**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Dinâmica de herbicidas residuais na palha de cana-de-açúcar e
correlação com a eficácia de manejo de plantas daninhas**

Ana Beatriz Campos Almeida Prado

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração:
Fitotecnia

**Piracicaba
2013**

Ana Beatriz Campos Almeida Prado
Engenheira Agrônoma

**Dinâmica de herbicidas residuais na palha de cana-de-açúcar e correlação com
a eficácia de manejo de plantas daninhas**

Orientador:
Prof. Dr. **PEDRO JACOB CHRISTOFFOLETI**

Dissertação apresentada para obtenção do título
de Mestra em Ciências. Área de concentração:
Fitotecnia

**Piracicaba
2013**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Prado, Ana Beatriz Campos Almeida

Dinâmica de herbicidas residuais na palha de cana-de-açúcar e correlação com a eficácia de manejo de plantas daninhas / Ana Beatriz Campos Almeida Prado.- - Piracicaba, 2013.

85 p: il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2013.

1. Controle 2. Diuron 3. Metribuzin 4. Tebuthiuron 5. Corda-de-violão I. Título

CDD 632.58
P896d

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Aos meus queridos e amados pais, João Sérgio de Almeida Prado Filho e Ana Brandina Bueno Pires de Campos Almeida Prado e às minhas irmãs, Cacá, Camila e Nina que sempre me acompanharam e me incentivaram em todos os momentos da minha vida,

DEDICO

Ao meu querido avô José Luiz Pires de Campos (*in memoriam*), que fez despertar em mim o gosto pela terra,

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

- A Deus pela minha existência e por me tornar mais confiante;
- À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, por mais esta etapa da vida acadêmica;
- Ao Professor Dr. Pedro Jacob Christoffoleti pela orientação, confiança, amizade e contribuição para a minha formação acadêmica, profissional e pessoal;
- Ao Eng. Agr. Dr. Marcelo Nicolai pelos ensinamentos e importantes contribuições ao longo do curso;
- Ao Professor Dr. Valdemar Luiz Tornisielo e Dra. Ana Carolina Ribeiro Dias pelos ensinamentos, ajuda, paciência e conselhos que engrandeceram esta pesquisa;
- Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, especialmente ao Laboratório de Ecotoxicologia;
- Ao Professor Dr. Robinson Osipe por ter me direcionado a esta área de pesquisa, ao incentivo à pesquisa e pela amizade;
- Ao Eng. Agrônomo Marcelo Alves Corrêa pelo suporte e auxílio com as análises estatísticas;
- Ao Grupo de Plantas Daninhas, grandes amigos e colegas de trabalho: Marcel Sereguin Cabral de Melo, Flávio Eduardo Botelhos Obara, Caio Augusto Grossi Brunharo, Marcelo Figueiredo, Lucas Elache Rosa pela ajuda indispensável, ensinamentos, paciência e amizade;
- Ao Gerente de Aplicação de Defensivos Agrícolas, Usina Iracema, Msc. Luiz Henrique Franco de Campos por autorizar a coleta de palha utilizada no estudo.
- Ao Departamento de Produção Vegetal por toda a infraestrutura oferecida para que esta pesquisa fosse realizada;
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa concedida, em nível de mestrado;
- Aos técnicos Osmair Roberto das Neves e Rodrigo Pimpinato pela importante colaboração para a realização desta pesquisa;
- Aos colegas Fabrícia, Bruna, Ana Paula, Felipe e Camila pela amizade, ajuda, paciência e conselhos;
- Às minhas queridas amigas Rafaela Lorenzato Carneiro e Ayeska Hübner pela grande amizade, atenção e conselhos compartilhados durante a pós graduação;

- Às minhas queridas amigas da República Saia Justa pela amizade, carinho e momentos de descontração;
- À Luciane, secretária do PPG Fitotecnia da ESALQ-USP, pela grande ajuda e amizade;
- Às minhas avós, Elza Bueno Pires de Campos e Ézora Alvim de Almeida Prado pelo carinho e apoio;
- A todos os professores da ESALQ-USP que enriqueceram minha formação acadêmica e profissional;
- A todos que, de alguma forma, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO	13
Referências	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 A cultura da cana-de-açúcar e as mudanças no sistema de colheita.....	19
2.2 As plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar.....	20
2.3 Efeito da palha sobre as plantas daninhas.....	22
2.4 Utilização de herbicidas no sistema de produção de cana-de-açúcar.....	24
2.5 Aplicação de herbicidas pré-emergentes sobre a palha da cana-de-açúcar.....	25
Referências	27
3 INTERAÇÕES ENTRE DOSE E QUANTIDADE DE PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR NO CONTROLE DA PLANTA DANINHA <i>Ipomoea grandifolia</i> ATRAVÉS DOS HERBICIDAS DIURON, METRIBUZIN E TEBUTHIURON.....	35
Resumo	35
Abstract	35
3.1 Introdução	36
3.2 Material e métodos	37
3.3 Resultados e Discussão	40
3.4 Conclusões.....	47
Referências	47
4 SORÇÃO E DESSORÇÃO DE ¹⁴ C-DIURON E ¹⁴ C-METRIBUZIN EM PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	51
Resumo	51
Abstract	51
4.1 Introdução	52
4.2 Material e métodos	53

4.3 Resultados e Discussão	56
4.3.1 Estudo I – Sorção e dessorção após 24 horas	56
4.3.2 Estudo II – Sorção e dessorção após sete dias	62
4.4 Conclusões	66
Referências.....	67
5 DINÂMICA DE HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES NA PALHA DE CANA-DE- AÇÚCAR SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS.....	71
Resumo	71
Abstract.....	71
5.1 Introdução.....	72
5.2 Material e métodos	73
5.3 Resultados e discussão	74
5.3.1 <i>Ipomoea grandifolia</i>	74
5.3.2 <i>Cucumis sativus</i>	79
5.4 Conclusões	82
Referências.....	82
6 CONCLUSÕES GERAIS	85

RESUMO

Dinâmica de herbicidas residuais na palha de cana-de-açúcar e correlação com a eficácia de manejo de plantas daninhas

Nos sistemas de colheita mecanizada de cana-de-açúcar é depositada sobre o solo camada de palha, em quantidades que variam de 5 a 20 ton ha⁻¹, e ocasionam mudanças na flora infestante, adaptadas às essas condições. A aplicação de herbicidas residuais sobre a palha de cana-de-açúcar gera dúvidas, pois as informações sobre a maioria dos produtos recomendados são escassas, no que diz respeito à retenção/transposição dos mesmos. A presente pesquisa teve como objetivo avaliar a dinâmica dos herbicidas diuron, metribuzin e tebuthiuron, quando aplicados na cultura da cana-de-açúcar, sobre a palha, através de ensaios de sorção e dessorção, e também quando aplicados sobre diferentes quantidades de palha e condições de chuva simulada. A interação entre dose e quantidade de palha de cana-de-açúcar no controle da planta daninha *Ipomoea grandifolia*, foi estudada através de curvas de dose-resposta, utilizando seis doses (0, ¼ D, ½ D, D (dose recomendada), 2D, 4D) em quatro quantidades de palha (0, 5, 10 e 15 ton ha⁻¹). Para os estudos de sorção e dessorção utilizou-se produtos radiomarcados e cinco concentrações iniciais de diuron e metribuzin. A contagem da radioatividade foi obtida através espectrometria de cintilação líquida, e a quantidade da substância teste sorvida foi determinada pela diferença entre a concentração inicial e a concentração de equilíbrio. Foram realizados dois estudos independentes, em que a dessorção ocorreu 24 horas e sete dias após a sorção. No estudo de dinâmica em diferentes regimes hídricos foram testados seis níveis para o fator chuva simulada (Testemunha, 0, 5, 10, 20 e 20+20 mm), três herbicidas (diuron, metribuzin e tebuthiuron) e duas quantidades de palha (0 e 10 ton ha⁻¹), com quatro repetições. Foram utilizadas as doses comerciais para diuron (2.000 g i.a. ha⁻¹), metribuzin (1.920 g i.a. ha⁻¹) e tebuthiuron (1.200 g i.a. ha⁻¹). Nos estudos de interação entre dose e quantidade de palha verificou-se que a dose dos herbicidas necessárias para um controle eficaz de *I. grandifolia* varia significativamente com a quantidade de palha sobre o solo, principalmente nas quantidades de 10 a 15 ton ha⁻¹. No processo de sorção, o herbicida diuron foi mais retido pela palha quando comparado ao metribuzin, sendo fracamente sorvidos à palha. Sete dias não foi suficiente para tornar o processo de sorção de diuron e metribuzin irreversível. No estudo de dinâmica dos herbicidas, a palha afetou de maneira significativa o controle de plantas daninhas pelos herbicidas na ausência de chuva simulada, sendo que uma chuva simulada de 20 mm foi suficiente para promover lixiviação de todos os herbicidas para o solo, e promover excelentes níveis de controle das plantas daninhas.

Palavras-chave: Controle; Diuron; Metribuzin; Tebuthiuron; Corda-de-viola

ABSTRACT

Soil applied herbicide dynamics in sugarcane straw and correlation with weed management efficacy

In the system of mechanized sugarcane harvest it is deposited on the soil surface a straw layer, which varies from 5 to 20 ton ha⁻¹, and causes changes in weed, selecting the weeds better adapted to these conditions. The use of residual herbicides on the straw of sugarcane generates doubts, because much of the information about the recommended products are scarce, regarding to the retention/transferring. This study aimed to evaluate the dynamics of diuron, tebuthiuron and metribuzin when applied on sugarcane, and straw through sorption and desorption tests and as well as when applied to different quantities of straw and conditions of simulated rain. The interaction between herbicide dose and amount of sugarcane straw on the control of the weed *Ipomoea grandifolia* was performed using dose-response curves with six doses (0, ¼ D, ½ D, D (recommended dose), 2D, 4D) in four amounts of straw (0, 5, 10 and 15 ton ha⁻¹). For the studies of sorption and desorption it was used radiolabeled products and five initial concentrations of diuron and metribuzin. The counting of radioactivity was obtained by liquid scintillation spectrometry, and the amount of sorbed test substance was determined by the difference between the initial concentration and the equilibrium concentration. It was performed two independent studies in which the desorption occurred 24 h and seven days after the sorption. In the study of dynamic in different water regimes it was tested six levels of simulated rain factor (control, 0, 5, 10, 20 and 20 +20 mm), three herbicides (diuron, tebuthiuron and metribuzin), and two amounts of straw (0 and 10 ton ha⁻¹), with four replications. The commercial rates were diuron (2.000 g i.a. ha⁻¹), metribuzin (1.920 g i.a. ha⁻¹) and tebuthiuron (1.200 g i.a. ha⁻¹). It was evaluated the visual control of *Ipomoea grandifolia* and *Cucumis sativus*. The study of interaction between dose and amount of straw showed that the dose of herbicide required for effective control of *I. grandifolia* varies significantly with the amount of straw on the soil, especially in amounts between 10 and 15 ton ha⁻¹. In the sorption process, the herbicide diuron is retained more as compared to metribuzin, and weakly sorbed to the straw. Seven days were not enough to make the process of sorption of metribuzin and diuron irreversible. In the study of herbicide dynamic, the straw significantly affected the weed control by herbicides in the absence of rain, and a rain of 20 mm was sufficient to promote all herbicides leaching into the soil, and promote excellent levels of weed control.

Keywords: Control; Diuron; Metribuzin; Tebuthiuron; Morning-glory

1 INTRODUÇÃO

A produção de cana-de-açúcar vem aumentando em importância no Brasil, principalmente nas últimas décadas por ser uma importante fonte de energia renovável, em melhor condição de substituir parte do petróleo consumido no mundo, e capaz de suprir a alta demanda por energia. O cultivo da cana intensificou-se principalmente na região Centro-Sul do país, que representa 88% da produção de cana-de-açúcar do Brasil (UNICA, 2012). A produção estimada para a safra 2012/2013 é de aproximadamente 660 milhões de toneladas, em uma área colhida de aproximadamente 9,6 milhões de hectares em todo o Brasil (AGRIANUAL, 2013).

No sistema de produção de cana-de-açúcar a interferência negativa imposta pela presença das plantas daninhas que infestam as áreas cultivadas é um dos pontos mais críticos para a cultura (KUVA et al., 2000). As plantas daninhas interferem negativamente na cultura da cana-de-açúcar, por liberar substâncias alelopáticas, hospedar pragas e doenças que infestam a cultura, dificultar práticas culturais e colheita, depreciar o produto e, principalmente, competir por fatores limitantes do meio como, por exemplo, água, luz e nutrientes (KUVA et. al 2007). Além disso, pode aumentar os custos de produção em cerca de 30% para cana soca e 15% a 25% em áreas de cana planta (LORENZI, 1988).

Nos últimos anos o sistema de produção de cana-de-açúcar passou por mudanças devido aos impactos ambientais e sociais causados pela queima da cana-de-açúcar para facilitar a colheita manual. De acordo com Souza et al. (2005) a colheita mecanizada da cana-de-açúcar passou a ser cada vez mais presente nos sistemas de produção no Brasil nos últimos anos.

No sistema de colheita mecanizada denominado de cana crua é depositada sobre o solo uma camada com cerca de 5 a 20 toneladas de palha por hectare (NEGRISOLI, et al, 2007). A presença de palha na superfície do solo afeta o estabelecimento e o crescimento das plantas daninhas em áreas cultivadas, reduzindo a amplitude térmica do solo, interceptando alguns comprimentos de luz necessários à germinação de algumas espécies de plantas daninhas, formando uma barreira física à emergência (CAVENAGHI et al, 2007). A partir destas mudanças, tem-se notado que em áreas de “cana crua” estão sendo selecionadas infestações de *Euphorbia heterophylla* e *Ipomoea* spp. (MARTINS et al., 1999).

Convolvuláceas pertencentes aos gêneros *Ipomoea* e *Merremia*, possuem destaque entre as plantas daninhas que podem causar sérios danos à cultura da cana-de-açúcar, principalmente em áreas de colheita mecanizada (ALVES, 2010). Além de competirem com a cultura, podem interferir nas práticas culturais, especialmente na colheita mecanizada, reduzindo a eficiência de colhedoras (AZÂNIA et al., 2002).

O uso de herbicidas residuais sobre a palha de cana-de-açúcar vem sendo considerado um grande desafio no sistema de cana crua, pois as informações sobre grande parte dos produtos recomendados são escassas, no que diz respeito à retenção/transposição e consequente efeito dos mesmos (TIMOSSÍ; DURIGAN, 2006). A aplicação de herbicidas em pré-emergência está sujeita à interferência de variáveis adicionais àquelas que interferem nos herbicidas aplicados diretamente no solo. (CHRISTOFFOLETI; LOPEZ-OVEJERO, 2009).

A eficácia de controle de plantas daninhas pelos herbicidas é afetada pela presença de palha e depende do mecanismo de ação dos herbicidas (SELIM et al., 2003). Alguns herbicidas são mais retidos pela palha do que outros (FORNAROLLI et al., 1998), que pode estar relacionado com as características físico-químicas de cada herbicida, com a quantidade e origem da palha, e com a intensidade e época da ocorrência de chuvas após a aplicação dos produtos (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005). A retenção refere-se à habilidade de um composto reter uma molécula orgânica, e constitui-se primariamente no processo de adsorção, incluindo também a absorção pelas plantas e degradação pelos microrganismos (OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011). Selim et al. (2003) constataram que a presença da palha sobre a superfície do solo promoveu redução da quantidade de atrazina presente no mesmo, e foi encontrada em maior concentração na palha do que quando comparada ao solo. Portanto a retenção de herbicidas pela palha pode ser prejudicial à eficácia dos mesmos no controle de plantas daninhas.

Os herbicidas diuron, metribuzin e tebuthiuron são utilizados em larga escala na cultura da cana-de-açúcar apresentam o mesmo mecanismo de ação, inibidores do Fotossistema II (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). No entanto, apresentam características físico-químicas bem distintas, que determinam comportamentos distintos quando aplicados em áreas com palha. Portanto, é necessário estudar a capacidade de sorção destes herbicidas pela palha e consequente disponibilização para as plantas. A hipótese desta pesquisa é de que os herbicidas que apresentam

menores coeficientes de adsorção (Koc) na palha são mais lixiviados até o solo com a chuva ou irrigação e conseqüentemente sua eficácia de controle de plantas daninhas é mantida.

