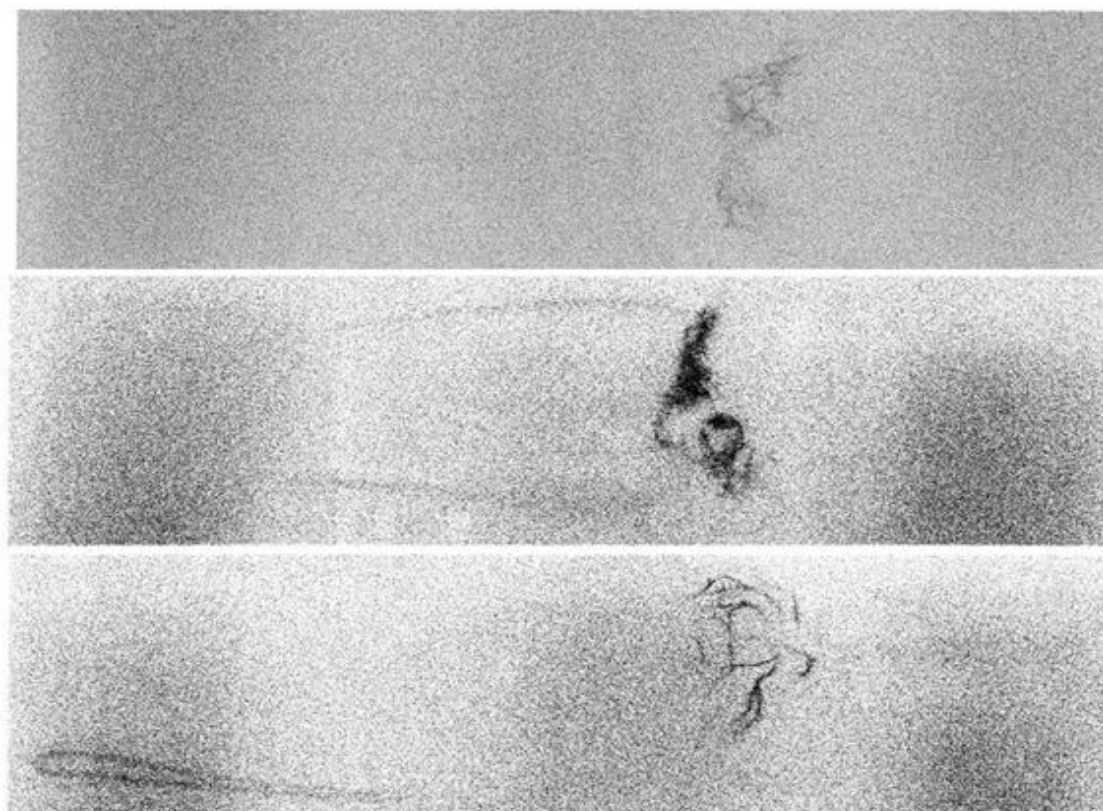
Quando se compara a quantidade translocada em toda a planta, verifica-se que a maior quantidade do produto ficou retido na raiz, principalmente no início do desenvolvimento das plantas (5 a 10 DAE). Ao longo do tempo, percebe-se maior

translocação do produto para os toletes, porém pouquíssimo produto atingiu a parte aérea em todas as avaliações, e que a partir de 15 DAE esse valor foi mais expressivo.

Este resultado também pode ser observado na figura 6, que é a autorradiografia das plantas de 5, 10 e 15 DAE. No processo de revelação das autorradiografias apenas é visualizado o tecido que absorveu o herbicida radiomarcado. A parte mais visível das plantas são as raízes, mostrando a presença do diurom aplicado diretamente ao solo, com leve percepção da parte aérea aos 10 e 15 DAE.

Sabe-se que a cana-de-açúcar retira energia para seu crescimento e desenvolvimento inicial do tolete, sua principal fonte de reservas neste estágio (CASAGRANDE, 1991). Assim, as plantas apresentaram baixos efeitos causados pelo produto, e fica comprovado seu maior acúmulo nas raízes das plantas.

Figura 5. Autorradiografia da cultivar RB867515 aos 5, 10 e 15 DAE, respectivamente.



Na cultivar RB975157 (sensível), o diurom apresentou o mesmo comportamento verificado com a RB867515, ou seja, pouca quantidade de produto foi encontrada na água de lavagem e nas plantas, ficando presente no solo (Tabela 3).

Tabela 3. Radiação acumulada e translocação (%) de diurom na cultivar RB975157

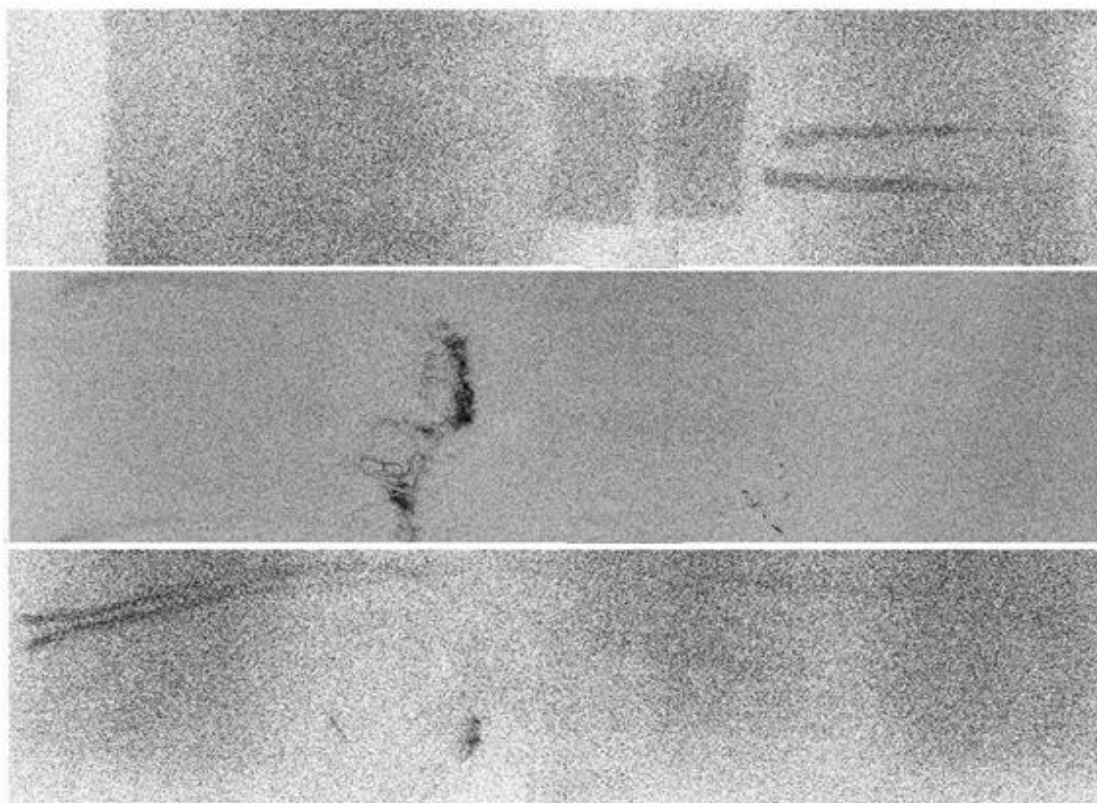
Períodos de Avaliação (DAE)	RB 975157					
	Radiação Acumulada (dpm)					
	Solo	Água	Parte Aérea	Raiz	Tolete	TOTAL
5	935173	8600,3	32,2	53,2	519,8	944378,5
10	914265	2735,5	104,1	1149,2	133,8	918387,6
15	1054793	3449,1	168,2	309,0	451,5	1059171
20	1011580	923,9	187,0	252,6	505,1	1013449
25	1051691	1735,9	169,7	591,5	832,9	1055021
Períodos de Avaliação (DAE)	Porcentagem de Translocação (%)					
	Solo	Água	Parte Aérea	Raiz	Tolete	TOTAL
	5	93,80	0,86	0	0,01	0,05
10	91,70	0,27	0,01	0,12	0,01	92,11
15	105,80	0,35	0,02	0,03	0,05	106,25
20	101,46	0,09	0,02	0,03	0,05	101,65
25	105,49	0,17	0,02	0,06	0,08	105,82

dpm: desintegrações por minuto

A quantidade de produto absorvida pelas plantas foi muito baixa, e aos 5 DAE das plantas não houve translocação do herbicida para a parte aérea, ficando acumulada principalmente nos toletes, sendo que a partir dos 10 DAE se verifica a presença do produto nas folhas. Observa-se nas raízes a maior quantidade do herbicida, porém a partir dos 15 DAE é nos toletes que se encontram maiores porcentagens do produto. O resultado mostra que houve a translocação do produto até os toletes, e pelo fato de esta parte da planta ser a principal fonte de reservas no início da brotação da gema, é possível relacionar a maior fitotoxicidade das plantas desta cultivar com a maior presença de produto nos toletes nesta fase inicial.

Aos 5 DAE os toletes estão visíveis e a parte aérea de uma das repetições, mostrando o quanto o produto foi translocado (Figura 6). Nas demais autorradiografias de 10 e 15 DAE observa-se pouca presença do produto.