A presente pesquisa teve como objetivo avaliar a dinâmica dos herbicidas diuron, metribuzin e tebuthiuron, quando aplicados na cultura da cana-de-açúcar, sobre a palha, através de ensaios de sorção e dessorção medidas em condições de laboratório e experimentos em casa de vegetação em diferentes condições de chuva. Sendo assim, foi possível com os ensaios correlacionar a dinâmica destes herbicidas na palha com a eficácia de controle de plantas daninhas. Portanto os objetivos específicos das três etapas do trabalho foram: (i) avaliar a dinâmica dos herbicidas diuron e metribuzin aplicado sobre a palha de cana-de-açúcar através de estudos de sorção e dessorção utilizando produtos radiomarcados; (ii) estudar a transposição dos herbicidas diuron, metribuzin e tebuthiuron na palha, simulando diferentes precipitações em casa de vegetação; (iii) correlacionar a eficácia dos herbicidas diuron, metribuzin e tebuthiuron com diferentes quantidades de palha sobre a superfície do solo, utilizando curvas de dose-resposta.

Referências

ALVES, S.N.R. **Efeito residual de herbicidas aplicados em pré-emergência em diferentes condições de restrição hídrica no solo na cultura da cana-de-açúcar.** 2010. 127p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

AZANIA, A.A.P.M.; AZANIA, C.A.M.; GRAVENA, R.; PAVANI, M.C.M.D.; PITELLI, R.A. Interferência da palha de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) na emergência de espécies de plantas daninhas da família convolvulaceae. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 20, n. 2, p. 207-212, 2002.

CAVENAGHI, A.L.; ROSSI, C.V.S.; NEGRISOLI, E.; COSTA, E.A.D.; VELINI, E.D.; TOLEDO, R.E.B. Dinâmica do herbicida amicarbazone (Dinamic) aplicado sobre palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 25, p. 831-837, 2007.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; LOPEZ-OVEJERO, R.F.; DAMIN, V.; CARVALHO, S.J.P.; NICOLAI, M. Interações dos fatores ambientais com os herbicidas aplicados ao solo e as consequências agrônômicas. In: _____ **Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Editora CP 2, 2009. cap. 4, p. 33-60.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. Maçã. In _____. **Agrianual 2013**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, Informa Economics, v. 18, 480p. 2013.

FORNAROLLI, D.A.; RODRIGUES, B.N.; LIMA, J.; VALÉRIO, M.A. Influência da cobertura morta no comportamento do herbicida atrazine. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 16, n. 2, p. 97-107, 1998.

KUVA, M.A.; PITELLI, R.A.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; ALVES, P.L.C.A. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. I – Tiririca. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 18, n. 2, p. 241-251, 2000.

KUVA, M.A.; PITELLI, R.A.; SALGADO, T.P.; ALVES, P.L.C.A. Fitossociologia de comunidades de plantas daninhas em agroecossistema cana-crua. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 25, n. 3, p. 501-511, 2007.

LORENZI, H. Plantas daninhas e seu controle na cultura da cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 4., 1988, Piracicaba. **Anais...** São Paulo: COPERSUCAR, 1988. p. 281-301.

MARTINS, D.; VELINI, E.D.; MARTINS, C.C.; SOUZA, L. S. Emergência em campo de dicotiledôneas infestantes em solo coberto com palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 17, n. 1, p. 151-161, 1999.

NEGRISOLI, E.; VELINI, E.D.; ROSSI, C.V.S.; CORREIA, T.M.; COSTA, A.G.F. Associação do herbicida tebuthiuron com a cobertura de palha no controle de plantas daninhas no sistema de cana-crua. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 25, n. 3, p. 621-628, 2007.

OLIVEIRA, M.F.; BRIGHENTI, A. M. Comportamento de herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA JÚNIOR, R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Curitiba: Editora Omnipax, 2011. cap. 11, p. 263-304.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 5. ed. Londrina: Edição dos autores, 2005. 592p.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 6. ed. Londrina: Edição dos autores, 2011. 697p.

SELIM, H.M.; ZHOU, L.; ZHU, H. Herbicide retention as affected by sugarcane mulch residue. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 32, n. 4, p.1445-1454, 2003.

SOUZA, Z.M.; PRADO, R.M.; PAIXÃO, A.C.S.; CESARIN, L.G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 3, p. 271-278, 2005.

TIMOSSI, P.C.; DURIGAN, J.C. Manejo de convolvuláceas em dois cultivares de soja semeada diretamente sob palha residual de cana crua. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 24, n. 1, p. 91-98, 2006.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR DE SÃO PAULO – UNICA – Relatório de acompanhamento de safra 2012/2013 < Disponível em: <http://www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=63> >Acesso em: 20 Dez. 2012.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura da cana-de-açúcar e as mudanças no sistema de colheita

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), originária da Índia, está presente em todo o mundo, numa faixa localizada entre os paralelos 22° ao norte e ao sul do Equador (HERNANDEZ et al., 2001). A cultura da cana-de-açúcar foi introduzida no Brasil em 1553, e desde então vem se estabelecendo de forma definitiva nas regiões Centro-sul e Nordeste (PROCÓPIO et al., 2003). O cultivo da cana intensificou-se principalmente na região Centro-Sul do país, que representa 88% da produção de cana-de-açúcar do Brasil (UNICA, 2012). A produção estimada para a safra 2012/2013 é de aproximadamente 660 milhões de toneladas, em uma área colhida de aproximadamente 9,6 milhões de hectares em todo o Brasil (AGRIANUAL, 2013). Esse crescimento está relacionado com o aumento da frota de carros flexfuel no país, e a consequente expansão do mercado de etanol no país, e também com o incentivo ao uso de energias de fontes renováveis e menos poluentes, impostas por pressão da sociedade (FRANCONERE, 2010).

O processo de queima do canavial que ocorre antes da colheita está sendo substituído pela colheita mecanizada da cana-de-açúcar, por imposições da legislação e pela consciência ambiental que se amadurece na sociedade brasileira (FERREIRA et al., 2010). Em 2002, no Estado de São Paulo foi assinada a Lei Estadual nº11241 determinando a proibição da queima de palha antes da colheita, em áreas possíveis de realizar colheita mecanizada (declividade menor que 12%), até 2021 (SÃO PAULO, 2002). Contudo, em 2007 o Protocolo Etanol Verde, iniciativa do governo estadual e do setor sucroenergético, antecipou esse prazo para 2014 em áreas mecanizáveis e para 2017 em áreas não mecanizáveis.

Devido a estas mudanças, de acordo com Souza et al.(2005) a colheita mecanizada passou a ser cada vez mais presente nos sistemas de produção de cana-de-açúcar no Brasil. Na safra 2011/2012 a colheita mecanizada estava presente em 65% das áreas canavieiras do Estado de São Paulo, que representa cerca de 3,5 milhões de hectares (CANASAT, 2013).

A colheita sem queima deixa sobre o solo folhas, bainhas, ponteiro, e uma quantidade variável de pedaços de colmo são cortados, triturados e lançados sobre a superfície do solo, além disso, formam uma cobertura de resíduo vegetal (*mulch*)

denominada palha (MONQUERO et al., 2009), que pode superar 20 toneladas por hectare (CORREIA; DURIGAN, 2004).

A presença da palha proporciona alguns efeitos benéficos como aumento no teor de matéria orgânica no solo, maior ciclagem de nutrientes, propriedades físicas e químicas do solo mais adequadas, controle de erosão, maior atividade microbiana e diminuição na infestação de plantas daninhas. No entanto, possui algumas desvantagens como, por exemplo, menor brotação de soqueira, aumento da incidência de pragas, principalmente de cigarrinha e problemas com excesso de umidade, em áreas de menor altitude (VICTORIA FILHO; CHRISTOFFOLETI, 2004).

2.2 As plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar

A presença de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar aumenta significativamente os custos de produção. Lorenzi (2006) estima que as perdas de produtividade possam alcançar entre 20% e 30% e elevar os custos de produção de cana soca em 30% e de 15% a 20% para cana planta. Como em qualquer outra cultura, a infestação de plantas daninhas é uma séria ameaça à produtividade da cana-de-açúcar e chega a reduzi-la em até 86% (LORENZI, 1983), dependendo do grau de infestação e da espécie.

Apesar da cana-de-açúcar ser uma planta C4 e utilizar os recursos disponíveis para o seu crescimento de maneira eficiente, é afetada nas fases iniciais de crescimento pelas plantas daninhas, pois muitas das espécies também pertencem ao grupo das plantas C4 (VICTORIA FILHO; CHRISTOFFOLETI, 2004), resultando em perdas de produtividade. Em áreas de plantio, principalmente no período seco do ano no Estado de São Paulo, as perdas de produtividade ocasionada pela presença das plantas daninhas foram diferentes de acordo com a espécie infestante. Em áreas onde havia a presença de *B. decumbens* e *Panicum maximum*, a produtividade reduziu em 40% (KUVA et al., 2003), áreas infestadas apenas por *Brachiaria decumbens*, tiveram uma redução de até 82% (KUVA et al., 2001) e áreas com infestação de tiririca tiveram 20% de redução na produtividade (KUVA et al., 2000).

A interferência negativa na cultura da cana-de-açúcar exercida pela infestação de plantas daninhas está relacionada a diversas ações como liberar de substâncias alelopáticas, hospedar pragas e moléstias que atacam a cultura,

dificultar práticas culturais e colheita, depreciar o produto e, principalmente, competir por fatores limitantes do meio como, por exemplo, água, luz e nutrientes (KUVA et al., 2007).

O grau de interferência depende de diversos fatores ligados à comunidade infestante (composição específica, densidade e distribuição), à própria cultura (espécie, variedade ou cultivar, espaçamento e densidade de plantio) e a época e duração do período de convivência. Além disso, pode ser influenciado pelas condições climáticas, edáficas e de tratos culturais (PITELLI, 1987).

Existem três períodos de interferência das plantas daninhas que foram propostos por Pitelli e Durigan (1984): período anterior à interferência (PAI) é o período em que a cultura pode conviver com a comunidade infestante sem que sua produtividade seja afetada negativamente; período total de prevenção à interferência (PTPI), representado pelo período desde a emergência ou do plantio em que a cultura deve ser mantida livre da presença de plantas daninhas para que sua produtividade não seja reduzida; e período crítico de prevenção à interferência (PCPI) em que a presença das plantas daninhas interferem de maneira crítica na produtividade e após este período não afetarão mais. O estudo destes períodos determina o período em que efetivamente os métodos de controle devem atuar (KUVA, et al., 2000). O período crítico manifesta-se, em média, até 90 dias após a emergência da cana (KUVA et al., 2001, 2003).

As plantas daninhas interferem tanto em cana planta como em soqueiras. A época de plantio bem distinta entre as regiões produtoras (Centro- Sul e Nordeste) vai interferir nas espécies predominantes e no processo de interferência com a cultura (VICTORIA FILHO; CHRISTOFFOLETI, 2004). Dentre as plantas daninhas mais importantes nas áreas canavieiras encontram-se o capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*), capim-marmelada (*Brachiaria plantaginea*), capim-colonião (*Panicum maximum*), capim-colchão (*Digitaria* spp.), capim-camalote (*Rottelia exaltata*) e a grama-seda (*Cynodon dactylon*). Além das gramíneas, outras plantas como corda-de-viola (*Ipomoea* spp), tiririca (*Cyperus rotundus*) e picão-preto (*Bidens* sp.) também são causadoras de grandes prejuízos a cultura. Ainda na região Nordeste, outras espécies apresentam muita importância como: capim-fino (*Brachiaria mutica*), capim-gengibre (*Paspalum maritimum*), erva-de-rola (*Cróton lobatus*) e burra-leiteira (*Chamaecrista hirta*) (PROCÓPIO et al., 2003).

2.3 Efeito da palha sobre as plantas daninhas

O sistema cana crua deixa sobre o solo uma espessa camada de palha, que irá influenciar de várias formas no controle de plantas daninhas. Em áreas de colheita de cana crua são deixadas sobre o solo de 5 a 20 toneladas de palha por hectare (CAVENAGHI et al., 2007).

A supressão de plantas daninhas por coberturas mortas é atribuída a fatores físicos, químicos e biológicos (TREZZI; VIDAL, 2004). A presença de palha tem como efeito físico redução da penetração de luz e diminuição da temperatura do solo. De acordo com Pitelli e Durigan (2001) o efeito físico além de causar o impedimento da passagem quantitativa e qualitativa da radiação solar, também diminui a oscilação térmica e variação da umidade na camada superficial do solo, que favorece a redução no início do crescimento ativo do embrião das sementes fotoblásticas positivas e de sementes que necessitam de alternância de temperatura para germinar (PAES; REZENDE, 2001). Velini e Negrisoni (2000) observaram que a palha de cana-de-açúcar causou redução drástica de variação da temperatura do solo a um e a cinco centímetros de profundidade.

A adição de resíduos de plantas à superfície do solo pode alterar a relação C / N na camada de solo, o que pode estimular indiretamente o banco de sementes de plantas daninhas a emergir (CHRISTOFFOLETI et al., 2007). Os resíduos vegetais podem liberar compostos alelopáticos (TREZZI; VIDAL, 2004). A alelopatia pode ser definida como a capacidade de uma planta ou microrganismo de produzir e libertar compostos bioquímicos que inibem ou afetam o crescimento e desenvolvimento de outras plantas (CHRISTOFFOLETI et al., 2007).

O efeito biológico exercido pela cobertura de palha é a interferência na sobrevivência do banco de sementes, em que as sementes ficam suscetíveis à ação de predadores de grande porte, como pássaros e roedores (PITELLI, 1987), que danificam fisicamente as sementes, afetando sua viabilidade (VIDAL; THEISEN, 1999).

Sistemas conservacionistas atuam diretamente na seleção de espécies de plantas daninhas que são capazes de emergir e se desenvolver em solo coberto com palha, determinando a flora infestante daquelas áreas (RADOSEVICH; GHERSA, 1997). No entanto, as mudanças dependem da quantidade de palha e, principalmente, da espécie daninha, que pode ser favorecida ou não pela presença

de palha (CORREIA; DURIGAN, 2004). Existem vários estudos que apontam algumas espécies que se adaptaram às condições impostas pela presença do resíduo no solo, por exemplo, as plantas daninhas do gênero *Ipomoea* (MARTINS et al., 1999; CORREIA e DURIGAN; 2004; KUVA et al, 2007; MONQUERO et. al., 2008).

Martins et al. (1999) estudaram os efeitos da cobertura com diferentes quantidades de palha sobre a germinação das principais espécies de plantas daninhas da cana-de-açúcar no Brasil e concluíram que algumas espécies tiveram a germinação suprimida, enquanto outras foram indiferentes ou até estimuladas. A presença de 15 toneladas por hectare de palha sobre a superfície do solo pode controlar de maneira eficiente algumas plantas daninhas que antes eram consideradas importantes nessa cultura, como *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria plantaginea*, *Panicum maximum* e *Digitaria horizontalis* (VELINI; NEGRISOLI, 2000). De modo coerente com essas informações, drásticas reduções na incidência de gramíneas e altas infestações de *Euphorbia heterophylla* e espécies do gênero *Ipomoea* foram observadas em áreas com cana crua (MONQUERO et al., 2008).

Correia e Durigan (2004), estudando a emergência de plantas daninhas em solo coberto com palha, observaram redução da densidade populacional das espécies *B. decumbens*, *Sida spinosa* e *Digitaria horizontalis*, por outro lado o mesmo não foi observado para as espécies *I. grandifolia*, *I. hederifolia* e *I. quamoclit*. Oliveira et al.(2001), ao estudarem o efeito da palha na cultura do milho em sistema de plantio direto observaram redução de 6,4% na infestação de gramíneas pela ação da cobertura morta.

Kuva et al., 2007 estudando a fitossociologia de comunidades de plantas daninhas em canaviais colhidos mecanicamente, sem a queima prévia da palha juntamente com o índice de similaridade entre os talhões concluíram que as espécies *Cyperus rotundus*, *Ipomoea herderifolia* e *Ipomoea quamoclit* tiveram maior destaque.

Portanto, passa a ser necessário conhecer a ação dos herbicidas sobre a palha, sobretudo aqueles aplicados em pré-emergência, para o controle de plantas daninhas que foram selecionadas pelo sistema de colheita mecanizada.

2.4 Utilização de herbicidas no sistema de produção de cana-de-açúcar

O controle químico é o principal método de controle das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar, que é realizado por meio de aplicações de herbicidas tanto em condições de pré como de pós-emergência dessas plantas (HERNANDEZ et al., 2001). Além disso, é um método econômico e de alto rendimento, quando comparado aos outros (ROSSI, 2007). Em consequência disso, a cultura da cana-de-açúcar que é cultivada em larga escala no país aderiu rapidamente a esta tecnologia (PROCÓPIO, et al., 2003).

Os herbicidas, na maioria, utilizados na cultura da cana-de-açúcar são seletivos, devido a aspectos de absorção foliar e à degradação destes pela planta cultivada. Desde que aplicado dentro das recomendações oficiais do fabricante controlam as plantas daninhas sem comprometer o desenvolvimento e a produtividade da cultura (ROSSI, 2007).

Os herbicidas diuron, metribuzin e tebuthiuron estão entre os principais herbicidas registrados para uso na cultura da cana-de-açúcar. Ambos atuam como inibidores da fotossíntese no fotossistema II, evitando o transporte de elétrons, além disso, podem causar acúmulo dos mesmos no ponto de inibição (proteína QB), que por sua vez promove peroxidação dos lipídios (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). Segundo Franconere (2010), os herbicidas inibidores do Fotossistema II representam 45,6% da área de cana-de-açúcar tratada no Brasil.

Diuron, 3-(3,4 diclorofenil) 1,1 difeniluréia, é um herbicida não iônico, sistêmico com ação em condições de pré e pós-emergência, pertencente ao grupo químico das uréias substituídas (COMPÊNDIO, 2009). O diuron possui coeficiente de adsorção normalizado para carbono orgânico (K_{oc}) médio de 480 mL g⁻¹ (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011), portanto é predominantemente adsorvido pelos colóides orgânicos e minerais do solo, apresentando baixa mobilidade em solos (SILVA et al., 2007); possui solubilidade em água (S_w) de 42 mg L⁻¹ (25°C), sendo considerado pouco solúvel; coeficiente de dissociação (pKa) não aplicável, pois trata-se de uma molécula não ionizável, e coeficiente de distribuição octanol-água (K_{ow}) de 589 (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).

Metribuzin, 4-amino -6 -tert - butyl - 4,5 - dihydro-3-methylthio - 1,2,4 - triazin - 5 - one, pertence ao grupo químico das triazinonas, seu uso é recomendado para

aplicações em condições de pré e pós-emergência inicial das plantas daninhas, possui coeficiente de adsorção médio normalizado para carbono orgânico (K_{oc}) de 60 mL g L^{-1} (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011), sendo moderadamente adsorvido em solos com alto teor de matéria orgânica (SILVA et al., 2007); apresenta solubilidade em água (S_w) de 1100 mg L^{-1} (20°C); coeficiente de dissociação (pK_a) igual a um, sendo uma base fraca; e coeficiente de distribuição octanol-água (K_{ow}) de 44,7.

Tebuthiuron, 1-(5-tert-butyl-1,3,4-thiadiazol-2-yl)-1,3-dimethylurea, pertence ao grupo químico das uréias substituídas, sendo recomendado para aplicações em condições de pré-emergência e pós-emergência inicial das plantas daninhas. Possui coeficiente de adsorção médio normalizado para carbono orgânico (K_{oc}) de 80 mL g^{-1} , solubilidade em água (S_w) de 2.570 mg L^{-1} (20°C); coeficiente de dissociação (pK_a) não aplicável, pois trata-se de uma molécula não ionizável e coeficiente de partição octanol água (K_{ow}) de 671 (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).

2.5 Aplicação de herbicidas pré-emergentes sobre a palha da cana-de-açúcar

A manutenção de palha sobre a superfície do solo pode, simultaneamente, reduzir o potencial de infestação das plantas daninhas e ainda dificultar o desempenho dos herbicidas, pois a água das chuvas ou irrigações se torna a principal responsável pelo transporte dos herbicidas até a superfície do solo (MACIEL; VELINI, 2005; SIMONI et al., 2006).

Quando um herbicida é aplicado sobre a palha, é interceptado pela superfície desta, podendo ser volatilizado, ficar retido na mesma ou ainda ser lixiviado para o solo (LOCKE; BRYSON, 1997). O transporte de herbicidas da palha para o solo é dependente das características físico-químicas de cada herbicida (TOFOLI et al., 2009), e do tempo entre a aplicação do herbicida e a ocorrência da primeira chuva na área, bem como a sua intensidade (ALLETO et al., 2009).

Cavenaghi et al. (2007) observaram boa interceptação do herbicida amicarbazone aplicado sobre quantidades de palha igual ou superior a 5 t ha^{-1} , sendo praticamente nula a quantidade de produto que atingiu o solo no momento da aplicação, em situação sem a ocorrência de chuvas simuladas. Tofoli et al. (2009) obtiveram resultados semelhantes, em que o herbicida tebuthiuron apresentou

interceptação quando aplicado em quantidades de palha superiores a 5 t ha^{-1} , com transposições inferiores a 10% da quantidade de produto aplicado.

Para o herbicida flumioxazin foi constatada redução na sua eficácia no controle de plantas daninhas quando aplicado sobre a palha de cana-de-açúcar e submetido em condições de seca superiores a 30 e 60 dias. (CARBONARI et al., 2009; CARBONARI et al., 2010). É evidente a dependência de chuva após a aplicação para que herbicidas pré-emergentes atinjam o solo e possam atuar de forma eficiente, e a quantidade de palha encontrada sobre o solo em áreas de cana-crua normalmente é superior a 4 t ha^{-1} de palha (TOFOLI et al., 2009).

Por outro lado, chuvas superiores a 65 mm podem fazer com que grande parte de herbicida transponha a palha, podendo resultar em perda do residual do produto no solo. Resultados obtidos por Tofoli et al. (2009) evidenciaram que após simular o equivalente a 65 mm de chuva um dia após aplicação do herbicida sobre a palha, houve uma transposição do herbicida tebuthiuron em torno de 50% do aplicado em diferentes quantidades de palha testadas.

Silva et al., (2011) concluíram que o herbicida imazapic aplicado sobre a palha proporcionou aumento no controle das espécies *Urochloa decumbens* e *Ipomoea triloba* quando comparado ao tratamento em que o herbicida foi aplicado diretamente ao solo. Resultados similares foram encontrados por Santos et al., (2009) em que o herbicida imazapic também teve sua eficácia de controle aumentada quando aplicado sobre a palha de cana-de-açúcar. Toledo et al., (2009) observaram excelente eficácia no controle de espécies de corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia* e *Merremia cissoides*), *Euphorbia heterophylla* e *Brachiaria decumbens* pelo herbicida amicarbazone, independentemente da dose utilizada ($0,75$ a $1,50 \text{ kg ha}^{-1}$) e do posicionamento na palha ou no solo, sendo considerado um excelente herbicida para o controle de plantas daninhas em cana-de-açúcar crua.

Além disso, o sistema de cana crua promove aumento no teor de matéria orgânica do solo, em razão do grande acúmulo de palha (GARCIA, 2012). Os autores Boyd et al. (1990) verificaram que coberturas vegetais resultantes de restos de culturas depositados na superfície do solo possuem capacidade de sorção de 10 a 60 vezes mais que o solo, além disso podem modificar significativamente a disponibilidade dos herbicidas na solução do solo (ALLETO et al., 2009).

Souza et al. (2005) constataram incremento de matéria orgânica no sistema cana crua, ao comparar os sistemas de cana queimada e cana crua. Esse acréscimo

pode causar aumento da sorção de herbicidas no solo, comprometendo sua eficácia e exigindo maiores doses, elevando o custo do tratamento e possibilitando a ocorrência de problemas ambientais (FERREIRA et al, 2010).

A afinidade de sorção pela palha pode reduzir com o aumento da polaridade do herbicida (LOCKE et al. 1994) e está diretamente ligada ao K_{ow} (Coeficiente de partição n-octanol-água) da molécula medida pelas características de hidrofobicidade. As interações hidrofóbicas, isto é, a afinidade de uma molécula orgânica pela fração orgânica do solo e sua baixa afinidade pela água (solução do solo), é o principal mecanismo de retenção na sorção de pesticidas pela matéria orgânica, e para a palha as interações acontecem da mesma forma. Através das diferenças entre as características físico-químicas de cada herbicida presume-se que também pode haver diferenças significativas no comportamento dos mesmos, quando aplicados sobre determinados tipos de cobertura morta e submetidos ou não à lavagem por chuva ou irrigação (RODRIGUES et al., 1998). Sendo assim, os herbicidas têm sua dinâmica afetada pela palha, principalmente quando utilizados no período seco do ano. Para o uso racional dos herbicidas residuais no sistema de plantio direto é necessário o conhecimento da capacidade de sorção na palha e consequente disponibilização do herbicida no solo.

Referências

ALLETO, L.; COQUET, Y.; BENOIT, P.; DJILALI, H.; BARRIUSO, H. Tillage management effects on pesticide fate in soils. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 30, p. 367-400, 2009.

BOYD, S.A.; XIANGCAN, J.; LEE, J.F. Sorption of nonionic organic compounds by corn residues from a no-tillage field. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 19, p. 734-738, 1990.

CANASAT, Mapeamento de cana via imagens de satélite. Mapa da colheita. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/colheita.html>>. Acesso em: 19 Mar. 2013.

CARBONARI, C.A.; GOMES, G.L.G.L.; VELINI, E.D. Efeitos de períodos de permanência do flumioxazin no solo e na palha de milho e aveia na eficácia de controle de plantas daninhas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Brasília, v. 8, n. 3, p. 85-95, 2009.

CARBONARI, C.A.; GOMES, G.L.G.L.; VELINI, E.D. Efeitos de períodos sem a ocorrência de chuva na eficácia do flumioxazin aplicado no solo e na palha de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Brasília, v. 9, n. 3, p. 81-88, 2010.

CAVENAGHI, A.L.; ROSSI, C.V.S.; NEGRISOLI E.; COSTA, E.A.D.; VELINI, E.D.; TOLEDO, R.E.B. Dinâmica do herbicida amicarbazone (Dinamic) aplicado sobre palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 25, n. 4, p.831-837, 2007.

COMPÊNDIO de defensivos agrícolas: guia prático de produtos fitossanitários para uso agrícola. 8. ed. São Paulo: Organização Andrei, 2009. 1378p.

CORREIA, N.M.; DURIGAN, J.C. Emergência de plantas daninhas em solo coberto com palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 22, n. 1, p. 11-17, 2004.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; CARVALHO, S.J.P.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F.; NICOLAI, M.; HIDALGO, E.; SILVA, J.E. Conservation of natural resources in Brazilian agriculture: Implications on weed biology and management. **Crop Protection**, Guildford, v. 26, n. 3, p. 383-389, 2007.

FERREIRA, E.A.; PROCÓPIO, S.O; GALON, L.; FRANCA, A.C.; CONCENÇO, G; SILVA, A.A.; ASPIAZU, I.; SILVA, A.F.; TIRONI, S.P.; ROCHA, P.R.R. Manejo de plantas daninhas em cana-crua. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 28, n. 4, p. 915-925, 2010.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. Maçã. In _____. **Agrianual 2013**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, Informa Economics, v. 18, 480p. 2013.

FRACONERE, R. **Mercado de herbicidas na cultura da cana-de-açúcar**. 2010. 54p. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2010.

GARCIA, D. B. **Lixiviação e eficácia de controle de plantas daninhas da formulação de diurom + hexazinona + sulfometuron-metílico em diferentes solos, condições hídricas e presença de palha**. 2012. 78p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

HERNANDEZ, D.D.; ALVES, P.L.C.A.; MARTINS J.V.F. Influência do resíduo de colheita de cana-de-açúcar sem queima sobre a eficiência dos herbicidas imazapic e imazapic + pendimethalin. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 19, n. 3, p. 419-426, 2001.

KUVA, M.A.; PITELLI, R.A.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; ALVES, P.L.C.A. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. I – Tiririca. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 18, n. 2, p. 241-251, 2000.

KUVA, M.A.; PITELLI, R.A.; SALGADO, T.P.; ALVES, P.L.C.A. Fitossociologia de comunidades de plantas daninhas em agroecossistema cana-crua. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 25, n. 3, p. 501-511, 2007.

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: II - capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*). **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 19, n. 3, p. 323-330, 2001.

KUVA, M.A.; GRAVENA, R.A.; 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 colônia (*Panicum maximum*). **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 21, n. 1, p. 37-44, 2003.

LOCKE, M.A.; BRYSON, C.T. Herbicide-soil interaction in reduced tillage and plant residue management systems. **Weed Science**, Champaign, v. 45, n. 2, p. 307-320, 1997.

LOCKE, M.A.; ZABLOTOWICZ, R.M.; GASTON, L.A.; SMEDA, R.J. Sorption of herbicides to cover crop residues. **Agronomy Abstracts**, Madison: American Society of Agronomy, 1994. 50p.

LORENZI, H. Plantas daninhas e seu controle na cultura da cana-de-açúcar. In: REUNIÃO TÉCNICA AGRONÔMICA COPERSUCAR: PRAGAS DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 1983, Piracicaba. **Anais...** São Paulo: COPERSUCAR, 1983. p. 59-73.

LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas**: plantio direto e convencional. 6. ed. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 2006. 339p.

MACIEL, C.D.G.; VELINI, E.D. Simulação do caminhamento da água da precipitação e herbicidas em palhadas utilizadas em sistemas de plantio direto. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 23, n. 3, p. 471-481, 2005.

MARTINS, D.; VELINI, E.D.; MARTINS, C.C.; SOUZA, L.S. Emergência em campo de dicotiledôneas infestantes em solo coberto com palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 17, n. 1, p. 151-161, 1999.

MONQUERO, P.A.; AMARAL, L.R.; BINHA, D.P.; SILVA, P.V.; SILVA, A.C.; MARTINS, F.R.A. Mapas de infestação de plantas daninhas em diferentes sistemas de colheita da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 26, n. 1, p. 47-55, 2008.

MONQUERO, P.A.; AMARAL, L.R.; SILVA, A.C.; BINHA, D.P.; SILVA, P.V. Eficácia de herbicidas em diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar no controle de *Ipomoea grandifolia*. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 367-372, 2009.

OLIVEIRA, M.R.; ALVARENGA, R.C.; OLIVEIRA, A.C.; CRUZ, J.C. Efeito da palha e da mistura atrazine e metolachlor no controle de plantas daninhas na cultura do milho, em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 37-41, 2001.

PAES, J.M.V.; REZENDE, A.M. Manejo de plantas daninhas no sistema plantio direto na palha. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 37-42, 2001.

PITELLI, R.A.; DURIGAN, J.C. Terminologia para períodos de controle e de convivência de plantas daninhas em culturas anuais e bianuais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 15., 1984. Belo Horizonte, **Resumos...** Piracicaba, 1984. p. 37.

PITELLI, R.A. Competição e controle de plantas daninhas em áreas agrícolas. **IPEF**, Piracicaba, v. 4, n. 12, p. 25-35, 1987.

PITELLI, R.A.; DURIGAN, J.C. Ecologia das plantas daninhas no sistema plantio direto. In: ROSSELLO, R. D. **Siembra directa en el cono sur**. Montevideo: PROCISUR, 2001. p. 203-210.

PROCÓPIO, S.O.; SILVA, A.A.; VARGAS, L.; FERREIRA, A.F. **Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar**. Viçosa-MG: Editora UFV, 2003. 150 p.