Figura 6. Autorradiografia da cultivar RB975157 aos 5, 10 e 15 DAE, respectivamente.



Para a cultivar RB985476 (mais tolerante), o diurom também ficou totalmente presente no solo (Tabela 4). Os valores resultantes aos 10 e 25 DAE indicam que houve queda da radiação na solução de trabalho aplicada nos vasos, e não maior absorção de produto pelas plantas. Assim, a absorção do herbicida radiomarcado também foi baixa para esta cultivar em todos os tratamentos.

Lucchesi, Simão e Minami (1974) realizaram um estudo da translocação lateral e através da lixiviação em camadas de solo de 0-30,0 cm de solo argiloso dos herbicidas linurom, cloromurom e cloroxurom, que também pertencem ao grupo das uréias substituídas, usando o tomate como cultura-teste. Em ambos os resultados, verificaram que não houve translocação dos herbicidas até esta camada de solo (30 cm) e as plantas de tomate germinaram e se desenvolveram de modo normal e uniforme, sem indícios de fitotoxicidade. Isto se deve, principalmente, ao fato de que estes herbicidas, como o diurom, ficam altamente adsorvidos em solo com alto teor de argila e matéria orgânica.

Tabela 4. Radiação acumulada e translocação (%) de diurom na cultivar RB985476

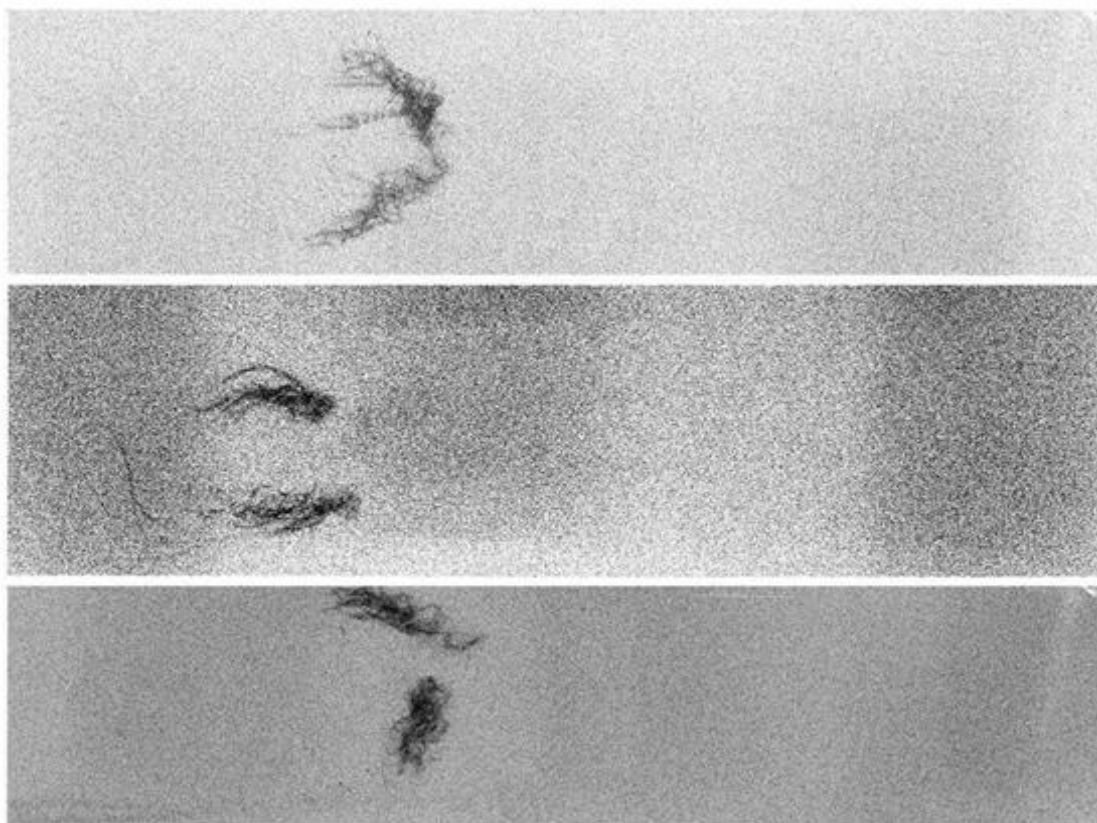
Períodos de Avaliação (DAE)	RB 985476					
	Radiação Acumulada (dpm)					
	Solo	Água	Parte Aérea	Raiz	Tolete	TOTAL
5	953569	7287,6	72,3	2936,8	651,5	964517,2
10	745759	4322,7	89,2	894,3	499,6	751564,8
15	1054490	2648,9	93,0	1732,9	512,9	105978
20	942903	5446,9	275,5	2414,2	1357,6	952397,2
25	746087	1285,4	203,3	643,7	1122,6	749342

Períodos de Avaliação (DAE)	Porcentagem de Translocação (%)					
	Solo	Água	Parte Aérea	Raiz	Tolete	TOTAL
5	95,64	0,73	0,01	0,29	0,07	96,74
10	74,80	0,43	0,01	0,09	0,05	75,38
15	105,77	0,27	0,01	0,17	0,05	106,27
20	94,57	0,55	0,03	0,24	0,14	95,53
25	74,83	0,13	0,02	0,06	0,11	75,15

dpm: desintegrações por minuto

Observa-se que se comparando a quantidade de produto translocada na planta, a maior absorção e acúmulo ocorreu nas raízes, sendo que somente aos 25 DAE é que houve maior presença de radiação nos toletes. Esta cultivar, considerada mais tolerante, pode ter esse comportamento em razão da translocação mais lenta do produto das raízes para o restante da planta. Na figura 7 verifica-se maior presença de radiação nas raízes, principalmente porque são os primeiros dias de desenvolvimento após a emergência das plantas (5, 10 e 15 DAE).

Figura 7. Autorradiografia da cultivar RB985476 aos 5, 10 e 15 DAE, respectivamente.



Assim, observa-se que a maior quantidade de diurom aplicado em pré-emergência fica retida no solo, devido sua baixa solubilidade e alta adsorção aos colóides do solo, independente da cultivar testada. Recomenda-se a realização de estudos a nível fisiológico das cultivares para explicar as diferenças entre estas cultivares e verificar os motivos da diferença na translocação do herbicida pelas partes das plantas.

5.3.2. Aplicação de ^{14}C -diurom em pós-emergência das plantas

Os resultados da aplicação de diurom em pós-emergência estão apresentados separadamente para cada cultivar, com as tabelas de porcentagem de radiação recuperada das médias dos valores obtidos e nas tabelas com dados de radiação acumulada e porcentagem de radiação destas médias em todas as partes das plantas, divididas em radiação absorvida e translocada.

Observa-se na tabela 5 que para a cultivar RB867515 (sensibilidade intermediária) a maior parte do produto aplicado não foi absorvido pela planta em todos os períodos de avaliação. O total não absorvido representa a quantidade de produto que foi retirada da folha tratada durante a lavagem com metanol. Também verifica-se que a quantidade de produto que foi translocada pela planta é mínima, assim a quantidade absorvida ficou principalmente retida na folha aplicada.

Analisando o quanto de produto foi absorvido e translocado (tabela 6), é possível verificar que a quantidade absorvida ficou praticamente toda retida na folha tratada, apresentando baixa translocação pela planta. Apesar dos baixos valores, houve um aumento da absorção e translocação ao longo do tempo de avaliação, sendo que em 48 HAA a quantidade translocada foi a mais alta, com 0,11% encontrada na parte aérea, 0,15% nas raízes e 0,10% nos toletes. A figura 8 ilustra a absorção com 4 e 48 HAA, em que se observa a maior quantidade de produto radiomarcado nas folhas tratadas (mais escuras na imagem).

Tabela 5. Médias das porcentagens de radiação do balanço de massas do diurom radiomarcado aplicado na cultivar RB867515.

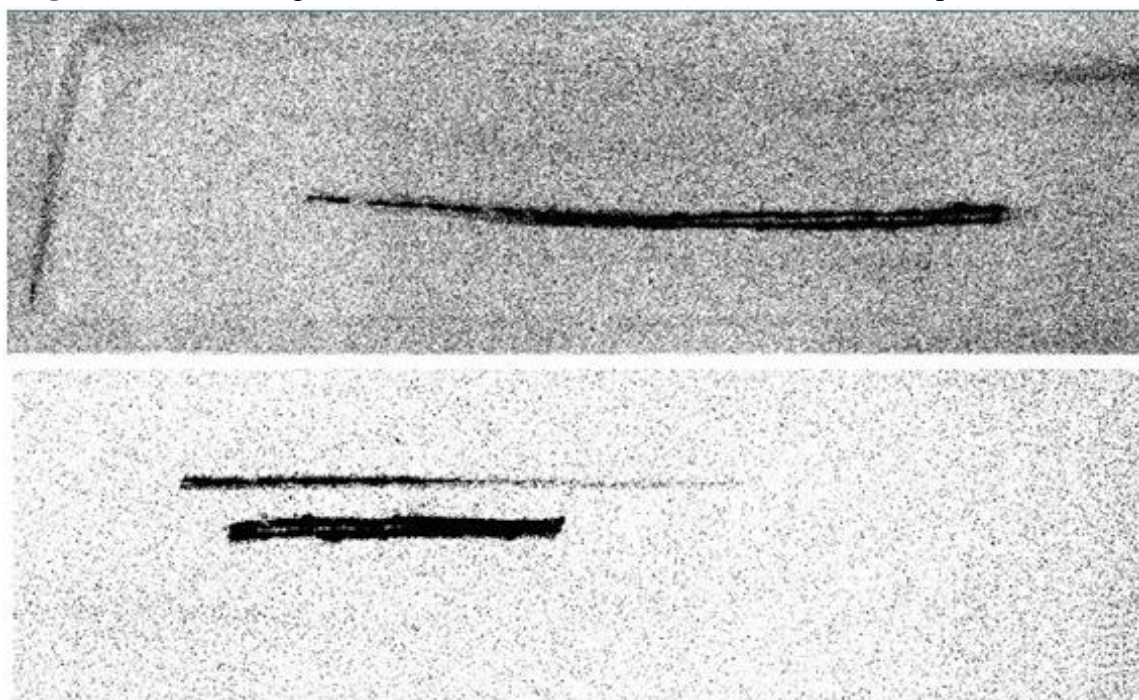
Horas Após a Aplicação (HAA)	RB 867515					
	1	2	4	8	24	48
	Porcentagem de Radiação (%)					
Total Não Absorvido	89,25	79,39	95,51	83,48	79,04	80,60
Total Absorvido	18,14	13,55	24,80	21,91	31,73	44,03
Total Translocado	0,04	0,02	0,01	0,08	0,26	0,36
Total Recuperado	107,43	92,96	120,32	105,47	111,03	124,99

Tabela 6. Média da quantidade de radioatividade absorvida e translocada pelas plantas da cultivar RB867515, expressa em radiação acumulada (dpm) e porcentagem (%).

Horas Após a Aplicação (HAA)	RB 867515					
	1	2	4	8	24	48
Radiação Acumulada (dpm)						
Folha Tratada	12037,90	8999,32	16487,80	14521,20	20927,10	29037,50
Parte Aérea	57,06	19,15	0	20,42	73,37	239,14
Raiz	47,03	31,97	30,86	45,36	101,48	135,10
Tolete	24,82	1,95	94,75	67,47	32,24	68,92
TOTAL						
Absorvido	12166,80	9052,39	16613,40	14654,50	21134,20	29480,70
Translocado	128,91	53,07	125,61	133,25	207,09	443,16
Porcentagem de Radiação (%)						
Folha Tratada	18,10	13,53	24,79	21,84	31,47	43,67
Parte Aérea	0	0,02	0,01	0,03	0,11	0,11
Raiz	0,03	0	0	0,03	0,10	0,15
Tolete	0,01	0	0	0,02	0,05	0,10
TOTAL						
Absorvido	18,14	13,55	24,80	21,92	31,73	44,03
Translocado	0,04	0,02	0,01	0,08	0,26	0,36

dpm: desintegrações por minuto

Figura 8. Autorradiografia da cultivar RB867515 com 4 e 48 HAA, respectivamente.



Em relação a cultivar RB975157 (maior sensibilidade) pôde ser observado o mesmo comportamento dos resultados da cultivar RB867515, com valores mais baixos do total absorvido e translocado (tabela 7). Nesta cultivar também foi possível verificar

que ocorre aumento destes valores ao longo dos períodos de avaliação, e consequente diminuição do total não absorvido pelas plantas.

Quando analisados os resultados separadamente para cada parte da planta (tabela 8), observa-se que praticamente toda a radioatividade está na folha tratada, sendo que uma quantidade mínima foi translocada nos toletes em todos os períodos de tempo, e somente com 24 e 48 HAA foi obtido radiação na parte aérea das plantas. Em nenhum dos períodos foi observado radiação nas raízes, mostrando a não translocação do produto até ali durante o tempo, porém houve acúmulo nos toletes desde a primeira hora de avaliação. Na figura 9 estão apresentadas as imagens desta cultivar com 1, 8 e 48 HAA.

Tabela 7. Médias das porcentagens de radiação do balanço de massas do diurom radiomarcado aplicado na cultivar RB975157.

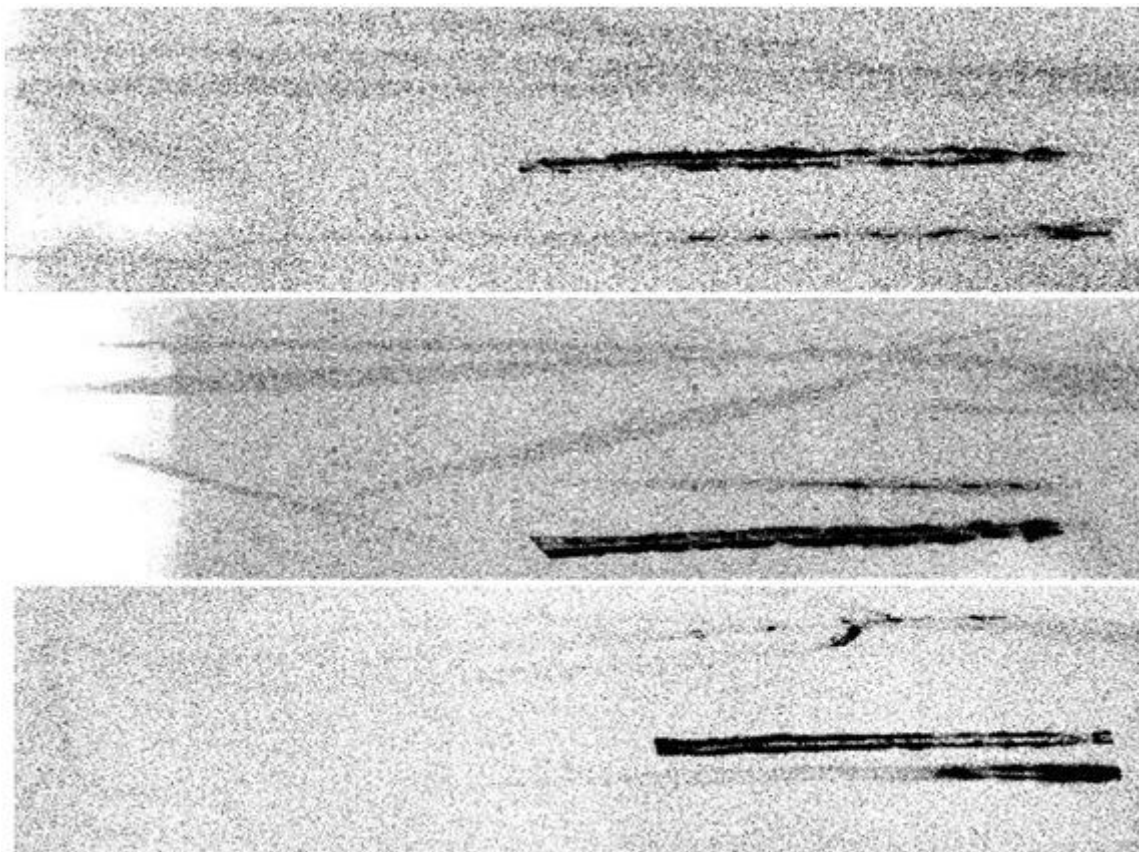
Horas Após a Aplicação (HAA)	RB 975157					
	1	2	4	8	24	48
	Porcentagem de Radiação (%)					
Total Não Absorvido	86,70	73,33	80,95	74,17	70,04	48,26
Total Absorvido	18,39	27,77	30,87	40,17	51,56	57,02
Total Translocado	0	0	0,04	0	0,34	0,32
Total Recuperado	105,09	101,10	111,86	114,34	121,94	105,60

Tabela 8. Média da quantidade de radioatividade absorvida e translocada pelas plantas da cultivar RB975157, expressa em radiação acumulada (dpm) e porcentagem (%).

Horas Após a Aplicação (HAA)	RB 975157					
	1	2	4	8	24	48
	Radiação Acumulada (dpm)					
Folha Tratada	13196,60	19874,10	21971,60	28626,20	36499,30	40399,20
Parte Aérea	0	0	0	0	114,70	68,08
Raiz	0	0	0	0	0	0
Tolete	51,86	143,07	69,82	294,26	281,79	247,71
	TOTAL					
Absorvido	13248,46	20017,17	22041,42	28920,46	36895,79	40714,99
Translocado	51,86	143,07	69,82	294,26	396,49	315,79
	Porcentagem de Radiação (%)					
Folha Tratada	18,52	27,89	30,84	40,18	51,23	56,70
Parte Aérea	0	0	0,04	0	0,16	0,10
Raiz	0	0	0	0	0	0
Tolete	0,02	0,11	0	0,37	0,40	0,35
	TOTAL					
Absorvido	18,54	28,00	30,88	40,55	51,79	57,15
Translocado	0,02	0,11	0,04	0,37	0,56	0,45

dpm: desintegrações por minuto

Figura 9. Autorradiografia da cultivar RB975157 com 1, 8 e 48 HAA, respectivamente.