RADOSEVICH, J.H.; GHERSA, C. Genetics and evolution of weeds. In: RADOSEVICH, S.R. **Weed Ecology: Implications for Management**. New York: Ed. Wiley, 1997. chap. 3, p. 69-102.

RODRIGUES, B.N.; LIMA, J.; YADA, I.F.U.; FORNAROLLI, D.A. Influência da cobertura morta no comportamento do herbicida trifluralin. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 16, n. 2, p.163-173, 1998.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 6. ed. Londrina, 2011. 697p.

ROSSI, C.V.S. **Controle de plantas daninhas pelos herbicidas metribuzin e isoxaflutole em soqueiras de cana-de-açúcar, na ausência e presença de palha**. 2007. 152p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Botucatu, 2007.

SÃO PAULO. Lei nº11241, de 19 de setembro de 2002. Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. Diário Oficial da União, Brasília, 20 set. 2002. Seção 1, p. 2.

SANTOS, G.; FRANCISCHINI, C.; OLIVEIRA NETO, A.M.; GUERRA, N.; ALONSO, D.G.; DAN, H.A.; OLIVEIRA JUNIOR, R.S.; CONSTANTIN, J. Eficácia e seletividade do herbicida imazapic isolado ou associado a outros herbicidas aplicado com e sem cobertura de palha de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Brasília, v. 8, n. 3, p. 75-84, 2009.

SILVA, A.A.; SILVA, J.F. Herbicidas: comportamento no solo. In:_____ **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: Ed. UFV, 2007. cap. 5, p. 189-248.

SILVA, F.M.L.; CAVALIERI, S.D.; VELINI, E.D.; CORDEIRO, J.G.F; JOSÉ, A.R.S. Controle de *Urochloa decumbens* e *Ipomoea triloba* pela associação de herbicidas com palha de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Brasília, v. 10, n. 3, p. 200-209, 2011.

SIMONI, F.; VICTORIA FILHO, R.; SAN MARTIN, H.A.M.; SALVADOR, F.L.; ALVES, A.S.R.; BREMER NETO, H. Eficácia de imazapic e sulfentrazone sobre *Cyperus rotundus* em diferentes condições de precipitação e palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 24, n. 4, p. 769-778, 2006.

SOUZA, Z.M.; PRADO, R.M.; PAIXÃO, A.C.S.; CESARIN, L.G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 3, p. 271-278, 2005.

TOFOLI, G.R.; VELINI, E.D.; NEGRISOLI, E.; CAVENAGHI, A.L.; MARTINS, D. Dinâmica do tebuthiuron em palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 27, n. 4, p. 815-821, 2009.

TOLEDO, R.E.B.; PERIM, L.; NEGRISOLI, E.; CORRÊA, M.R.; CARBONARI, C.A.; ROSSI, C.V.S.; VELINI, E.D. Eficácia do herbicida amicarbazone aplicado sobre a palha ou no solo no controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 27, n. 2, p. 319-326, 2009.

TREZZI, M.M.; VIDAL, R.A. Potencial de utilização de cobertura vegetal de sorgo e milho na supressão de plantas daninhas em condição de campo: II - Efeitos da cobertura morta. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 22, n. 1, p. 1-10, 2004.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR DE SÃO PAULO – UNICA –
Relatório de acompanhamento de safra 2012/2013 <Disponível em:
<http://www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=63> >Acesso em: 20 Dez. 2012.

VELINI, E.D.; NEGRISOLI, E. Controle de plantas daninhas em cana crua. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22, 2000, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2000. p. 148-164.

VICTORIA FILHO, R.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Manejo de plantas daninhas e produtividade da cana. **Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 1, p. 32-37, 2004.

VIDAL, R.A.; THEISEN, G. Efeito da cobertura do solo sobre a mortalidade de sementes de capim-marmelada em duas profundidades no solo. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 17, n. 3, p. 339-344, 1999.

3 INTERAÇÕES ENTRE DOSE E QUANTIDADE DE PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR NO CONTROLE DA PLANTA DANINHA *Ipomoea grandifolia* ATRAVÉS DOS HERBICIDAS DIURON, METRIBUZIN E TEBUTHIURON

Resumo

Em áreas de colheita mecanizada de cana-de-açúcar são deixadas sobre o solo cerca de 5 a 20 toneladas de palha por hectare, a qual tem efeitos sobre a dinâmica populacional das plantas daninhas presentes no solo, selecionando espécies mais adaptadas, e que emergem em condições adversas. Torna-se, portanto, indispensável a aplicação de herbicidas em pré-emergência para controle de plantas daninhas adaptadas à presença de palha sobre a superfície do solo, principalmente as espécies do gênero *Ipomoea*. Assim, foram realizados três ensaios com o objetivo de determinar a correlação entre a dose dos herbicidas diuron, metribuzin e tebuthiuron e quantidades de palha de cana-de-açúcar sobre o solo, no controle da espécie *Ipomoea grandifolia*, através de curvas de dose-resposta. Para cada ensaio, o delineamento experimental foi de blocos ao acaso, esquema fatorial 4 x 6, e três repetições, sendo quatro níveis do fator palha (0, 5, 10 e 15 ton ha⁻¹) e seis níveis do fator dose (0, 1/4D, 1/2D, D (Dose recomendada), 2D e 4D). O controle visual foi avaliado aos 15, 30, 60 e 90 dias após o tratamento por meio de escala percentual de notas. Os dados foram submetidos à análise de regressão não linear e através dos parâmetros estimados foram obtidas as curvas de dose-resposta. Conclui-se que à medida que aumentou a quantidade de palha de cana-de-açúcar nas parcelas, a eficácia de controle de *Ipomoea grandifolia* diminuiu para todos os herbicidas estudados, no entanto observou-se que a presença de palha diminuiu a eficácia de controle de *Ipomoea grandifolia* de maneira mais acentuada para diuron e menos para tebuthiuron, sendo que este resultado deve estar relacionado com a solubilidade em água de cada herbicida. Para aumentar o nível de controle foi necessário aumentar a dose dentro dos diferentes níveis de palha estudados para todos os herbicidas.

Palavras-chave: Corda-de-viola; Pré-emergentes; Eficácia

Abstract

In areas of sugarcane mechanical harvest it is left on the soil about 5 to 20 tons of straw per hectare, that affects the population dynamics of weeds in the soil, selecting more adapted species that emerge in adverse conditions. Therefore, the use of pre-emergence herbicides for weed control on residues, especially with the genus *Ipomoea*. Therefore, three assays were performed with the objective of determining the correlation between the dose of the herbicides diuron, metribuzin e tebuthiuron and the quantity of sugarcane straw on the soil, on the control of the weed *Ipomoea grandifolia*, through dose-response curve. For each test, the experimental design was randomized blocks, factorial 4 x 6, and three repetitions, four levels of the factor straw (0, 5, 10 and 15 ton ha⁻¹) and six doses of the factor herbicide (0, 1/4D, 1/2D, D (Recommended rate), 2D and 4D). The control was assessed visually at 15, 30, 60 and 90 days after treatment by the percentage scale

of grades. Data were analyzed by nonlinear regression model using the estimated parameters and obtained the dose-response curves. It was concluded that as the amount of straw increased in the plots, the control efficacy of *Ipomoea grandifolia* decreased for all herbicides, however it was observed that the presence of straw decreases the control efficacy *Ipomoea grandifolia* more pronounced for diuron than tebuthiuron and it is likely that this results is directly related to the water solubility of each herbicide. To increase the level of control it was necessary to increase the dose within the different levels of straw studied for all herbicides.

Keywords: Morning-glory; Pre-emergent; Efficacy

3.1 Introdução

Em áreas de colheita mecanizada de cana-de-açúcar são deixadas sobre o solo cerca de 5 a 20 toneladas de palha por hectare (CAVENAGHI et al., 2007). A palha deixada sobre o solo após a colheita tem efeitos sobre a dinâmica populacional das plantas daninhas presentes no solo, selecionando espécies mais adaptadas e que emergem em condições adversas, comparado a sistemas de produção onde há queima da palha (CHRISTOFFOLETI et al., 2009).

A presença de palha na superfície do solo afeta o estabelecimento e o crescimento de plantas daninhas em áreas cultivadas, pois forma uma barreira física à emergência, promove redução da amplitude térmica do solo, interceptando alguns comprimentos de luz necessários à germinação de algumas espécies de plantas daninhas (CAVENAGHI et al., 2007). Porém, essas mudanças são muito específicas e dinâmicas, pois depende da quantidade de palha presente na superfície do solo e da espécie da planta daninha, que pode ser beneficiada ou não pela presença de palha. (CORREIA; DURIGAN, 2004).

Monquero et al. (2008), constataram que a presença de palha de cana-de-açúcar na superfície do solo diminuiu o banco de sementes apenas das espécies de gramíneas, que foram capazes de germinar apenas onde a palha estava mal distribuída. No entanto, algumas dicotiledôneas foram selecionadas, principalmente espécies do gênero *Ipomoea*. Correia e Durigan (2004) observaram que os três níveis de palha estudados, sendo 5, 10 e 15 toneladas por hectare, não reduziram a emergência das espécies *I. grandifolia*, *I. hederifolia* e *I. quamoclit*, quando comparada com uma área sem palha. Os mesmos autores ao compararem com o tratamento sem palha verificaram que a presença de palha sobre o solo,

proporcionou aumento no número de plântulas emergidas e no acúmulo de matéria seca das plantas de *I. quamoclit*

A partir destes resultados, torna-se indispensável a aplicação de herbicidas em pré-emergência para controle de plantas daninhas adaptadas à presença de palha sobre a superfície do solo, principalmente as espécies do gênero *Ipomoea*, que podem ainda trazer dificuldades para a colheita mecanizada. No sistema de cana crua os herbicidas pré-emergentes que normalmente eram aplicados sobre o solo, hoje são aplicados sobre a palha, resultante da colheita mecanizada, e vem ocasionando algumas mudanças relacionadas ao seu comportamento e destino.

Um herbicida quando aplicado sobre a palha é interceptado pela superfície desta e que pode ser volatilizado ou ser degradado através da luz solar até que seja lixiviado para o solo (LOCKE; BRYSON, 1997). De acordo com Tofoli et al. (2009), o transporte de herbicidas da palha para o solo depende das características físico-químicas do herbicida, além disso, deve-se considerar o período entre a aplicação do herbicida e a primeira chuva após a sua aplicação.

Diuron, metribuzin e tebuthiuron são herbicidas amplamente utilizados em cana-de-açúcar, em condições de pré-emergência das plantas daninhas. Ambos possuem o mesmo mecanismo de ação, os inibidores do fotossistema II, atuando de forma similar na planta daninha. No entanto as características físico-químicas próprias de cada herbicida fazem com que estes produtos atuem de forma distinta quando aplicados sobre a palha de cana-de-açúcar.

Sendo assim, foi desenvolvida a presente pesquisa com o objetivo de determinar a correlação entre a dose dos herbicidas diuron, metribuzin e tebuthiuron e quantidades de palha de cana-de-açúcar sobre o solo, no controle da espécie *Ipomoea grandifolia*, através de curvas de dose-resposta.

3.2 Material e métodos

O experimento foi realizado em condições de casa de vegetação do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, em Piracicaba, Estado de São Paulo (Latitude: 22° 42' 32" S, Longitude: 47° 37' 43" O e 550 m de altitude), durante os meses de setembro à dezembro de 2012. Foram montados três experimentos, sendo um experimento para cada herbicida estudado, diuron, metribuzin e

tebuthiuron. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, esquema fatorial 4 x 6, e três repetições, sendo quatro níveis do fator palha (0, 5, 10 e 15 ton ha⁻¹) e seis níveis do fator dose (0, 1/4D, 1/2D, D(Dose recomendada), 2D e 4D). Para cada nível de quantidade de palha, os tratamentos foram aplicados em seis doses diferentes de diuron, metribuzin e tebuthiuron. As doses utilizadas foram baseadas nas doses recomendadas para solos argilosos, de acordo com Rodrigues e Almeida (2011). Os tratamentos com as doses (g i.a. ha⁻¹) encontram-se na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Tratamentos (g i.a. ha⁻¹) para os herbicidas diuron, metribuzin e tebuthiuron utilizados no experimento. Piracicaba, SP, 2012

Herbicidas	Tratamentos (g i. a. ha ⁻¹)					
	1 (0)	2 (1/4 D)	3 (1/2 D)	4 (D)	5 (2D)	6 (4D)
Diuron	0	500	1000	2000	4000	8000
Metribuzin	0	480	960	1920	3840	7680
Tebuthiuron	0	300	600	1200	2400	4800

- D = Dose recomendada dos herbicidas para um solo argiloso.

A palha de cana utilizada no estudo foi coletada em uma área produtora de cana de açúcar, localizada no município de Saltinho, Estado de São Paulo, da variedade RB 86-7515, em uma área de soqueira de produção comercial.

Realizou-se a semeadura da planta daninha *Ipomoea grandifolia*, em vasos com capacidade para 2,5 litros, utilizando solo de textura média. Após a semeadura, as plantas foram adubadas com N-P-K (formulação 10-10-10).

Para a aplicação, utilizou-se pulverizador costal de precisão pressurizado por CO₂, acoplado a uma barra de pulverização com uma ponta de aplicação do tipo jato plano 110.02 DG, que proporcionou a aplicação de 200 L ha⁻¹ de calda herbicida.

As análises das propriedades químicas e físicas do solo utilizado nos experimentos foram realizadas no Laboratório de Solos do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP, e podem ser visualizadas nas tabelas 3.2 e 3.3.

Tabela 3.2 - Propriedades químicas do solo utilizado no experimento. Piracicaba, SP, 2012.

Profundidade	Ph CaCl ₂	MO g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	SB	CTC	V %
0-20	6,4	14	17	3,0	48	18	69,1	87,2	79

Tabela 3.3 - Propriedades físicas do solo utilizado no experimento (g kg⁻¹). Piracicaba, SP, 2012.

Profundidade	Areia	Silte	Argila	Classe textural	Origem
0 -20	305	123	572	Argiloso	Piracicaba

O controle foi avaliado visualmente aos 15, 30, 60 e 90 dias após o tratamento por meio de escala percentual de notas, em que zero corresponde a nenhuma injúria na planta e 100, à morte das plantas, seguindo a metodologia proposta pela ALAM (1974). Aos 90 dias coletaram-se as plantas, que foram colocadas em estufa de circulação forçada por 72 horas a temperatura constante de 60°C, e após secagem total das plantas avaliou-se a fitomassa seca.

Os dados obtidos nos experimentos foram submetidos à aplicação do teste F na análise da variância. Para a curva de dose-resposta, os dados foram ajustados ao modelo de regressão não-linear do tipo log-logístico proposto por Knezevic et al. (2007), representado na seguinte equação (eq. 1):

$$y = \left[\frac{d}{1 + \exp [b(\log x - \log e)]} \right] \quad (1)$$

Em que y é a porcentagem de controle, x é a dose do herbicida (g i.a. ha⁻¹); e “b”, “d” e “e” são parâmetros da curva, de modo que “b” é a decilvidade da curva, “d” é o limite superior da curva, e “e” é a dose que proporciona 50% de resposta da variável. O limite inferior da curva é zero.

As doses de herbicidas utilizadas para chegar aos níveis de controle 85, 90 e 95% para a espécie *Ipomoea grandifolia* em diferentes quantidades de palha (0, 5,

10 e 15 ton ha⁻¹), foram calculadas através do programa estatístico R (R Development Core Team, 2008).

3.3 Resultados e Discussão

A análise de variância mostrou que houve interação significativa ($p < 0,05$) entre as doses e as diferentes quantidades de palha nos três experimentos realizados. O teste F para falta de ajuste foi não significativo ($p > 0,05$) para os três experimentos, indicando ajuste dos dados ao modelo. Os parâmetros “b”, “d” e “e” para cada experimento foram estimados aplicando-se análise de regressão não linear, utilizando a equação proposta por Knezevic et al. (2007) e encontram-se na tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Parâmetros estimados para as curvas de dose-resposta para controle (C) calculados para 0, 5, 10 e 15 ton ha⁻¹ de palha aos 90 DAT (SE=desvio padrão). Piracicaba, SP, 2012.