Para a cultivar RB985476 (mais tolerante) também foi observado que a maior quantidade de produto radiomarcado não foi absorvido pela planta (tabela 9), sendo essa quantidade maior nas primeiras horas após a aplicação, principalmente a 1, 2 e 8 HAA (84,79%, 78,55% e 79,98%, respectivamente).

Em relação a quantidade absorvida e translocada pelas plantas, ocorreu o aumento destes valores com o maior tempo de avaliação (tabela 10), apresentando valores de 24,24% com 24 HAA e 27,67% com 48 HAA. Contudo, a translocação foi mais baixa nestes períodos, sendo nula (0%), enquanto que nos demais períodos houve um pequeno acúmulo nos toletes. Observa-se na figura 10 as imagens desta cultivar com 8 e 24 HAA, com o destaque para a absorção e translocação das folhas tratadas.

Tabela 9. Médias das porcentagens de radiação do balanço de massas do diurom radiomarcado aplicado na cultivar RB985476.

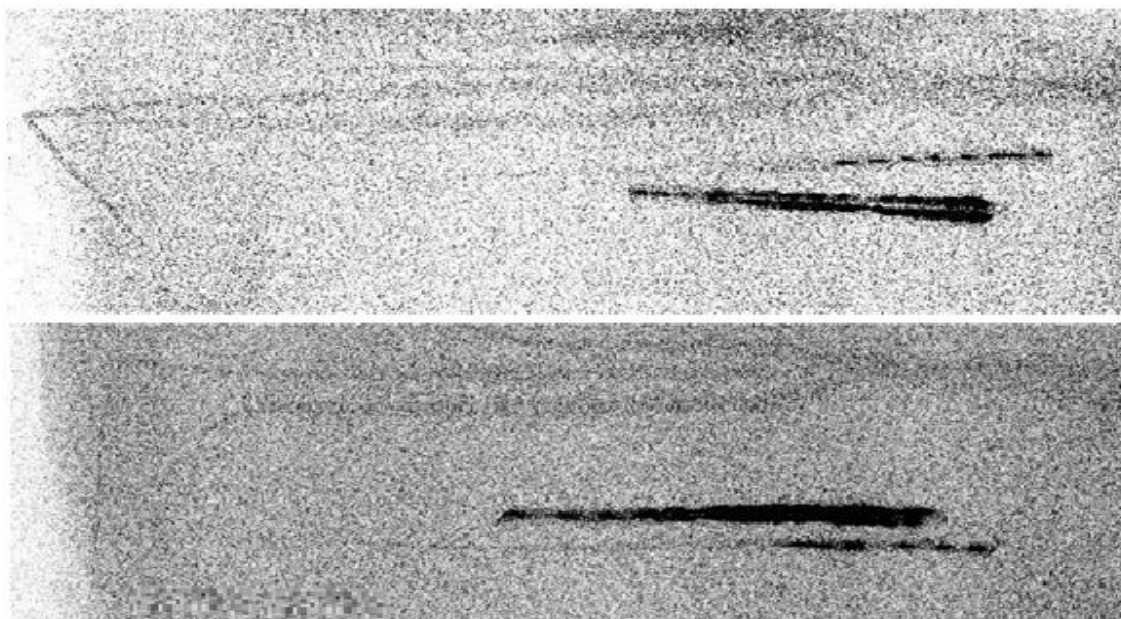
Horas Após a Aplicação (HAA)	RB 985476					
	1	2	4	8	24	48
	Porcentagem de Radiação (%)					
Total Não Absorvido	84,79	78,55	73,50	79,98	64,90	66,81
Total Absorvido	17,65	15,37	22,03	14,50	23,23	26,81
Total Translocado	0	0	0	0	0	0
Total Recuperado	102,44	93,92	95,53	94,48	88,13	93,62

Tabela 10. Média da quantidade de radioatividade absorvida e translocada pelas plantas da cultivar RB985476, expresse em radiação acumulada (dpm) e porcentagem (%).

Horas Após a Aplicação (HAA)	RB 985476					
	1	2	4	8	24	48
	Radiação Acumulada (dpm)					
Folha Tratada	11361,10	9924,95	14242,00	9331,88	15488,20	17933,30
Parte Aérea	0	0	0	0	0	0
Raiz	0	0	0	0	0	0
Tolete	80,35	77,91	141,09	213,06	0	0
TOTAL						
Absorvido	11441,45	10002,86	14383,09	9544,94	15488,20	17933,30
Translocado	80,35	77,91	141,09	213,06	0	0
	Porcentagem de Radiação (%)					
Folha Tratada	17,77	15,60	22,25	14,68	24,24	27,67
Parte Aérea	0	0	0	0	0	0
Raiz	0	0	0	0	0	0
Tolete	0,12	0,12	0,22	0,33	0	0
TOTAL						
Absorvido	17,80	15,65	22,25	14,80	24,24	27,67
Translocado	0,12	0,12	0,22	0,33	0	0

dpm: desintegrações por minuto

Figura 10. Autorradiografia da cultivar RB985476 com 8 e 24 HAA, respectivamente.



Através dos resultados observa-se que o diurom apresentou comportamento semelhante nas três cultivares, com maior absorção e retenção na folha tratada, mínima translocação para as demais partes das plantas e grande quantidade do produto radiomarcado aplicado foi retido na solução de lavagem com metanol 80%. Ferreira et al. (2005a), por meio de caracterização química e micromorfológica estudada em diferentes cultivares de cana-de-açúcar com aplicação da mistura trifloxisulfurom-sódio+ametrina, concluiu que existe diferença na composição química da cera epicuticular entre os cultivares, porém isto não tem relação direta com o grau de sensibilidade à mistura de herbicidas.

Verificou-se também que houve maior absorção nas folhas ao longo dos períodos avaliados. Estes resultados estão de acordo com os de Dias et al. (2003), no qual verificaram que a radioatividade do ^{14}C -diurom não foi distribuída em toda a planta, obtendo menos de 1% de radioatividade na parte aérea e raiz, e a maior concentração ficou na folha tratada de capim-colchão (*Digitaria* spp.)

Os resultados também estão de acordo com os trabalhos de Simpson et al. (2005) e Bayer e Yamaguchi (1965), citado por Simpson et al (2005). No primeiro, os autores avaliaram a absorção e translocação de ^{14}C -diurom aplicado nas folhas de *Oxalis stricta*, e verificaram que a 24 HAA 78% da quantidade aplicada foi recuperada na lavagem das folhas, e somente 22% foi absorvido pelas plantas. Com 48 HAA, os valores obtidos

foram de 73% e 27%, respectivamente. Em ambos os períodos de avaliação, apenas 11% do total aplicado foi translocado por toda a planta, indicando uma mínima translocação de diurom nesta espécie.

Bayer e Yamaguchi (1965), citado por Simpson et al (2005), estudaram a absorção e translocação de ^{14}C -diurom aplicado nas raízes (pré-emergência) e nas folhas (pós-emergência) em feijão, cevada e soja e verificaram que a absorção do produto é dependente do tempo, ou seja, ocorre aumento da absorção ao longo do tempo. Os autores também verificaram que, quando foi aplicado nas folhas, a translocação do produto fica limitada a folha tratada, com baixa translocação para as demais partes das plantas, sendo que esta ocorre pelo xilema tanto em aplicação de pré como de pós-emergência.

O diurom pertence ao grupo químico das ureias substituídas, e os herbicidas deste grupo apresentam translocação apoplástica através do xilema, sendo a via raiz-parte aérea seu principal meio de translocação (DIAS et al, 2003), o que explica os baixos resultados observados neste experimento. Quando utilizado em pós-emergência, uma cobertura completa das plantas é importante devido a translocação limitada (OLIVEIRA JR.; BRIGHENTI, 2011); as plantas perenes acabam sendo afetadas apenas quando a aplicação é via solo (OLIVEIRA JR.. BRIGHENTI, 2011).

Além disso, uma possível causa da baixa absorção do diurom pelas folhas de cana-de-açúcar se deve as altas concentrações de Si absorvidas por esta cultura. Na cana-de-açúcar, por exemplo, as concentrações podem variar desde valores muito baixos em folhas jovens (0,14% de Si) até valores muito altos em folhas velhas (6,7% de Si) (KORNDÖRFER; DATNOFF, 1995; KORNDÖRFER et al., 2000). São consideradas plantas acumuladoras de silício aquelas que possuem teor foliar acima de 1%, e não acumuladoras plantas com teor de silício menor que 0,5% (Ma et al., 2001). Embora não seja considerado um nutriente essencial, o Si é o elemento mais absorvido pela cana-de-açúcar, seguido por potássio (K), nitrogênio (N), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (MARAFON, 2013). Em seus estudos, Van Dillewijn (1952 apud FERREIRA et al., 2005a) já descrevia a superfície foliar de cana-de-açúcar, onde a epiderme apresenta formações como células buliformes, estômatos do tipo paracítico, células de sílica e tricomas. Segundo Savant et al. (1999), as folhas de cana ricas em Si podem, por meio da polimerização, preencher os espaços interfibrilares. Isto interfere na absorção de produtos aplicados via foliar nas plantas, pois forma uma barreira que impede a passagem das moléculas para dentro da folha.