	Palha (ton ha ⁻¹)	Estimativas de parâmetros baseados na regressão não-linear		
		b ± SE	d ± SE	e ± SE
Diuron	0	-0,934 (0,395)	102,625 (3,559)	107,210 (60,556)
	5	-0,858 (0,321)	99,647 (4,981)	163, 571 (52,640)
	10	-0,888 (0,280)	99,430 (4,738)	204, 830 (45,809)
	15	-1,298 (0,147)	98,329 (3,063)	693,434 (47,083)
Metribuzin	0	-0,867 (0,295)	104,114 (4,223)	136,804 (47,627)
	5	-0,886 (0,271)	101,388 (4,637)	193,682 (42,786)
	10	-1,078 (0,223)	99,569 (3,594)	323,068 (32,892)
	15	-0,954 (0,197)	99,913 (4,573)	361,327 (36,046)
Tebuthiuron	0	-0,852 (0,548)	101,314 (2,682)	21,846 (32,496)
	5	-1,062 (0,389)	101,338 (2,022)	56,757 (31,490)
	10	-0,877 (0,264)	102,825 (2,877)	64,609 (24,859)
	15	-0,944 (0,245)	102,187 (2,669)	85,000 (23,536)

“b” representa a declividade da curva, “d” é o limite superior da curva e “e” é a dose que proporciona 50% de resposta da variável.

A partir dos parâmetros foram calculadas as doses de diuron necessárias para proporcionar o controle de 50, 80 e 95% da espécie *Ipomoea grandifolia*, representadas na tabela 3.5. Foram geradas quatro curvas de dose-resposta através da variável controle (%) obtida pelo herbicida diuron aos 90 dias após a aplicação, para 0, 5, 10 e 15 toneladas de palha por hectare e estão representadas na Figura 3.1.

Tabela 3.5 – Doses de diuron (g i.a. ha⁻¹) necessárias para promover o controle (C) 50, 80 e 95% da espécie *Ipomoea grandifolia* em diferentes quantidades de palha. Piracicaba, SP, 2012.

Quantidade de Palha (t ha ⁻¹)	Controle visual (C ¹)		
	50%	80%	95%
0	107,21	472,94	2507,70
5	163,57	823,40	5064,30
10	204,83	976,19	5646,00
15	693,43	2017,99	6704,10

¹ – Dose para controlar 50 a 95% da planta daninha, baseando-se na testemunha.

Figura 3.1- Controle visual (%) de *Ipomoea grandifolia* aos 90 dias após aplicação do herbicida diuron. Piracicaba, SP, 2012.

A dose comercial de diuron (2000 g i.a. ha⁻¹), utilizada no tratamento 4, foi efetiva no controle da espécie *I. grandifolia*, pois os índices de controle foram superiores a 80% para a maioria das quantidades de palha analisadas, exceto

para 15 ton ha⁻¹ que promoveu aproximadamente 70% de controle da espécie de corda de viola. Avaliando a eficácia de herbicidas em diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar no controle de *Ipomoea grandifolia*, Monquero et al. (2009) observaram que o herbicida diuron+hexazinona teve baixo desempenho no controle da espécie quando a quantidade de palha sobre o solo foi maior que 10 ton ha⁻¹.

Os resultados de controle obtidos pelo diuron para 0 e 5 ton ha⁻¹ foram muito similares, indicando que a quantidade de 5 ton ha⁻¹ não influenciou a ação do herbicida de maneira significativa.

Para as quantidades de palha 0, 5, 10 e 15 ton ha⁻¹, foram necessárias as doses 472,94, 823,40, 976,19 e 2017,99 g i. a. ha⁻¹, respectivamente, para promover 80% de controle (C80). Na comparação entre os valores encontrados para cada quantidade de palha, observou-se que houve incremento de 350,46, 503,25 e 1547,05 g i.a. ha⁻¹ para 5,10 e 15 ton ha⁻¹, respectivamente, em relação ao valor C80 encontrado para 0 ton ha⁻¹. Para atingir 95% de controle (C95) da planta daninha, foram necessárias as doses 2507,70, 5064,30, 5646,00 e 6704,10 g i.a. ha⁻¹ para 0, 5, 10 e 15 ton ha⁻¹, mostrando importante diferença de 4196,40 g i.a. ha⁻¹ entre 0 e 15 ton ha⁻¹. No controle químico a camada de palha pode prejudicar a ação do herbicida aplicado. Velini e Negrisoni (2000) concluíram que 10 a 15 t ha⁻¹ de palha podem interceptar até 99,5% da calda aplicada. Monquero et al. (2009) concordam com estes resultados, pois verificaram que houve retenção pela palha em quantidades maiores que 10 t ha⁻¹, e portanto, diminuição da eficácia de outros herbicidas como, por exemplo, ametryn + trifloxysulfuron-sodium, imazapic, imazapyr e diuron + hexazinone quando aplicados em pré-emergência.

A partir dos parâmetros estimados foram calculadas as doses de metribuzin necessárias para proporcionar o controle de 50, 80 e 95% da espécie *I. grandifolia*, representadas na tabela 3.6. Os dados de controle visual (%) de *Ipomoea grandifolia* quando se utilizou o herbicida metribuzin aplicado em doses crescentes e sobre diferentes quantidades de palha pode ser observado na figura 3.2.

Tabela 3.6 – Doses de metribuzin (g i.a. ha⁻¹) necessárias para promover o controle (C) 50, 80 e 95% da espécie *Ipomoea grandifolia* em diferentes quantidades de palha. Piracicaba, SP, 2012.

Quantidade de Palha (ton ha ⁻¹)	Controle visual (C ¹)		
	50%	80%	95%
0	136,80	676,79	4082,10
5	193,68	925,34	5366,70
10	323,07	1168,82	4959,40
15	361,33	1543,87	7897,80

¹ – Dose para controlar 50 a 95% da planta daninha, baseando-se na testemunha.

Figura 3.2 - Controle visual (%) de *Ipomoea grandifolia* aos 90 dias após aplicação do herbicida metribuzin. Piracicaba, SP, 2012.

A dose comercial de metribuzin (1920 g i.a. ha⁻¹) atingiu níveis de controle superiores a 80% apenas quando aplicado sobre 0 e 5 ton ha⁻¹ de palha. O herbicida quando aplicado em solo sem palha (0 ton ha⁻¹ de palha) atingiu controle da planta daninha próximo de 80% utilizando o tratamento 3 (960 g i.a. ha⁻¹). No entanto, para 5 e 10 ton ha⁻¹, o mesmo índice de controle só foi atingido quando aplicou-se o tratamento 4 (1920 g i.a. ha⁻¹) e o tratamento 5 (3840 g i.a. ha⁻¹), respectivamente. A presença de palha afetou a eficácia do herbicida sobre o controle da espécie, indicando que o herbicida foi altamente retido pela palha. Rossi et al., (2013) estudando a interceptação de metribuzin sobre diferentes quantidades de palha observaram que quando foi colocada uma quantidade equivalente a 5 t ha⁻¹ de

palha, a porcentagem de retenção foi superior a 90%, e quando a quantidade de palha aumentou para 7,5 t ha⁻¹, a retenção passou para pouco mais de 97%.

As doses de metribuzin (g i.a. ha⁻¹) necessárias para promover o controle de 80% (C80) da espécie *I. grandifolia* foram 676,79, 925,34, 1168,82 e 1543,87 g i.a. ha⁻¹, respectivamente para as quantidades 0, 5, 10 e 15 ton ha⁻¹ de palha (Tabela 3.6). A partir destes resultados, foi necessário incrementar a dose em 492,03 e 867,79 g i.a. ha⁻¹ nas quantidades de palha equivalentes a 10 e 15 ton ha⁻¹, para obter 80% de controle da espécie, quando comparada a dose obtida para os tratamentos em que a palha era ausente. As doses de metribuzin obtidas para atingir 95% de controle da planta daninha, foram bem superiores, chegando aos 7897,80 g i.a. ha⁻¹ em 15 toneladas de palha por hectare.

As doses necessárias para controlar 50, 80 e 95% da espécie *Ipomoea grandifolia* calculadas a partir dos parâmetros estimados “b”, “d” e “e” encontram-se na tabela 3.7. Os resultados obtidos a partir dos dados de controle visual (%) de *Ipomoea grandifolia* quando se utilizou o herbicida tebuthiuron aplicado em doses crescentes e sobre diferentes quantidades de palha pode ser observado na figura 3.3.

Tabela 3.7 – Doses de tebuthiuron (g i.a. ha⁻¹) necessárias para promover o controle (C) 50, 80 e 95% da espécie *Ipomoea grandifolia* em diferentes quantidades de palha. Piracicaba, SP, 2012.

Quantidade de Palha (ton ha ⁻¹)	Controle visual (C ¹)		
	50%	80%	95%
0	21,85	111,19	692,46
5	56,76	209,43	908,59
10	64,61	313,92	1855,42
15	85,00	369,15	1923,31

¹ – Dose para controlar 50 a 95% da planta daninha, baseando-se na testemunha.

Figura 3.3 - Controle visual (%) de *Ipomoea grandifolia* aos 90 dias após aplicação do herbicida tebuthiuron. Piracicaba, SP, 2012

Tebuthiuron se mostrou muito eficaz no controle da espécie *Ipomoea grandifolia*, pois em todos os níveis de quantidade de palha proporcionou controle da planta daninha igual ou superior a 80%, utilizando o tratamento 3 (600 g i.a. ha⁻¹), pois de acordo com Rodrigues e Almeida (2011) a dose utilizada no tratamento 3 representa metade da dose comercial recomendada para a cultura da cana-de-açúcar. A partir do tratamento 5 (2400 g i.a. ha⁻¹), os resultados de controle obtidos para a planta daninha foram muito similares para todas as quantidades de palha estudadas, chegando aos 100% de controle. Nunes et al. (2012) avaliando a influência da palha de cana-de-açúcar no comportamento do herbicida tebuthiuron obtiveram resultados semelhantes em que o herbicida tebuthiuron se mostrou altamente eficiente no controle de *Brachiaria decumbens*, chegando a 100%, em solo coberto por 8 ton ha⁻¹ de palha. No entanto, Tofoli et al. (2009) estudando a transposição do herbicida pela palha no momento da aplicação, constataram que quantidades superiores a 5 ton ha⁻¹ fizeram com que apenas 10% do produto chegasse ao solo, indicando que a ocorrência de chuvas após a aplicação é muito importante para que o herbicida desempenhe sua função no controle de plantas daninhas.

Foram necessárias as doses 111,19, 209,43, 313,92 e 369,15 g i.a. ha⁻¹ de tebuthiuron para promover o controle de 80% da espécie *I. grandifolia*, nas seguintes quantidades de palha 0, 5, 10 e 15 ton ha⁻¹. Observou-se que foi necessário

aumentar três vezes a dose para manter o mesmo nível de controle (80%) quando havia o equivalente a 15 ton ha⁻¹ de palha presente sobre a superfície do solo, em comparação ao tratamento em que o herbicida foi aplicado diretamente ao solo. Para obter níveis de controle iguais a 95%, observa-se aumento na dose para as diferentes quantidades de palha, sendo que para 0 ton ha⁻¹, a dose estimada de tebuthiuron é de 692,46 g i.a. ha⁻¹, seguida de 908,59, 1855,42 e 1923,31 g i.a. ha⁻¹ para 5, 10 e 15 ton ha⁻¹, respectivamente.

Através dos ensaios foi possível concluir que à medida que se aumentou a quantidade de palha de cana-de-açúcar nas parcelas, a eficácia de controle de *Ipomoea grandifolia* diminuiu para todos os herbicidas estudados. Esse resultado é semelhante aos resultados obtidos para outros herbicidas pré-emergentes utilizados em cana-de-açúcar (Cavenaghi et al., 2007; Monquero et al., 2009; Carbonari et al., 2012; Toledo et al., 2012). No entanto, a diminuição da eficácia de controle pela presença de diferentes quantidades de palha se mostrou mais acentuada para o herbicida diuron e menos para o tebuthiuron.

As características físico-químicas fazem com que os herbicidas atuem de forma diferente ao receberem a primeira irrigação após a aplicação, que varia em função da solubilidade do produto (COSTA, 2001). Tebuthiuron por apresentar alta solubilidade de 2.570 mg L⁻¹ (20°C) quando aplicado sobre a palha chega mais rapidamente ao solo do que o diuron, cuja solubilidade em água é 42 mg L⁻¹ (25°C), o que explica a maior eficácia no controle de plantas daninhas na presença de palha na superfície do solo exercida pelo tebuthiuron.

Através das curvas de dose resposta concluiu-se que para aumentar o nível de controle foi necessário aumentar a dose dentro de cada nível de palha estudado para todos os herbicidas. Oliveira e Freitas (2009) avaliando o efeito palha de cana-de-açúcar associada ao herbicida trifloxysulfuron sodium + ametryn no controle de *Rottboellia exaltata* constataram que níveis de palha entre 8 e 12 t ha⁻¹ interceptaram o herbicida, sendo necessárias doses maiores para que ocorra inibição de 50% das plantas de *R. exaltata*.

3.4 Conclusões

A dose dos herbicidas diuron, metribuzin e tebuthiuron necessárias para um controle eficaz de *I. grandifolia* varia significativamente com a quantidade de palha sobre o solo, principalmente nas quantidades de 10 a 15 ton ha⁻¹.

Para o herbicida tebuthiuron as quantidades entre 10 e 15 toneladas de palha por hectare não são suficientes para diminuir significativamente sua eficácia de controle, quando comparado com os tratamentos em solo sem palha.

Referências

ALAM - ASOCIATION LATINOAMERICANA DE MALEZAS. Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación em ensayos de control de malezas. **ALAM**, Bogotá, v. 1, p. 35-38, 1974.

CARBONARI, C.A.; VELINI, E.D.; GOMES, G.L.G.C.; VALÉRIO, W.; BOSCHIERO, M. Comportamento do sulfentrazone em diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 28., 2012, Campo Grande. **Resumos eletrônicos...** Londrina: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2012. Disponível em: < http://www.congressosbcpd.com.br/sistema-inscricoes/documentos_cientificos/pdf/748_XXVIIIICBCPD.pdf > Acesso em: 04 Abr. 2013.

CAVENAGHI, A.L.; ROSSI, C.V.S.; NEGRISOLI E.; COSTA, E.A.D.; VELINI, E.D.; TOLEDO, R.E.B. Dinâmica do herbicida amicarbazone (Dinamic) aplicado sobre palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 25, n. 4, p. 831-837, 2007.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; LOPEZ-OVEJERO, R.F.; DAMIN, V.; CARVALHO, S.J.P.; NICOLAI, M. Interações dos fatores ambientais com os herbicidas aplicados ao solo e as consequências agrônômicas. In: _____ **Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Editora CP 2, 2009. cap. 4, p. 33-60.

CORREA, N.M.; DURIGAN, J.C. Emergência de plantas daninhas em solo coberto com palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 22, n. 1, p. 11-17, 2004.

COSTA, E.A.D. **Efeito de adjuvantes na dinâmica de ametryn em palha de cana-de-açúcar**. 2001. 81p. Tese (Doutorado em Proteção de Plantas/Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2001.

KNEZEVIC, S.Z.; STREIBIG, J.C.; RITZ, C. Utilizing R Software Package for Dose-Response Studies: The Concept and Data Analysis. **Weed Technology**, Champaign, v. 21, n. 3, p. 840-848, 2007.

LOCKE, M.A.; BRYSON, C.T. Herbicide-soil interaction in reduced tillage and plant residue management systems. **Weed Science**, Champaign, v. 45, n. 2, p. 307-320, 1997.

MONQUERO, P.A.; AMARAL, L.R.; BINHA, D.P.; SILVA, P.V.; SILVA, A.C.; MARTINS, F.R.A. Mapas de infestação de plantas daninhas em diferentes sistemas de colheita da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 26, n. 1, p. 47-55, 2008.