De acordo com Korndörfer (2015), o silício é absorvido pelas raízes na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4) juntamente com a água (fluxo de massa) e se transloca pelo xilema (KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2002a). A água absorvida é perdida através da evapotranspiração e o Si é acumulado nos tecidos das plantas, depositado principalmente na parede celular, aumentando a rigidez das células (ADATIA; BESFORD, 1986 apud KORNDÖRFER, 2015). O Si se acumula principalmente nas áreas de máxima transpiração na forma de ácido silícico polimerizado (sílica amorfa), formando uma película de sílica abaixo da cutícula (KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2002b), que atua como interfase entre a célula vegetal e o meio (HEREDIA et al., 1998).

Assim, a maior parte deste Si é incorporado na parede celular, principalmente em células da epiderme, estômatos e tricomas. As células epidérmicas ficam mais grossas e com um grau maior de lignificação e/ou silicificação, formando uma barreira protetora contra as perdas de água por transpiração excessiva, a ação de patógenos, as radiações solares e a entrada de produtos químicos e contaminantes (HEREDIA et al., 1998). De acordo com Oliveira e Castro (2002), a acumulação de Si nos órgãos de transpiração provoca a formação de uma dupla camada de sílica, o que causa redução da transpiração por diminuir a abertura dos estômatos limitando a perda de água (FARIA, 2000).

De acordo com Motomura et al. (2000 apud FERREIRA et al., 2007), a deposição de sílica é comum em paredes de tricomas, aumentando a resistência a absorção e translocação do herbicida. Além do silício, o próprio tricoma se torna uma barreira à absorção de herbicidas (HESS; FALK, 1990). Os tricomas presentes na superfície da folha podem interceptar as gotas pulverizadas, impedindo-os de chegar à epiderme. De um modo geral, uma relação negativa parece existir entre a adesão do herbicida aos tricomas e a eficácia destes produtos (HESS; FALK, 1990).

Portanto, com estes experimentos concluiu-se que quando aplicado em pré-emergência, o herbicida diurom ficou altamente retido no solo, apresentando baixa absorção e translocação nas plantas, e que a cultivar RB975157 apresentou maiores porcentagens da molécula radiomarcada nos toletes. Em pós-emergência, a maior parte do diurom aplicado não foi absorvido pelas folhas tratadas ao longo de 48h, permanecendo na solução de lavagem, mas a absorção pelas folhas aumentou ao longo do tempo, e a translocação do produto foi baixa para as três cultivares testadas, ficando retido nas folhas tratadas.

5.4. CONCLUSÃO

Com este experimento concluiu-se que

- Em pré-emergência, o herbicida diurom ficou altamente retido no solo, apresentando baixa absorção e translocação nas plantas.
- A cultivar RB975157 foi a que apresentou maiores porcentagens da molécula radiomarcada nos toletes quando aplicado diurom em pré-emergência.
- Em pós-emergência, a maior parte do diurom não foi absorvido pelas folhas tratadas ao longo de 48h.
- A absorção pelas folhas aumentou ao longo do tempo, contudo a translocação do produto foi mínima para as três cultivares testadas, ficando retido nas folhas tratadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL KHATIB, K; PARKER, R.; FUERST, E. P. Foliar absorption and translocation of herbicides from aqueous solution and treated soil. **Weed Sci.**, v. 40, n. 2, p. 281-287, 1992.

CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Funep, 1991. 157p.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; DAMIN, V.; CARVALHO, S. J. P.; NICOLAI, M. **Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba, Cap. 2, 72p., 2009.

DEVINE, M. D.; DUKE, S. O.; FEDTKE, C. **Physiology of herbicide action**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993. 441 p.

DIAS, N. M. P.; REGITANO, J. B.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; TORNISIELO, V. L. Absorção e translocação do herbicida diuron por espécies suscetível e tolerante de campi-colchão (*Digitaria* spp.). **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.21, n.2, p.293-300, 2003.

FARIA, R. Efeito da acumulação de silício e a tolerância das plantas de arroz do sequeiro ao déficit hídrico do solo. 2000. 125p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Solos, Universidade Federal de Lavras, Viçosa, 2000.

FERREIRA, E. A.; DEMUNER, A. J.; SILVA, A. A.; SANTOS, J. B.; VENTRELLA, M. C. MARQUES, A. E.; PROCÓPIO, S. O. Composição química da cera epicuticulat e caracterização da superfície foliar em genótipos de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 23, n. 4, p. 611-619, 2005 (a).

- FERREIRA, E. A.; VENTRELLA, M. C.; SANTOS, J. B.; BARBOSA, M. H. P.; SILVA, A. A.; PROCÓPIO, S. O.; SILVA, E. A. M. Leaf blade quantitative anatomy of sugarcane cultivars and clones. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 25, n. 1, p. 25-34, 2007.
- FRANCINO, P.; REZENDE, P.; GIUSTI, C. F.; NICOLAI, M.; BARBALHO, S. G. F.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Seletividade do herbicida amicarbazone para soqueira de cana-de-açúcar aplicado na época chuvosa no Estado de Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27, 2010, Ribeirão Preto-SP. **Resumos...** Ribeirão Preto: SBCPD, p.2327-2330, 2010.
- HEREDIA, A. et al. La cutícula vegetal: estructura y funciones. **Ecologia**, v. 12, p. 293-305, 1998.
- HESS, F. D.; FALK, R. H. Herbicide deposition on leaf surfaces. **Weed Sci.**, v. 38, p. 280-288, 1990.
- INOUE, M. H. et al. Sorption-desorption of atrazine and diuron in soils from southern Brazil. **J. Environ. Sci. Health**, Part B, New York, v. 41, n. 3, p. 605-621, 2006.
- KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L. E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. **Info. Agronômicas**, n. 70, p. 1-3, 1995.
- KORNDÖRFER, G. H.; BENEDINI, M.; PAULA, F. B.; CHAGAS, R. C. S. Cimento como fonte de silício para cana-de-açúcar. **STAB**, v. 9, n. 2, p. 1-7, 2000.
- KORNDÖRFER, G. H. Uso de silício na agricultura. Disponível em: <http://www.dpv24.iciag.ufu.br/Silicio/Efeitos/Efeitos.htm>. Acesso em 15 de janeiro de 2015.
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Papel do silício na produção de cana-de-açúcar. **STAB**, v. 21, n. 2, p. 6-9, 2002 (a).
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura. **Boletim Técnico (1)**: Uberlândia-MG (GPSi/ICIAG/UFU), ed. 2, 2002 (b). 24p.
- LUCCHESI, A. A.; SIMÃO, S.; MINAMI, K. Translocação de herbicidas do grupo das ureias substituídas no solo. **Anais E. S. A. Luiz de Queiroz**, v. 31, p.449-453, 1974.
- MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plant. In: DATNOFF, L. E.; KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. Silicon in Agriculture. **Elsevier science**, p. 17-39, 2001.
- MACIEL, C. D. G., CONSTANTIN, J., OLIVEIRA JR., R. S.; FARIAS, A. Método alternativo de avaliação da absorção de atrazine por plantas de *Brachiaria plantaginea*. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.20, n.3, p.431-438, 2002.

MARAFON, A. C. Benefícios do silício para a cana-de-açúcar. **EMBRAPA Tabuleiros Costeiros**, 2013. Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/index.php?idpagina=artigos&artigo=9283&showaquisicao=true>. Acesso em 15 de janeiro de 2015.

NEGRISOLI, E.; CORREA, M. R.; ROSSI, C. V. S.; CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D.; PERIM, L. Eficácia do herbicida oxyfluorfen com a cobertura de palha no controle de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.27, n.1, p.197-203, 2009.

OLIVEIRA, M. F.; BRIGHENTI, A. M. Comportamento dos Herbicidas no Ambiente. In: OLIVEIRA JR, R. S. et al., **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**, cap.7, p.263-304, 2011.

OLIVEIRA, L. A.; CASTRO, N. M. Ocorrência de sílica nas folhas de *Curatella americana* L. e de *Davilla elliptica* St. Hil. **Rev. Horizonte Científico**, 2002.

PRADO, A. B. C. A. Dinâmica de herbicidas residuais na palha de cana-de-açúcar e correlação com a eficiência de manejo de plantas daninhas. 2013. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

ROCHA, W. S. D. Sorção de 2,4-D e diurom nos agregados organominerais de Latossolos em função dos conteúdos de matéria orgânica e de água. 2003. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SAVANT, N. K.; KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. H.; DATNOFF, L. E. Silicon Nutrition and Sugarcane Production. **A review. J. Plant Nutri.**, New York-NY, v. 12, n. 22, p. 1853-1903, 1999.

SILVA A. A.; SILVA J. F.; FERREIRA L. R.; FERREIRA, F. A. Herbicidas: Absorção, Translocação, Metabolismo, Formulação e Misturas. In: **Tópicos em Manejo de Plantas Daninhas**, p. 118-154, 2007 (b).

SIMPSON, C. V.; WEHTJE, G.; GILLIAM, C. H.; SIBLEY, J. L.; ALTLAND, J. E. Diuron sorption by pine-bark substrate and foliar vs. root absorption by yellow woodsorrel (*Oxalis stricta*). **Weed Technology**, v. 19, n.3, p.532-538, 2005.