MONQUERO, P.A.; AMARAL, L.R.; SILVA, A.C.; BINHA, D.P.; SILVA, P.V. Eficácia de herbicidas em diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar no controle de *Ipomoea grandifolia*. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 367-372, 2009.

NUNES, K.G.; FORNAROLLI, D.A.; HENRIQUES, M.J.; RODRIGUES, B.N.; ANGHINONI, T. Influência da palha de cana-de-açúcar no comportamento do herbicida tebuthiuron e a mistura hexazinone+diuron no controle de plantas daninhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 28., 2012, Campo Grande. **Resumos eletrônicos...** Londrina: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2012. Disponível em: < http://www.congressosbcpd.com.br/sistema-inscricoes/documentos_cientificos/pdf/804_XXVIIIICBCPD.pdf > Acesso em: 04 Abr. 2013.

OLIVEIRA, A.R.; FREITAS, S.P. Palha de cana-de-açúcar associada ao herbicida trifloxysulfuron sodium + ametryn no controle de *Rottboellia exaltata*. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, p. 187-194, 2009.

R Development Core Team (2008). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL Disponível em : < <http://www.R-project.org> > Acesso em: 19 Jan. 2013.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 6. ed. Londrina: Edição dos autores, 2011. 697p.

ROSSI, C.V.S.; VELINI, E.D.; LUCHINI, L.C.; NEGRISOLI, E.; CORREA, M.R.; PIVETTA, J.P.; COSTA, A.G.F.; SILVA, F.M.L. Dinâmica do herbicida metribuzin aplicado sobre palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 31, n. 1, p. 223-230, 2013.

TOFOLI, G.R.; VELINI, E.D.; NEGRISOLI, E.; CAVENAGHI, A.L.; MARTINS, D. Dinâmica do tebuthiuron em palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 27, n. 4, p. 815-821, 2009.

TOLEDO, R.B.; CASON, J.B.; VELINI, E.D.; NEGRISOLI, E.; CORRÊA, M.R.; PERIM, L.; ROCHA, M.G.; VICTORIA FILHO, R.; MARCHIORI, L.F.S. Dinâmica do herbicida Front® em diferentes quantidades palha de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 28., 2012, Campo Grande. **Resumos eletrônicos...** Londrina: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2012. Disponível em: <
http://www.congressosbcpd.com.br/sistema-inscricoes/documentos_cientificos/pdf/821_XXVIIIICBCPD.pdf > Acesso em: 04 Abr. 2013.

VELINI, E.D.; NEGRISOLI, E. Controle de plantas daninhas em cana crua. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22., 2000, Foz de Iguaçu. **Palestras...** Foz de Iguaçu: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2000. p. 148-164.

4 SORÇÃO E DESSORÇÃO DE ^{14}C -DIURON E ^{14}C -METRIBUZIN EM PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR

Resumo

A dinâmica de herbicidas pré-emergentes aplicados sobre a palha da cana-de-açúcar, após a colheita sem queima está sujeita a variáveis que afetam a retenção dos mesmos pela palha. Alguns produtos têm maior retenção pela palha que outros, e estas diferenças estão relacionadas às características físico-químicas de cada herbicida, além da quantidade de palha e da situação hídrica após sua aplicação. Sendo assim, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar a capacidade de sorção e dessorção dos herbicidas diuron e metribuzin pela palha de cana-de-açúcar deixada após a colheita sem queima. Os estudos de sorção e dessorção foram realizados em laboratório utilizando ^{14}C -diuron e ^{14}C -metribuzin em cinco concentrações iniciais para cada herbicida. Foram realizados dois estudos independentes, para o primeiro estudo os testes de dessorção ocorreram 24 horas após o teste de sorção e no segundo estudo, os testes de dessorção ocorreram após 7 dias, sendo três processos de dessorção em intervalos de 24 horas entre cada um. A análise dos resultados da radioatividade da solução de equilíbrio foi determinada por contagem em Espectrometria de Cintilação Líquida. A quantidade da substância teste sorvida foi determinada pela diferença entre a concentração inicial e a concentração de equilíbrio. Os resultados foram analisados e expressos através das isotermas de adsorção e dessorção, e os dados foram ajustados utilizando o modelo de Freundlich. O herbicida diuron foi mais retido pela palha quando comparado ao metribuzin. No primeiro estudo, observou-se a sorção de 42% e 13% do total de diuron e metribuzin aplicados, respectivamente. No entanto, após três processos de dessorção, 100% do total aplicado para ambos herbicidas foram dessorvidos e, portanto disponibilizados para a solução do solo, indicando que os herbicidas ficaram fracamente sorvidos à palha. No segundo estudo, a retenção foi 35% e 15% do total de diuron e metribuzin aplicados, respectivamente, e também se observou que houve dessorção de 100% dos herbicidas, indicando que o período de sete dias entre a aplicação dos herbicidas e a primeira chuva não afeta a capacidade dos mesmos na transposição da palha (10 ton ha^{-1}) para o solo.

Palavras-chave: Retenção; Pré-emergentes; Radioatividade; Espectrometria de cintilação líquida

Abstract

Dynamics of pre-emergent herbicides applied on straw cane sugar after harvest without burning is subject to variables that affect the retention of them by the straw. Some products have more retention by the straw than others, and these differences are related to the physicochemical characteristics of each herbicide, as well as by the amount of residue and the hydric situation after its application. Therefore, this work was developed with the objective of studying the ability of sorption and desorption of diuron and metribuzin by the sugarcane straw. The sorption and desorption studies were performed in the laboratory using ^{14}C -diuron and ^{14}C -metribuzin in five initial concentrations for each herbicide. Two independent

studies were performed for the first desorption study testing occurred 24 hours after the sorption test and in the second study, testing desorption occurred after 7 days, in three processes of desorption at intervals of 24 hours between each. The results of radioactivity in the equilibrium solution were determined by counting in a liquid scintillation spectrometry. The amount of sorbed test substance was determined as the difference between the initial concentration and the equilibrium concentration. The results were analyzed and expressed through the adsorption and desorption isotherms, and data were processed using the Freundlich model. The herbicide diuron is more retained by the crop residue when compared to metribuzin. In the first study, it was observed sorption of 42% and 13% of diuron and metribuzin applied, respectively. However, after three processes of desorption, 100% of the total applied to both herbicides were desorbed and therefore available to the soil solution, indicating that the herbicides were weakly sorbed by the straw. In the second study, the retention was 35% and 15% of diuron and metribuzin applied, respectively, and it was also observed that there was 100% desorption of the herbicide, indicating that a seven day period between application herbicides and the first rain does not affect the ability of those in the transposition from the straw (10 t ha^{-1}) to the soil.

Keywords: Retention; Pre-emergent; Radioactivity; Liquid scintillation spectrometry

4.1 Introdução

O comportamento de herbicidas pré-emergentes aplicados sobre a palha de cana-de-açúcar deixada sobre o solo após a colheita da cana é pouco estudado. Sabe-se que parte do herbicida pode ser retida pela palha e efetivamente não atingir o alvo de controle que é o banco de sementes de plantas daninhas localizado no solo, reduzindo, portanto a eficácia do herbicida no controle de plantas daninhas (CHRISTOFFOLETI et al., 2009).

A retenção é um processo geral de sorção e pode ser explicada pela habilidade de um material sólido, seja palha ou solo, de reter um pesticida ou uma molécula orgânica (SILVA et al., 2007). A sorção de herbicidas envolve interações hidrofóbicas, ou seja, afinidades de compostos orgânicos pela matéria orgânica, e processos físicos e químicos, em que o composto passa da solução do solo para as superfícies externas e internas dos coloides, sejam minerais ou orgânicos (CHRISTOFFOLETI et al., 2009). Por outro lado, o processo inverso, ou seja, o retorno à solução do solo ou a liberação da substância sorvida é chamado de dessorção (OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011).

No entanto, alguns produtos são mais retidos pela palha do que outros (FORNAROLLI et al., 1998), sendo esta diferença relacionada com a solubilidade em

água, pressão de vapor ou com o coeficiente de distribuição octanol-água (K_{ow}), que são características específicas de cada herbicida (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005).

Os herbicidas diuron e metribuzin possuem diferentes características físico-químicas que determinam o comportamento particular de cada produto quando utilizado sobre a palha. Diuron é muito adsorvido pelos colóides orgânicos e minerais do solo (SILVA et al, 2007). Liu et al (2010) concluíram que a matéria orgânica do solo é um componente importante para o processo de sorção-dessorção. Enquanto que para o metribuzin vários autores obtiveram resultados de moderada a baixa adsorção tanto pelo solo como pela palha de cana-de-açúcar (SELIM, 2003; SELIM et al, 2003; NANQUIN, 2005).

Além disso, resíduos deixados sobre o solo tem maior capacidade de sorção do que o solo (DAO, 1991). Para a molécula de atrazina, os autores Selim e Zhu (2005), obtiveram valor de coeficiente de adsorção (K_d) igual a $23,40 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ para a palha contra $2,35 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$, encontrado para o solo.

Metribuzin e diuron são herbicidas utilizados com frequência para o controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar com características físico-químicas distintas. Portanto o conhecimento mais aprofundado do mecanismo e capacidade de sorção e dessorção pela palha tornam-se indispensáveis para aperfeiçoar o manejo em áreas de cultivo em larga escala. Portanto, a presente pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de estudar a capacidade de sorção e dessorção dos herbicidas diuron e metribuzin pela palha de cana-de-açúcar deixada sobre o solo após a colheita sem queima.

4.2 Material e métodos

Os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Ecotoxicologia no CENA/USP em Piracicaba, SP - Brasil. A palha utilizada no estudo foi coletada em região produtora de cana-de-açúcar, variedade CTC-11, no município de Iracemápolis, São Paulo. Logo após, a amostra de palha foi identificada, seca ao ar e analisada quanto às características físico-químicas no Departamento de Solos da ESALQ/USP e podem ser visualizadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Características físico-químicas da amostra de palha de cana-de-açúcar (variedade CTC-11), coletada em Iracemápolis, SP, 2013

Determinações	Umidade Natural	Base Seca	
		60-65°C	110°C
pH em CaCl ₂ 0,01M	5,80		
Densidade (g.cm ⁻³)	0,16		
Umidade perdida a 60-65°C	5,63		
Umidade perdida entre 65 e 110°C	9,01		
Umidade total (%)	14,64		
Inertes	0,00	0,00	0,00
Matéria Orgânica Total (%)	80,02	84,79	93,74
Matéria Orgânica Compostável (%)	78,52	83,20	91,99
Matéria Org. resistente à compostagem (%)	1,50	1,59	1,76
Carbono Total (%)	44,46	47,11	52,09
Carbono Orgânico (%)	43,62	46,22	51,10
Resíduo Mineral Total (%)	5,34	5,66	6,26
Resíduo Mineral Insolúvel (%)	3,47	3,68	4,07
Resíduo Mineral Solúvel (%)	1,87	1,98	2,19
Nitrogênio Total (%)	0,88	0,93	1,03
Fósforo (P ₂ O ₅) total (%)	0,23	0,24	0,27
Potássio (K ₂ O) total (%)	0,21	0,22	0,25
Cálcio (Ca) total (%)	0,92	0,97	1,08
Magnésio (Mg) total (%)	0,10	0,11	0,12
Enxofre (S) total (%)	0,05	0,05	0,06
Relação C/N (C total e N total)	51/1	51/1	51/1
Relação C/N (C orgânico e N total)	50/1	50/1	50/1

Os estudos foram conduzidos de acordo com o método descrito na norma 106 Adsorção-Dessorção utilizando o método “Batch” de equilíbrio, da OECD (2000). O teste é baseado em estudos de isotermas de adsorção, fazendo-se uso do modelo de Freundlich para estimar os valores do coeficiente de adsorção (K_f) e da declividade da curva (N). O modelo de Freundlich encontra-se descrito na seguinte equação, (eq. 1):

$$S = K_f C_e^N \quad (1)$$

Onde: S significa quantidade da substância teste adsorvida na palha, $\mu\text{g g}^{-1}$; C_e significa concentração de equilíbrio da substância teste na solução, $\mu\text{g mL}^{-1}$; K_f é o coeficiente de adsorção ajustado para o modelo de Freundlich; e N é uma constante que representa o grau de linearidade da equação.

Para o teste de sorção do herbicida diuron foram utilizadas cinco soluções com diferentes concentrações: 3,65; 6,93; 13,97; 28,12 e 56,37 $\mu\text{g mL}^{-1}$, com radioatividade média de 0,36 Bq L^{-1} . A concentração de 13,97 $\mu\text{g mL}^{-1}$ corresponde a dose máxima recomendada para a cultura da cana-de-açúcar, admitindo uma relação palha:solução equivalente à 0,1 g de palha e 10 mL de CaCl_2 0,01 mol L^{-1} . As soluções foram preparadas em CaCl_2 0,01 mol L^{-1} , com o objetivo de melhorar a centrifugação e minimizar a ocorrência de possíveis trocas catiônicas (OECD, 2000). Utilizou-se o padrão analítico do herbicida com seu isótopo radioativo (^{14}C -diuron pureza = 98,7 % e atividade específica = 2,43 MBq mg^{-1}).

Para o herbicida metribuzin também foram utilizadas cinco soluções com diferentes concentrações: 3,32; 6,70; 13,49; 27,05 e 54,16 $\mu\text{g mL}^{-1}$, com radioatividade média de 0,42 Bq L^{-1} . A concentração de 13,49 $\mu\text{g mL}^{-1}$ corresponde a dose máxima recomendada para a cultura da cana-de-açúcar, admitindo uma relação palha:solução equivalente à 0,1 g de palha e 10 mL de CaCl_2 0,01 mol L^{-1} . As soluções foram preparadas em CaCl_2 0,01 mol L^{-1} , utilizando o padrão analítico do herbicida com seu isótopo radioativo (^{14}C -metribuzin pureza = 98% e atividade específica = 5,43 MBq.mg^{-1}).

Para o teste de adsorção coletou-se alíquotas de 10 mL de solução de CaCl_2 0,01 mol L^{-1} , em que foram adicionadas 0,1 g de palha em tubos de teflon de 50 mL, em triplicata. Posteriormente, os tubos foram homogeneizados em agitador horizontal a 180 rotações por minuto (RPM), em sala com condições controladas de 25 °C (± 2 °C) de temperatura no escuro, por um período de 24 horas até estabelecer o equilíbrio da solução. Em seguida foram devidamente centrifugados a 3500 rpm por 15 minutos e alíquotas de 1 mL do sobrenadante foram retiradas em duplicata para determinar a radioatividade por Espectrometria de Cintilação Líquida (ECL). A quantidade adsorvida foi obtida calculando-se a diferença entre a concentração inicial e a concentração de equilíbrio (C_e). Duplicatas da solução de CaCl_2 0,01 mol L^{-1} com e sem os herbicidas foram agitadas e centrifugadas sem a palha para eliminar possível erro devido à adsorção às paredes dos frascos, determinando-se assim, os valores exatos das concentrações iniciais.

Após o descarte da solução sobrenadante iniciou-se o teste de dessorção, a cada tubo de centrífuga foram adicionadas alíquotas de 10 mL de solução de CaCl_2 0,01 mol L^{-1} . Posteriormente, os tubos foram agitados e centrifugados, nas mesmas condições anteriores. Novamente, alíquotas de 1 mL do sobrenadante foram

retiradas em duplicata para determinar a concentração da substância teste dessorvida por Espectrometria de Cintilação Líquida (ECL).

Para o segundo estudo foram utilizadas as mesmas concentrações de diuron e metribuzin, porém foram adicionados 10 mL de água deionizada ao invés da solução de CaCl_2 , tanto para os processos de sorção como de dessorção. Além disso, as alíquotas de sobrenadante foram retiradas sem realizar a etapa de centrifugação, a fim de quantificar possíveis quantidades dos herbicidas aplicados no resíduo de solo que estava presente na amostra de palha utilizada no estudo.

A análise dos resultados da radioatividade da solução de equilíbrio (C_e) foi determinada por contagem em Espectrometria de Cintilação Líquida (ECL). A quantidade da substância teste dessorvida foi determinada pela diferença entre a concentração inicial e a concentração de equilíbrio ($S = C_i - C_e$). Os resultados foram avaliados e expressos através das isotermas de adsorção e dessorção, e os dados foram ajustados utilizando o modelo de Freundlich.