TORREZAN, H. F. Enleiramento e enfardamento prismático de palhico de cana-de-açúcar: alguns parâmetros de desempenho operacional e eficiência energética. 2003. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

6. CAPÍTULO III

LIXIVIAÇÃO DO HERBICIDA DIUROM EM SOLO ARGILOSO

RESUMO

A maior parte dos pesticidas aplicados nos campos agrícolas não atinge a superfície alvo de interesse e acabam alcançando direta ou indiretamente o solo, e o herbicida pode ser adsorvido às partículas coloidais (orgânicas e minerais) do solo, o que diminui sua toxicidade e lixiviação do solo, diminuindo seu impacto ambiental. O objetivo deste experimento foi avaliar o potencial de lixiviação do herbicida diurom em solo argiloso por 48 horas com simulação de chuva de 200 mm. O experimento foi realizado no Laboratório de Ecotoxicologia do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), e consistiu em se analisar a lixiviação de ^{14}C -diurom em colunas de vidro de 0-30,0 cm, preenchidas com solo e com simulação de 200 mm de chuva, usando solução de cloreto de cálcio (CaCl_2). As avaliações do material lixiviado foram feitas as 12, 24, 36 e 48 HAA. Concluídas as 48h, dividiu-se a coluna em sessões de 5,0 cm em que foi quantificada a presença do herbicida em cada sessão. Os resultados mostraram que o diurom apresentou baixa lixiviação em solo argiloso, ficando este retido na camada de 0-0,05 m de profundidade. Conclui-se que o diurom, devido a suas características físico-químicas e ao tipo de solo, fica altamente retido em solo argiloso e apresenta baixa lixiviação mesmo numa precipitação de 200 mm.

6.1. INTRODUÇÃO

Quando as moléculas dos herbicidas entram em contato com o solo, como é o caso de aplicações em pré-emergência, estão sujeitas aos processos de retenção, transporte e transformação, que influenciarão sua atividade e determinarão sua permanência ou não no local (MOURA; FRANCO; MATALLO, 2008; SILVA et al., 2014) e podem ocorrer de forma simultânea e/ou imediatamente à aplicação do produto (WEBER; WEED, 1974 apud PINTO et al., 2011). Segundo Law (2001), 60 a 70% do total dos pesticidas aplicados nos campos agrícolas não atingem a superfície alvo de interesse e acabam alcançando direta ou indiretamente o solo, o qual atua como principal receptor e acumulador desses compostos.

O tempo de permanência destas moléculas no ambiente depende, entre outros fatores, da capacidade de sorção do solo, em que o herbicida pode ser adsorvido às partículas coloidais (orgânicas e minerais) do solo ou sofrer repulsão, resultando num aumento da sua concentração na solução do solo (SILVA et al., 2014). Segundo Gevaio, Semple e Jones et al. (2000), a adsorção de herbicidas no solo depende das propriedades do composto aplicado, as quais incluem tamanho, distribuição, configuração, estrutura molecular, funções químicas, solubilidade, polaridade, distribuição de cargas, natureza ácido/base dos herbicidas, coeficiente de partição octanol-água, pressão de vapor, constante da Lei de Henry, entre outros, e das características do solo como o material de origem do solo, os tipos de minerais predominantes na fração argila, os grupos funcionais e a quantidade da matéria orgânica, pH do solo etc., além das condições climáticas (WEBER et al., 2004; GUIMARÃES, 1987). A adsorção parece ser o principal mecanismo de interação dos herbicidas que diminui sua toxicidade e lixiviação do solo, diminuindo seu impacto ambiental (HESKETH; JONES; TIPPING, 1996 apud MOURA; FRANCO; MATALLO, 2008).

Se as moléculas de herbicida não ficarem adsorvidas ao solo e não forem absorvidas pelas plantas, elas podem ser carregadas pela água das chuvas e/ou irrigação ou, ainda, sofrer lixiviação, chegando ao lençol freático (ROMAN et al., 2007). Os processos de adsorção e lixiviação dos herbicidas são particularmente interessantes para o monitoramento e a previsão de impacto destes xenobióticos no ambiente (MOURA; FRANCO; MATALLO, 2008), o que possibilita o uso seguro do produto do ponto de vista ambiental, além de ser fundamental para que se façam recomendações tecnicamente corretas (SILVA et al, 2012).

Para ser lixiviado, o herbicida deve estar na solução do solo, livre ou adsorvido a pequenas partículas, como argilas, ácidos fúlvicos e húmicos de baixa massa molecular, aminoácidos, peptídeos e açúcares, entre outros (OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011). A lixiviação pode ser definida como o movimento ascendente ou descendente do herbicida juntamente com o fluxo de água no perfil do solo (MOURA; FRANCO; MATALLO, 2008) que é governado pela diferença de potencial de água entre dois pontos (PRATA et al., 2003). Este transporte dentro do solo também ocorre através da difusão do ar nos espaços do solo (poros) e difusão na água do solo, além de que o movimento é também influenciado pela quantidade total de água de chuva ou de irrigação recebida e a intensidade e a frequência de toda essa água; das características do solo e clima e das

características físico-químicas do produto aplicado (GUIMARÃES, 1987; OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011).

O movimento dos herbicidas no solo tem grande influência no seu comportamento no campo. Segundo Oliveira e Brighenti (2011), uma pequena lixiviação é desejável, pois pode tornar o herbicida mais eficiente, movendo-o da superfície do solo para onde estão concentradas as sementes das plantas daninhas, uma vez que a maioria destas sementes se encontram nos 5,0 cm superficiais do solo. Assim, a lixiviação é fundamental para a incorporação superficial da maioria dos herbicidas, principalmente os pré-emergentes aplicados e que necessitam de chuva e/ou irrigação para esta incorporação, atingindo sementes ou plantas em germinação (MONQUERO et al, 2010; MOURA; FRANCO; MATALLO, 2008), e a remoção do herbicida do solo também pode ser desejável quando o seu resíduo for propenso a provocar injúria na cultura subsequente (OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011). Contudo, quando a lixiviação é excessiva, pode carrear as moléculas para camadas mais profundas do solo, limitando sua ação e prejudicando a eliminação das plantas invasoras e podendo, inclusive, promover contaminação do lençol freático (VELINI, 1992; OLIVEIRA JR.; BRIGHENTI, 2011).

A lixiviação também pode explicar a seletividade ou a falta de seletividade de uma planta ao herbicida. Herbicidas que não são lixiviados para o local onde está localizada a semente da cultura ou partes vegetativas utilizadas na propagação podem ser utilizados para o controle de plantas daninhas, mesmo em casos em que a cultura não é tolerante. Por outro lado, a lixiviação excessiva pode levar o herbicida até próximo às sementes em germinação ou às raízes da cultura, causando injúrias (OLIVEIRA JR.; BRIGHENTI, 2011).

O uso de colunas de solo para estudos de lixiviação de pesticidas proporciona uma boa aproximação das condições observadas em campo (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT – OECD, 2002). Portanto, o objetivo deste experimento foi avaliar o potencial de lixiviação do herbicida diurom em solo argiloso por 48 horas com simulação de chuva de 200 mm.

6.2. MATERIAL E MÉTODOS

Este experimento foi conduzido no Laboratório de Ecotoxicologia do CENA/USP (Centro de Energia Nuclear na Agricultura/Universidade de São Paulo),

localizado no município de Piracicaba-SP, nas coordenadas 22°42'30" de latitude Sul e 47°38'00" de longitude Oeste. O clima pela classificação de Koppen é do tipo Cwa, mesotérmico com verões quentes e úmidos e invernos secos.

O solo utilizado, classificado como Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico, foi proveniente de áreas sem aplicação de herbicidas do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos (CCA/UFSCar), localizado no município de Araras-SP. A coleta foi feita a partir da camada de 0-10 cm e sua análise química pode ser observada na tabela 1. Este solo foi seco ao ar e peneirado em malha de 2,0 mm para remoção de resíduos vegetais, torrões e outras impurezas para sua melhor homogeneização.

Tabela 1. Características químicas e físicas da amostra do solo utilizado no experimento.

Amostra	pH CaCl ₂	MO	P _{Resina}	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V%	Argila	Areia	Silte
		g dm ⁻³	mg dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³					%	g.kg ⁻¹		
0-20	5,7	28	17	1,2	23	10	25	34,9	59,9	58	660	150	190

Fonte: Laboratório de Física do Solo (CCA/UFSCar)

Este experimento seguiu protocolo da OECD (2002). Utilizou-se para o experimento três colunas de vidro (três repetições) de 0,50 m com 5 cm de diâmetro. As colunas de solo foram preparadas preenchendo a ponta das mesmas com lã de vidro e a parte cônica com areia de quartzo. O preenchimento com solo argiloso foi feito com 0,3 m de solo, sendo que a primeira coluna preenchida foi pesada e depositou-se a mesma quantidade nas demais colunas, que foi 753 g de solo. A montagem foi feita de forma cuidadosa para que as colunas fossem homogêneas em todo seu comprimento e não formassem bolhas de ar ou torrões, interferindo na lixiviação do produto (Figura 1). Após a montagem, as colunas foram levadas a uma sala climatizada com pouca luz e temperatura controlada entre 18 e 25 °C, e ali permaneceram até o encerramento das avaliações.

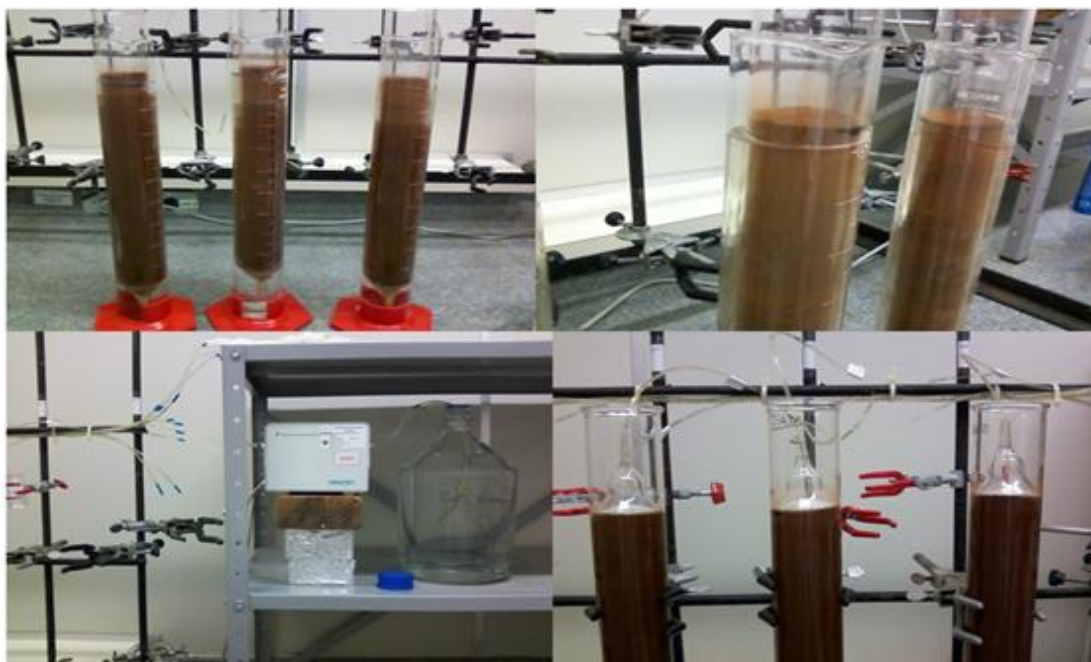
Posteriormente as colunas foram inundadas com solução CaCl₂ 0,01 mol.L⁻¹, sendo posicionadas dentro de provetas de 2L e preencheu-se cuidadosamente o espaço entre as duas vidrarias com a solução aquosa. As colunas foram mantidas desta forma até a umidade alcançar a superfície do solo (30 minutos), e depois foram retiradas das provetas e fixadas em suportes verticais, esperando a drenagem da solução das colunas

por cerca de 1 hora. Frascos do tipo Erlenmeyers foram colocados embaixo de cada uma das colunas, por aproximadamente 1 hora, para a coleta de solução salina excedente antes da aplicação do herbicida (Figura 2).

Figura 1. Montagem do experimento.



Figura 2. Saturação das colunas de solo (acima) e posicionamento para simulação de chuva (abaixo).



O herbicida diurom (^{14}C -diurom + produto técnico) foi aplicado na maior dose recomendada (4,0 kg p.c./ha), correspondente à 3.200 g i.a..ha⁻¹, utilizando micropipeta Nichiryo diretamente sobre a superfície do solo de cada coluna. Foi utilizado o produto comercial diurom (Karmex técnico) (3-[3,4-dichlorophenyl]-1,1-dimethylurea), da marca DuPont (pureza= 80%), e o diurom radiomarcado (^{14}C -diurom, com marcação no grupo carboxílico, atividade específica = 3,83 MBq.mg⁻¹; pureza radioquímica = 98 %). A solução de trabalho ficou composta por 3,5 µL de produto radioativo e 188,4 µL do produto técnico. Em cada coluna foi aplicado 200 µL de solução de trabalho com 19,3 kBq, aproximadamente.

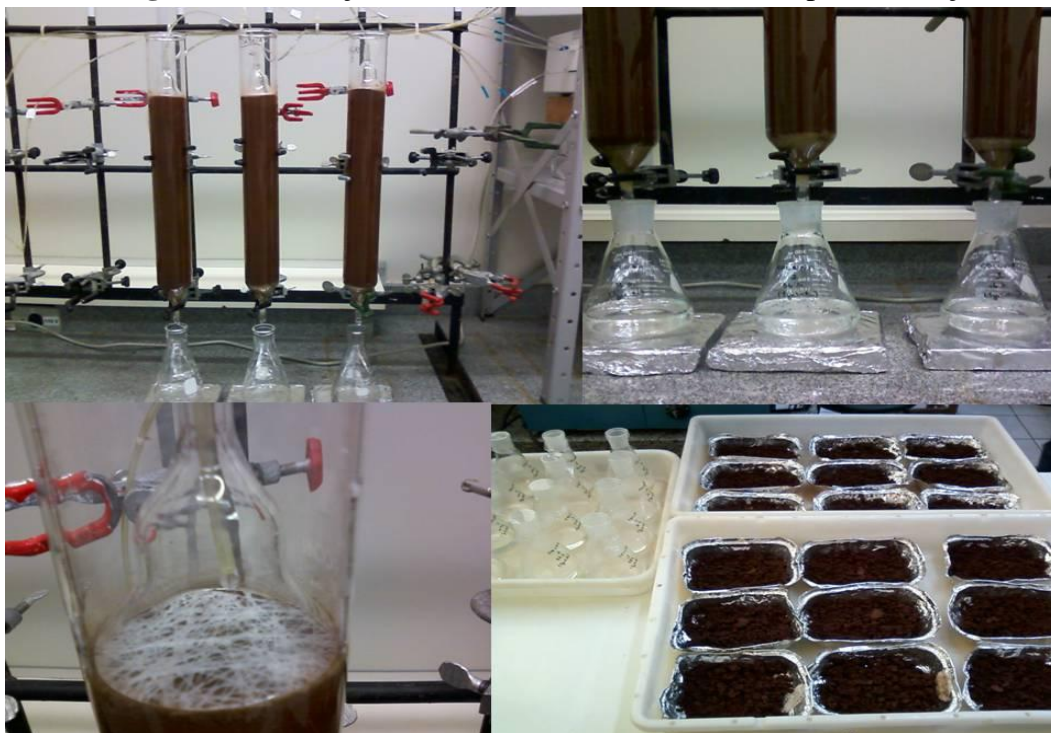
Discos de lã de vidro foram posicionados sobre a superfície do solo para que a simulação de precipitação fosse distribuída de forma mais homogênea possível. Em seguida, encaixou-se um funil invertido, onde se conectou a mangueira da bomba peristáltica pela qual a solução de CaCl₂ 0,01 mol.L⁻¹ foi bombeado.

O fluxo da solução em cada coluna foi de aproximadamente 8 mL.h⁻¹ por 48 horas, resultando em uma simulação de chuva de aproximadamente 200 mm. A cada 12 horas, coletou-se o lixiviado em Erlenmeyers e mediu-se o volume. Foram colocadas três alíquotas de 10 mL do lixiviado em frascos de cintilação pré-preparados com 10 mL de solução cintiladora (Insta-gel[®]) às 12, 24, 36 e 48 horas, e foi realizada a leitura em Espectrômetro de Cintilação Líquida 2200 TRI-CARB (Figura 3).

Após 48 horas, o fluxo de solução de CaCl₂ foi interrompido e as colunas foram retiradas dos suportes e armazenadas na horizontal. Para a análise do solo, injetou-se ar na ponta das colunas de vidro, forçando a saída do mesmo, que foi cortado em 6 partes de 0,05 m, resultando em seis camadas: 0m-0,05m; 0,05m-0,1m; 0,1m-0,15m; 0,15m-0,2m; 0,2m-0,25m; e 0,25m-0,3m (onde a origem era a parte superior da coluna). As amostras de solo foram colocadas em bandejas de alumínio, secas ao ar e posteriormente pesadas (Figura 3).

As amostras foram moídas para melhor homogeneização, utilizando-se moinho (MARCONI[®]). As amostras moídas e homogeneizadas foram transferidas para sacos plásticos devidamente etiquetados de onde três sub-amostras de 0,2 g foram retiradas e queimadas em oxidador biológico R.J. Harvey Instrument Corporation OX500, em barquinhas de porcelana. Analisou-se a quantidade de produto radiomarcado lixiviado.

Figura 3. Simulação de chuva nas colunas e material para avaliação.



Os resultados foram expressos em porcentagem das medias da radioatividade encontrada no lixiviado e em cada segmento da coluna de solo, em relação a radioatividade inicialmente aplicada.