Calculou-se também o índice de histerese (H), que representa a capacidade do herbicida em permanecer adsorvido, sendo os valores de N_{sor} e N_{des} o fator de linearidade obtidos nas curvas de adsorção e dessorção, respectivamente (VIVIAN et al., 2007). O índice de histerese (H) foi calculado através da equação, (eq. 2);

$$H = N_{\text{sor}} / N_{\text{des}} \quad (2)$$

em que: H é o índice de histerese, N_{sor} é o fator de linearidade obtido para sorção e N_{des} é o fator de linearidade para dessorção.

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Estudo I – Sorção e dessorção após 24 horas

Sorção

O modelo de Freundlich ajustou-se bem às isotermas de sorção tanto para diuron como para metribuzin, pois apresentou valores de R^2 superiores a 0,98. Os valores de K_f obtidos a partir das isotermas de sorção utilizando os parâmetros de Freundlich foram muito próximos aos valores de K_d para ambos herbicidas e estão apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Coeficiente de Freundlich para sorção ($K_{f(sor)}$), grau de linearidade ($N_{(sor)}$), coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de sorção linear (K_d), e porcentagem de sorção determinados em palha de cana-de-açúcar para os herbicidas diuron e metribuzin. Piracicaba, SP, 2013

Herbicidas	$K_{f(sor)}$ mL g ⁻¹	$N_{(sor)}$	R^2	$K_{d(sor)}$ mL g ⁻¹	Sorção %
Diuron	83,63	0,94	0,9861	74,29	42,43
Metribuzin	15,74	0,99	0,9964	15,61	13,49

A relação entre a quantidade de diuron e metribuzin sorvida pela palha e a concentração dos herbicidas presentes na solução depois de atingido o equilíbrio, está representada na Figura 4.1.

Figura 4.1 - Isotermas de sorção para os herbicidas diuron e metribuzin. Piracicaba, SP, 2013

As curvas obtidas a partir da quantidade de soluto adsorvido em função da concentração desse soluto na solução em equilíbrio são chamadas de isotermas (FALONE; VIEIRA, 2004). Para a sorção, as curvas caracterizaram-se como lineares em relação à abscissa, pois os fatores de linearidade ($1/N$) foram próximos de 1, sendo 0,94 e 0,99 para diuron e metribuzin respectivamente. De acordo com Giles et al. (1960), as isotermas de adsorção representadas no gráfico classificam-se em tipo C (Constant partition), indicando uma partição constante do soluto entre a solução e

o adsorvente, dando à curva um aspecto linear, pois o coeficiente de adsorção (K_f) aumentou com o aumento da concentração para os dois herbicidas (SILVA, et al, 2007). Liu et. al (2010), em estudo de sorção de diuron em seis tipos de solo, observaram que a adsorção ocorreu de forma mais linear no tipo de solo em que o valor de N foi mais próximo de 1. Resultados como estes indicam que os sítios de sorção não são limitados pelo aumento da concentração do herbicida.

Apesar das curvas apresentarem a mesma tendência para diuron e metribuzin, os herbicidas tiveram comportamentos distintos em relação à quantidade de produto sorvida pela palha, sendo que o diuron ficou mais adsorvido à palha quando comparado ao metribuzin. Através do balanço de massa verificou-se que 42,43% e 13,49% do total aplicado de diuron e metribuzin, respectivamente, ficaram retidos na palha, ou seja, não disponíveis na solução do solo para absorção pelas raízes.

As características físico-químicas de cada molécula desempenham importante papel sobre o seu comportamento. De acordo com a classificação de Deuber (1992), o diuron possui baixa solubilidade em água ($S = 42 \text{ mg L}^{-1}$) e o metribuzin classifica-se como muito alta ($S = 1100 \text{ mg L}^{-1}$). Outra característica importante é o coeficiente de distribuição octanol-água (K_{ow}), que mede a lipofilicidade da molécula. Para o diuron essas características têm maior importância, pois se trata de um herbicida não-iônico, com alto valor de K_{ow} , ou seja é uma molécula apolar que possui menor afinidade pela água, que permanece na forma molecular e em menor disponibilidade na solução.

Por outro lado, o metribuzin é um herbicida iônico que se comporta como base fraca em solução e tem como principal característica a sua constante de ionização (pK_a), que está diretamente relacionada ao pH do meio. De acordo com Rodrigues e Almeida (2011), sua constante de ionização ($pK_a = 1,00$), é menor que o pH da palha utilizada no experimento que possui valor de 5,8 (Tabela 4.1), portanto a concentração da forma não dissociada (molecular ou neutra) será maior que a forma associada (catiônica ou protonada), predominando em sua forma molecular (OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011). Isso explica sua menor capacidade de adsorção, e consequentemente maior disponibilidade na solução.

Os valor do coeficiente de sorção (K_d) para os dois herbicidas estudados estão apresentados na Tabela 4.2. Verifica-se maiores valores de K_d para o herbicida diuron ($74,29 \text{ mL g}^{-1}$), indicando que o mesmo encontra-se mais adsorvido

a palha e menos disponível na solução, em contrapartida o herbicida metribuzin apresentou valor de K_d , menor ($15,61 \text{ mL g}^{-1}$), pois possui baixa capacidade de adsorção à palha, estando mais disponível na solução. Selim (2003) e Ma e Selim (1996) ao realizarem estudos de adsorção de metribuzin em solo, também encontraram baixos valores de K_d para metribuzin, indicando a sua baixa retenção e alto potencial de lixiviação no solo. Nanquin (2005), ao comparar o comportamento de metribuzin e atrazina em palha de cana-de-açúcar verificou que o metribuzin possui menor capacidade de retenção pela palha em relação à molécula de atrazina.

Para a molécula de metribuzin, foi obtido valor médio de K_d de $15,61 \text{ mL g}^{-1}$, no entanto Selim (2003) usando a mesma metodologia para solo de textura média teve como resultado $1,18 \text{ mL g}^{-1}$. Este resultado indica que a palha possui maior poder de retenção de herbicidas do que o solo. Selim e Zhu (2005) compararam a sorção de atrazina entre palha de cana-de-açúcar em solo médio e obtiveram valores de K_d cerca de dez vezes maior para a palha, concordando com este resultado. Os autores Boyd et al. (1990) verificaram que coberturas vegetais resultantes de restos de culturas depositados na superfície do solo possuem capacidade de sorção de 10 a 60 vezes mais que o solo.

Dessorção

O modelo de Freundlich ajustou-se bem às isotermas de dessorção tanto para diuron como para metribuzin, apresentando valores de R^2 superiores a 0,98. Os valores de K_f obtidos a partir das isotermas de dessorção utilizando os parâmetros de Freundlich para ambos herbicidas estão apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Coeficiente de Freundlich para dessorção ($K_{f(\text{des})}$), grau de linearidade ($N_{(\text{des})}$), coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de sorção linear (K_d), porcentagem de dessorção e índice de histerese determinados em palha de cana-de-açúcar para os herbicidas diuron e metribuzin. Piracicaba, SP, 2013

Herbicidas	$K_{f(\text{des})}$ mL g^{-1}	N_{des}	R^2	$K_{d(\text{des})}$ mL g^{-1}	Dessorção (I + II + III) %	Índice de histerese $N_{(\text{sor})}/N_{(\text{des})}$
Diuron	361,29	1,14	0,9828	364,83	100	0,82
Metribuzin	1316,70	1,11	0,9946	1114,11	100	0,88

As isotermas de dessorção dos estudos realizados as 24, 48 e 72 horas após o teste de sorção para diuron e metribuzin são representadas pelas Figuras 4.2, 4.3 e 4.4 respectivamente.

Figura 4.2 - Isotermas de dessorção 24 horas após o teste de sorção seguindo os parâmetros de Freundlich para diuron e metribuzin. Piracicaba, SP, 2013

Figura 4.3 - Isotermas de dessorção 48 horas após o teste de sorção seguindo os parâmetros de Freundlich para diuron e metribuzin. Piracicaba, SP, 2013

Figura 4.4 - Isotermas de dessorção 72 horas após o teste de sorção seguindo os parâmetros de Freundlich para diuron e metribuzin. Piracicaba, SP, 2013

Nas três etapas de dessorção, os valores médios de K_f (des) foram maiores que seus respectivos K_f (sor) tanto para diuron como para metribuzin, indicando que o processo de dessorção envolveu mecanismos que permitiram maior energia de ligação que a sorção. Os autores Vivian et al. (2007) e Arsego (2009) avaliando a sorção de ametryn e diuron em solos, respectivamente, corroboram com estes resultados.

Levando em consideração os valores de K_d conclui-se que a quantidade sorvida foi indiretamente proporcional à quantidade dessorvida pelos herbicidas, pois para diuron o K_d encontrado para sorção foi maior que o respectivo K_d encontrado para metribuzin. No entanto, para a dessorção os valores de K_d encontrados para diuron foram menores que os mesmos valores encontrados para metribuzin (Tabela 4.3). Arsego (2009) observou os mesmos resultados para diuron em diferentes tipos de solo.

Os valores de N_{des} obtidos, sendo 1,14 e 1,11 para diuron e metribuzin, respectivamente, foram maiores que os mesmos valores encontrados para o estudo de sorção, indicando que não houve histerese e o processo de sorção foi reversível. O índice de histerese é a relação entre o grau de linearidade entre sorção e dessorção (N_{sor}/N_{des}) e quanto maior o índice, maior será a histerese levando a maior irreversibilidade do processo de sorção. Os valores dos índices de histerese encontrados para diuron e metribuzin foram 0,82 e 0,88, respectivamente, esses valores são considerados baixos, indicando a ausência de histerese.

A ausência de histerese é confirmada pelos dados obtidos através do balanço de massa, mostrando que tanto diuron como metribuzin foram dessorvidos totalmente da palha após três etapas de dessorção, indicando que os herbicidas foram fracamente sorvidos pela palha em seus respectivos processos de sorção.

4.3.2 Estudo II – Sorção e dessorção após sete dias

Sorção

Os valores de K_f obtidos a partir das isotermas de sorção utilizando os parâmetros de Freundlich para diuron e metribuzin estão apresentados na Tabela 4.4. O modelo de Freundlich ajustou-se bem às isotermas de sorção tanto para diuron como para metribuzin, pois apresentou valores de R^2 superiores a 0,97.

Tabela 4.4 - Coeficiente de Freundlich para sorção ($K_f(\text{sor})$), grau de linearidade ($N(\text{sor})$), coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de sorção linear (K_d), e porcentagem de sorção determinados em palha de cana-de-açúcar para os herbicidas diuron e metribuzin. Piracicaba, SP, 2013

Herbicidas	$K_f(\text{sor})$ mL g ⁻¹	N_{sor}	R^2	$K_d(\text{sor})$ mL g ⁻¹	Sorção %
Diuron	71,29	0,90	0,9908	58,27	36,60
Metribuzin	29,45	0,78	0,9726	17,89	15,00

As isotermas de sorção obtidas a partir do modelo de Freundlich geraram os gráficos para diuron e metribuzin que podem ser visualizados na Figura 4.5.

Figura 4.5 - Isotermas de sorção para os herbicidas diuron e metribuzin. Piracicaba, SP, 2013

Assim como observado no primeiro estudo, diuron e metribuzin apresentaram resultados diferentes no que diz respeito à capacidade de sorção dos herbicidas pela palha. De acordo com os resultados observados, diuron apresentou coeficiente de sorção ($K_d = 58,27$) superior ao mesmo coeficiente obtido para metribuzin ($K_f = 17,89$) e portanto maior sorção a palha em relação ao metribuzin. Pois quanto maior o valor de K_d , maior é a quantidade de produto sorvida na palha e consequentemente, menor a quantidade disponível em solução (Arsego,2009).

Os valores de N_{sor} para os dois herbicidas foram 0,90 e 0,78 para diuron e metribuzin, respectivamente, sendo menores do que a unidade ($N_{sor} < 1$). As curvas geradas a partir dos parâmetros da equação de Freundlich para os dois herbicidas classificam-se como curvas do tipo L (Langmuir) de acordo com Giles et al. (1960), indicando que os sítios de adsorção diminuem à medida em que se aumenta a concentração dos herbicidas na solução do solo.

Através do balanço de massa, 36,60% do diuron ficaram sorvidos na palha enquanto que para metribuzin este valor foi apenas 15%.

Dessorção

O modelo de Freundlich ajustou-se bem às isotermas de dessorção tanto para diuron como para metribuzin, apresentando valores de R^2 superiores a 0,94. Os valores de K_f obtidos a partir das isotermas de dessorção utilizando os parâmetros

de Freundlich para ambos herbicidas estão apresentados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Coeficiente de Freundlich para dessorção ($K_f(\text{des})$), grau de linearidade ($N(\text{des})$), coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de sorção linear (K_d), porcentagem de dessorção e índice de histerese determinados em palha de cana-de-açúcar para os herbicidas diuron e metribuzin. Piracicaba, SP, 2013.

Herbicidas	$K_f(\text{des})$ mL g^{-1}	N_{des}	R^2	$K_d(\text{des})$ mL g^{-1}	Dessorção (I + II + III) %	Índice de histerese $N_{(\text{sor})}/N_{(\text{des})}$
Diuron	300,64	1,00	0,9429	296,83	100	0,90
Metribuzin	815,11	0,87	0,9797	1210,87	100	0,90

As isotermas de dessorção dos estudos realizados as 24, 48 e 72 horas após o teste de sorção para diuron e metribuzin são representadas pelas Figuras 4.6, 4.7 e 4.8, respectivamente.

Figura 4.6 - Isotermas de dessorção 7 dias após o teste de sorção seguindo os parâmetros de Freundlich para diuron e metribuzin. Piracicaba, SP, 2013

Figura 4.7 - Isotermas de dessorção 8 dias após o teste de sorção seguindo os parâmetros de Freundlich para diuron e metribuzin. Piracicaba, SP, 2013

Figura 4.8 - Isotermas de dessorção 9 dias após o teste de sorção seguindo os parâmetros de Freundlich para diuron e metribuzin. Piracicaba, SP, 2013

Nas três etapas de dessorção, os valores médios de $K_{f\text{ (des)}}$ foram maiores que seus respectivos $K_{f\text{ (sor)}}$ tanto para diuron como para metribuzin, indicando que o processo de dessorção envolveu mecanismos que permitiram maior força de sorção dos herbicidas à palha.

Os valores de N_{des} obtidos, sendo 1,00 e 0,87 para diuron e metribuzin, respectivamente, foram maiores que os mesmos valores encontrados para o estudo de sorção, indicando ausência de histerese. Além disso, o valor do índice de histerese encontrado para ambos herbicidas foi 0,90.

A ausência de histerese é confirmada pelos dados obtidos através do balanço de massa, mostrando que tanto diuron como metribuzin foram dessorvidos totalmente da palha após três etapas de dessorção, mostrando que os herbicidas foram fracamente sorvidos pela palha em seus respectivos processos de sorção, bem como a sua reversibilidade.

O intervalo de sete dias entre os processos de sorção e dessorção representam em uma situação de campo o mesmo intervalo, no entanto ocorrido entre a aplicação do herbicida e a primeira chuva. A partir dos resultados conclui-se que o tempo de sete dias não é suficiente para que diuron e metribuzin fiquem sorvidos à palha. Rossi et al. (2013) estudando a dinâmica de metribuzin em palha de cana-de-açúcar concluíram a partir de estudos de campo que a transposição de metribuzin em 10 ton ha⁻¹ de palha foi menor do que 40% do total de herbicida aplicado quando a área permaneceu por 7 dias sem chuva. No entanto esses mesmos autores, verificaram que a simulação de 33,5 mm de chuva foi suficiente para promover transposição maior que 99% do total aplicado nas mesmas condições. Banks e Robinson (1982) avaliando a influência da palha de trigo no comportamento do metribuzin no solo observaram que menos de 1% do herbicida alcançou o solo antes da irrigação. Porém, com a irrigação das parcelas logo após a aplicação, observou-se que 56% do metribuzin atingiu o solo.