6.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias do total lixiviado de diurom nas colunas de solo estão apresentados na tabela 2, expressos em porcentagem. De acordo com os procedimentos da OECD (2002), os valores de radioatividade recuperada devem ser em torno de 90 a 110%, e os resultados deste experimentos concordam com este padrão esperado. O herbicida diurom apresentou lixiviação menor que 1%, chegando a apenas 0,24% após 48h. Em relação as diferentes profundidades da coluna de solo, observou-se que a radioatividade ficou retida na camada de 0-0,05 m. Estes resultados foram semelhantes ao obtido por Dias (2012), em que utilizou colunas de solo com o produto radiomarcado, e o diurom também apresentou este comportamento nos diferentes tipos de solo utilizados, que variaram de textura mais argilosa a mais arenosa.

Tabela 2. Médias (%) do total lixiviado em relação ao total radiomarcado aplicado de diurom em solo argiloso, de 0 a 48 horas e nas diferentes camadas de solo.

Diurom – Latossolo Vermelho Escuro distrófico						
Porcentagem (%)						
Colunas de solo						
	Total lixiviado	Total oxidado	Total recuperado			
	0,30	93,96	94,26			
Horas Após Instalação (h)						
	12	24	36	48	Total	
	0,01	0,01	0,04	0,24	0,30	
Camadas de solo (m)						
0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20	0,20-0,25	0,25-0,30	Total
85,90	3,94	1,12	1,85	0,79	0,37	93,96

Em seu trabalho, Garcia et al. (2012) avaliou a influência de texturas de solo contrastantes na lixiviação de diurom, hexazinona e sulfometurom-metílico, isolados e em formulação comercial, sob simulação de 0 e 40 mm de chuva, utilizando colunas de solo montadas em tubos de PVC e a espécie *Ipomoea triloba* como planta bioindicadora. Os autores observaram que a lixiviação do diurom e do sulfomerutom-metílico foram baixas em ambos os solos, apenas pouco favorecido em solo arenoso. Aos 10 cm de profundidade, o controle das plantas daninhas ficou próximo a 60%, mostrando que a quantidade de produto ali foi insuficiente para o controle das plantas, ou seja, a lixiviação até esta camada foi muito baixa.

Inoue et al. (2008) estudaram a lixiviação do diurom com colunas de PVC em solos de textura franco-arenosa e argilosa e lâminas de água de 0, 20, 40, 60 e 80 mm. Os autores verificaram que sob precipitação de até 40 mm imediatamente após a aplicação do herbicida, a movimentação do diurom foi apenas na camada de 0-0,05 m, e acima de 60 mm ficou restrita a camada de 0,05-0,10 m no solo franco-arenoso. Já no solo argiloso, independente da lâmina de água aplicada, não houve diferenças entre as profundidades abaixo de 0,05 m, indicando ausência ou níveis muito baixos de diurom nas demais camadas. Assim, concluíram que o diurom apresenta baixa solubilidade e hidrofobicidade, o que explica sua pouca movimentação no solo.

Ainda segundo os autores, a interação hidrofóbica entre o diurom e a matéria orgânica do solo pode estar relacionada à sorção do herbicida ao solo, justificando assim os resultados observados em vários estudos (PRATA et al., 2000) de que quanto mais

elevado o teor de matéria orgânica do solo, maior a sorção do diurom, e conseqüentemente sua menor lixiviação. Solos de textura argilosa e de altos teores de matéria orgânica proporcionam maior retenção da água no perfil do solo, dificultando sua movimentação, o que também dificultará a movimentação de moléculas presentes na solução do solo, como as moléculas de diurom, diminuindo também seu potencial de lixiviação, independente da lâmina de água aplicada (INOUE et al., 2008).

Portanto, como observado neste experimento, o diurom apresentou baixa lixiviação em solo argiloso, mesmo 48 horas após a aplicação do produto radiomarcado na coluna de solo, ficando este retido na camada de 0-0,05 m de profundidade.

6.4. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que o diurom, devido a suas características físico-químicas fica altamente retido em solo argiloso e apresentando baixo potencial de lixiviação mesmo com uma precipitação de 200 mm.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DIAS, A. C. R. Lixiviação, mobilidade, degradação, mineralização e atividade microbiana de herbicidas em função de atributos de cinco tipos de solos. Piracicaba, 2012. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP) – Piracicaba-SP, 2012.

GARCIA, D. B.; ALVES, S. N. R.; CASON, J. B.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Lixiviação de diuron, hexazinone e sulfometuron-methyl em formulação comercial e isoladamente em dois solos contrastantes. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.11, n.2, p.222-230, 2012.

GEVAO, B.; SEMPLE, K. T.; JONES, K. C. Bound pesticide residues in soils: a review. **Environ. Pollut.**, v. 108, p. 3-14, 2000.

GUIMARÃES, L. G. Impactos Ecológicos do Uso de Herbicidas ao Meio Ambiente. **Série Técnica IPEF** – Piracicaba, v.4, n.12, p.159-180, 1987.

INOUE, M. H.; OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; ALONSO, D. G.; SANTANA, D.C. Lixiviação e degradação de diuron em dois solos de textura contrastante. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.30, n.5, p.631-638, 2008.

LAW, S. E. Agricultural electrostatic spray application: a review of significant research and development during the 20th century. **J. Electrostat.**, v.51/52, p.25-42, 2001.

- MONQUERO, P. A.; SILVA, P. V.; HIRATA, A. C.; TABLAS, D. C.; ORZARI, I. Lixiviação e Persistência dos Herbicidas sulfentrazone e imazapique. **Planta Daninha**, v.28, n.1, p.185-195, 2010.
- MOURA, M. A. M.; FRANCO, D. A. S; MATALLO, M. B. Impactos de Herbicidas sobre os Recursos Hídricos. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, junho/2008.
- OLIVEIRA, M. F.; BRIGHENTI, A. M. Comportamento dos Herbicidas no Ambiente. In: OLIVEIRA JR, R. S. et al., **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**, cap.7, p.263-304, 2011.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Leaching in soil columns**. Outubro, 2002. 15 p. (OECD Guidelines for Testing of Chemicals – Revised Proposal for a New Guideline 312).
- PRATA, F.; LAVORENTI, A.; REGITANO, J.B.; TORNISIELO, V.L. Degradação e adsorção de diuron em solos tratados com vinhaça. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.24, n.1, p.217-223, 2000.
- PRATA, F. et al. Glyphosate sorption and desorption in soils with different phosphorous levels. **Sci. Agric.**, v.60, n.1, p.175-180, 2003.
- ROMAN, E. E., BECKIE, H., VARGAS, L., HALL, L., RIZZARDI, M. A.; WOLF, T. M. **Como funcionam os herbicidas da biologia à aplicação**. Passo Fundo: Gráfica Editora Berthier, 160 p., 2007.
- SILVA, L. O. C.; SILVA, A. A.; QUEIROZ, M. E. L. R.; LIMA, C. F.; SILVA, L. L.; D'ANTONINO, L. Mobilidade do Ametryn em Latossolos Brasileiros. **Planta Daninha**, v.30, n.4, p.883-890, 2012.
- PINTO, J. J. O. NOLDIN, J. A.; SOUSA, C. P.; AGOSTINETTO, D.; PIVETA, L.; DONIDA, A. Atividade Residual de imazethapyr+imazapique em Arroz Semeado em Rotação com o Arroz Clearfield. **Planta Daninha**, v.29, n.1, p.205-216, 2011.
- VELINI, E. D. Comportamento de herbicidas no solo. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE MANEJO DE PLANTAS DANINHAS EM HORTALIÇAS, 1992, Botucatu. **Resumos...** Botucatu: p.44-64, 1992.
- WEBER, B. J.; WILKERSON, G. G.; REINHARDT, C. F. Calculating pesticide sorption coefficients (Kd) using selected soil properties. **Chemosphere**, v.55, n.2, p.157-166, 2004.

7. CONCLUSÕES GERAIS

Com este trabalho, pode-se concluir que:

- As plantas apresentaram maior fitotoxicidade entre 15 e 45 DAE e apresentaram recuperação positiva até os 90 DAE nas doses de 0,5D e 1D;
- A cultivar RB975157, de modo geral, foi a mais sensível, apresentou maiores problemas de emergência e sintomas de fitotoxicidade. Da mesma forma, a RB867515 e a RB966928 mostraram-se medianamente sensíveis aos produtos e doses aplicados, e as cultivares RB975952 e RB985476 foram as que menos apresentaram efeitos dos herbicidas;
- Os herbicidas que causaram maior fitotoxicidade foram o imazapir e o imazapique, e o que causou menores danos às plantas foi o metsulfurometílico;
- Em pré-emergência, o herbicida diurom ficou altamente retido no solo, apresentando baixa absorção e translocação nas plantas;
- A cultivar RB975157 foi a que apresentou maiores porcentagens da molécula radiomarcada nos toletes quando aplicado diurom em pré-emergência;
- Em pós-emergência, a maior parte do diurom não foi absorvido pelas folhas tratadas ao longo de 48h;
- A absorção pelas folhas aumentou ao longo do tempo, contudo a translocação do produto foi mínima para as três cultivares testadas, ficando retido nas folhas tratadas;
- O diurom, devido a suas características físico-químicas fica altamente retido em solo argiloso e apresentando baixo potencial de lixiviação mesmo com uma precipitação de 200 mm.