4.4 Conclusões

No processo de sorção, o herbicida diuron foi mais retido pela palha quando comparado ao metribuzin, sendo este fato provavelmente atribuído às características físico-químicas específicas de cada herbicida.

Para os dois estudos o total aplicado para os herbicidas diuron e metribuzin, foram sorvidos fracamente pela palha, sendo totalmente dessorvidos pelos três processos de dessorção.

Conclui-se que o tempo de sete dias não é suficiente para que diuron e metribuzin fiquem sorvidos à palha sem que haja reversibilidade do processo.

Referências

ARSEGO, I. **Sorção dos herbicidas diuron e hexazinone em solos de textura contrastante**. 2009. 66p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

BANKS, P.A.; ROBINSON, E.L. The influence of straw mulch on the soil reception and persistence of metribuzin. **Weed Science**, Champaign, v.30, n.2, p. 164-168, 1982.

BOYD S.A.; XIANGCAN, J.; LEE, J.F. Sorption of nonionic organic compounds by corn residues from a no-tillage field. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.19, n. 4, p. 734-738, 1990.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; LOPEZ-OVEJERO, R.F.; DAMIN, V.; CARVALHO, S.J.P.; NICOLAI, M. Interações dos fatores ambientais com os herbicidas aplicados ao solo e as consequências agrônômicas. In: _____ **Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Editora CP 2, 2009. cap. 4, p. 33-60.

DAO, T.H. Field decay of wheat straw and its effects on metribuzin and s-ethyl metribuzin sorption and elution from crop residues. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 20, n. 1, p. 203-208, 1991.

DEUBER, R. **Ciência das plantas daninhas: fundamentos**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. . v. 1. p. 431.

FALONE, S.Z.; VIEIRA, E.M. Adsorção/Dessorção do explosivo tetril em turfa e em Argissolo Vermelho Amarelo. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, n. 6, p. 849-854, 2004.

FORNAROLLI, D.A.; RODRIGUES, B.N.; LIMA, J.; VALÉRIO, M.A. Influência da cobertura morta no comportamento do herbicida atrazine. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 16, n. 2, p. 97-107, 1998.

GILES, C.H.; MACEWAN, T.H.; NAKHWA, S.N.; SMITH, D. Studies in Adsorption. Part XI. A system of classification of solution adsorption isotherms, and its use in diagnosis of adsorption mechanisms and in measurement of specific surface areas of solids. **Journal of the Chemical Society**, London, v. 56, p. 3973-3993, 1960.

LIU Y.H.; XU Z.Z.; WU X.G.; GUI W.J.; ZHU G.N. Adsorption and desorption behavior of herbicide diuron on various Chinese cultivated soils. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v.178, n. 1-3, p. 462-468, 2010.

MA, L.; SELIM, H.M. Solute transport in soils under conditions of variable flow velocities. **Water Resources Research**, Washington, DC, v. 32, n. 11, p. 3277-3283, 1996.

NANQUIN, B.J. **Herbicide retention as affected by sugarcane mulch residue**. 2005. 67p. Dissertação (Mestrado em Ciência) - University of Louisiana, Lafayette, 2005.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT : **Adsorption–Desorption. Using a Batch Equilibrium Method**. Jan. 2000. 45p. (OECD guideline for the testing of chemicals, 106).

OLIVEIRA, M.F.; BRIGHENTI, A.M. Comportamento de herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA JUNIOR, R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. p.263-304.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 5. ed. Londrina: Edição dos autores, 2005. 592p.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 6. ed. Londrina: Edição dos autores. 2011. 697p.

ROSSI, C.V.S.; VELINI, E.D.; LUCHINI, L.C.; NEGRISOLI, E.; CORREA, M.R.; PIVETTA, J.P.; COSTA, A.G.F.; SILVA, F.M.L. Dinâmica do herbicida metribuzin aplicado sobre palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 31, n. 1, p. 223-230, 2013.

SELIM, H.M. Retention and runoff losses of atrazine and metribuzin in soil. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 32, n. 3, p. 1058–1071, 2003.

SELIM, H.M.; ZHOU, L.; ZHU, H. Herbicide retention as affected by sugarcane mulch residue. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 32, n. 4, p.1445–1454, 2003.

SELIM, H.M.; ZHU, H. Atrazine Sorption–Desorption Hysteresis by Sugarcane Mulch Residue. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 34, n. 1, p. 325-335, 2005.

SILVA, A.A.; VIVIAN, R.; OLIVEIRA Jr., R. S. Herbicidas: comportamento no solo. In: SILVA, A.A.; SILVA, J.F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: Ed. UFV, 2007. cap.5, p. 189-248.

VIVIAN, R.; GUIMARÃES, A.A.; QUEIROZ, M.E.L.R.; SILVA, A.A.; REIS, M.R.; SANTOS, J.B. Adsorção e dessorção de trifloxysulfuron-sodium e ametryn em solos brasileiros. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 25, n. 1, p. 97-109, 2007.

5 DINÂMICA DE HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES NA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS

Resumo

Na colheita mecanizada da cana-de-açúcar é depositada no solo uma camada de palha que pode afetar a eficácia dos herbicidas pré-emergentes que possuem ação exclusiva ou preferencial no solo. A manutenção da cobertura morta sobre a superfície do solo pode reduzir o potencial de infestação de plantas daninhas, que estão relacionados à transposição do herbicida pela palha, a dinâmica de molhamento e lavagem da palha pela água das chuvas. A chuva é responsável pelo transporte do herbicida até o solo. Diuron, metribuzin e tebuthiuron são inibidores do Fotossistema II, no entanto possuem diferentes características fazendo com que sua dinâmica e eficácia sobre as plantas daninhas sejam diferentes quando aplicados sobre a palha. Portanto, desenvolveu-se a presente pesquisa com o objetivo de conhecer melhor a dinâmica de diferentes herbicidas em diferentes regimes hídricos e apontar as principais relações entre os mesmos no que diz respeito à eficácia de controle das plantas daninhas. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados em esquema fatorial 6X3X2, em que foram testados seis níveis para o fator chuva simulada (Testemunha, 0, 5, 10, 20 e 20+20 mm), três herbicidas (diuron, metribuzin e tebuthiuron) e duas quantidades de palha (0 e 10 ton ha⁻¹), com quatro repetições. Foram utilizadas as doses comerciais para diuron (2.000 g i.a. ha⁻¹), metribuzin (1.920 g i.a. ha⁻¹) e tebuthiuron (1.200 g i.a. ha⁻¹). Foram semeadas as espécies *Ipomoea grandifolia* e *Cucumis sativus* em vasos, avaliando-se o controle aos 30 e 21 dias após a semeadura, respectivamente. Diuron mostrou-se menos eficaz nos tratamentos com palha em comparação ao metribuzin e tebuthiuron. A palha afetou de maneira significativa o controle de plantas daninhas pelos herbicidas na ausência de chuva simulada, sendo que uma chuva de 20 mm foi suficiente para promover lixiviação de todos os herbicidas para o solo, e promover excelentes níveis de controle das plantas daninhas.

Palavras-chave: Irrigação; Controle; Diuron; Metribuzin; Tebuthiuron

Abstract

In the mechanical harvest of sugarcane is deposited a layer of straw that can affect the efficacy of herbicides with exclusive or preferential action on the ground. Maintenance of mulch on the soil surface can reduce the potential for weed infestations that are related to the transposition of the herbicide by straw, the dynamics of wetting and washing the straw by rainwater. The rain is responsible for the transport of the herbicide into the soil. Diuron, tebuthiuron and metribuzin are Photosystem II inhibitors, however have different characteristics causing their dynamics and efficacy on weeds are different when applied over straw. Therefore, we developed this research in order to better understand the dynamics of different herbicides in different water regimes and point out the main relationships between them with regard to the efficacy of weed control. The experimental design was a randomized block in factorial 6X3X2, they were tested six levels for the rain factor

(control, 0, 5, 10, 20 and 20 +20 mm), three herbicides (diuron, tebuthiuron and metribuzin) and two quantities straw (0 and 10 ton ha⁻¹), with four replications. The doses commercial diuron (2000 g a.i. ha⁻¹), metribuzin (1920 g a.i. ha⁻¹) and tebuthiuron (1200 g a.i. ha⁻¹). Were sown species *Ipomoea grandifolia* and *Cucumis sativus* in pots, evaluating the control at 30 and 21 days after sowing, respectively. Diuron was less effective in the treatments with straw compared to tebuthiuron and metribuzin. The straw significantly affected the weed control by herbicides in the absence of rain, and a rain of 20 mm was sufficient to cause leaching of the herbicides into the soil and promote excellent levels of weed control.

Keywords: Irrigation; Control; Diuron; Metribuzin; Tebuthiuron

5.1 Introdução

A camada de palha depositada na superfície do solo, resultante da colheita mecanizada da cana-de-açúcar é uma das barreiras para o uso de herbicidas com ação exclusiva ou preferencial no solo (NEGRISOLI, et al, 2007). A manutenção da cobertura morta sobre a superfície do solo pode, tanto reduzir o potencial de infestação de plantas daninhas, pela limitação da variação da temperatura na superfície do solo ou pela formação de uma barreira física a ser transposta pela planta daninha em germinação (ROSSI et al., 2013), como também dificultar o desempenho dos herbicidas, que estão relacionados à transposição do herbicida pela palha, à dinâmica de molhamento e lavagem da palha pela água das chuvas (MACIEL; VELINI, 2005).

Correia e Durigan (2004), estudando a emergência de plantas daninhas em solo coberto com palha, observaram redução da densidade populacional das espécies *B. decumbens*, *Sida spinosa* e *Digitaria horizontalis*, no entanto o mesmo não foi observado para as espécies *I. grandifolia*, *I. hederifolia* e *I. quamoclit*. Convolvuláceas pertencentes aos gêneros *Ipomoea* e *Merremia*, possuem destaque entre as plantas daninhas que podem causar sérios danos à cultura da cana-de-açúcar, principalmente em áreas de colheita mecanizada (ALVES, 2010). Portanto, destaca-se a importância da aplicação de herbicidas pré-emergentes mesmo em áreas com cobertura de palha.

Lamoreaux et al. (1993) ressaltam que o transporte de herbicidas da palha para o solo depende de vários fatores como as características físico-químicas inerentes a cada herbicida, a capacidade da palha de cobrir o solo e de reter esse herbicida, e o período em que a área permanece sem chuva após a aplicação. A chuva é responsável pelo transporte do herbicida até o solo. Diversos trabalhos têm

demonstrado que os primeiros 20 mm iniciais são responsáveis pelo carregamento dos herbicidas, apresentando alta capacidade de transporte dos mesmos (VELINI, et al., 2003; ROSSI et al., 2013, TOFOLI et al., 2009).

Diuron, metribuzin e tebuthiuron são inibidores do Fotossistema II, no entanto possuem diferentes características que podem fazer com que sua dinâmica e eficácia sobre as plantas daninhas sejam diferentes quando aplicados sobre a palha. Portanto, desenvolveu-se a presente pesquisa com o objetivo de conhecer melhor a dinâmica de diferentes herbicidas em diferentes regimes hídricos e apontar as principais relações entre os mesmos no que diz respeito à eficácia de controle das plantas daninhas.

5.2 Material e métodos

O experimento foi realizado em condições de casa de vegetação do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, em Piracicaba, Estado de São Paulo (Latitude: 22° 42' 32" S, Longitude: 47° 37' 43" O e 550 m de altitude).

O delineamento utilizado foi de blocos casualizados em esquema fatorial 6X3X2, em que foram testados seis níveis para o fator chuva (Testemunha, 0, 5, 10, 20 e 20+20 mm), três herbicidas (diuron, metribuzin e tebuthiuron) e duas quantidades de palha (0 e 10 ton ha⁻¹), com quatro repetições. Para irrigar 20+20 mm, foram simuladas duas chuvas de 20 mm, sendo a primeira logo após a aplicação e a segunda um dia após a aplicação dos herbicidas.

Foram utilizadas as doses comerciais para diuron (2.000 g i.a. ha⁻¹), metribuzin (1.920 g i.a. ha⁻¹) e tebuthiuron (1.200 g i.a. ha⁻¹), de acordo com a textura do solo utilizado, seguindo as recomendações de Rodrigues e Almeida (2011). As análises químicas e físicas do solo utilizado no experimento foram realizadas no Laboratório de Solos junto ao Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP e podem ser visualizadas nas tabelas 5.1 e 5.2, respectivamente.

Tabela 5.1 - Propriedades químicas do solo utilizado no experimento. Piracicaba, SP, 2012

Profundidade	pH CaCl ₂	MO g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	SB mmolc dm ⁻³	CTC	V %
0-20	6,4	14	17	3,0	48	18	69,1	87,2	79

Tabela 5.2 - Propriedades físicas do solo utilizado no experimento (g kg⁻¹). Piracicaba, SP, 2012.

Profundidade	Areia	Silte	Argila	Classe textural	Origem
0 -20	305	123	572	Argiloso	Piracicaba

Para a aplicação utilizou-se pulverizador costal de precisão pressurizado por CO₂, acoplado a uma barra de pulverização com uma ponta de aplicação do tipo jato plano 110.02 DG, que proporcionou a aplicação de 200 L ha⁻¹ de calda herbicida.

Após a aplicação realizou-se as simulações de chuva para cada tratamento, e após secagem total da palha, retirou-se a mesma do vaso. Um dia após a aplicação foram semeadas as espécies *Cucumis sativus* e *Ipomoea grandifolia*, utilizando 5 e 8 sementes, respectivamente, e os vasos foram submetidos a irrigação diária para emergência e desenvolvimento das plantas.

Aos 10 e 21 dias após aplicação (DAA) realizaram-se avaliações visuais de controle de *Cucumis sativus* por meio de escala percentual de notas, em que zero corresponde a nenhuma injúria na planta e 100, à morte das plantas, seguindo a metodologia proposta pela ALAM (1974). Aos 21 DAA coletaram-se as plantas, que foram colocadas em estufa de circulação forçada por 72 horas, a temperatura constante de 60°C, e após secagem total das plantas foram pesadas a fim de quantificar sua fitomassa seca. O mesmo foi realizado para a espécie *Ipomoea grandifolia*, no entanto as avaliações de controle visual foram realizadas aos 15 e 30 dias após o tratamento, e a coleta das plantas aos 30 dias.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e os dados significativos foram submetidos ao teste de Tukey a 5% de probabilidade através do programa estatístico SAS (2009).

5.3 Resultados e discussão

5.3.1 *Ipomoea grandifolia*

O teste F na análise de variância para a variável controle (%) de *Ipomoea grandifolia* foi significativo para as seguintes interações: herbicida x precipitação, herbicida x palha e palha x precipitação. As médias de controle e seus respectivos

valores de desvio padrão para a interação herbicida x precipitação, independente da quantidade de palha, encontram-se na tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Valores médios para controle visual (%) de *Ipomoea grandifolia* aos 30 dias após semeadura para diuron, metribuzin e tebuthiuron em diferentes precipitações (SE = Desvio Padrão). Piracicaba, SP, 2013

Precipitação (mm ha ⁻¹)	Herbicidas		
	Diuron±SE	Metribuzin±SE	Tebuthiuron±SE
0	41,88 ± 42,11 Db	66,25 ± 44,25 Ca	64,94 ± 39,73 Ba
5	68,94 ± 22,12 Cb	78,75 ± 21,41 BCab	94,25 ± 13,22 Aa
10	74,00 ± 35,69 BCb	89,00 ± 20,31 Aba	99,88 ± 0,34 Aa
20	83,88 ± 23,90 ABa	97,94 ± 4,36 Aba	99,94 ± 0,25 Aa
20+20	96,69 ± 9,92 Aba	99,38 ± 2,50 Aa	100,00 ± 0,00 Aa
Testemunha	0,00 ± 0,00 Ea	0,00 ± 0,00 Da	0,00 ± 0,00 Ca

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, dentro de cada herbicida, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Através dos dados observa-se que diuron teve baixo desempenho no controle de *Ipomoea grandifolia* em baixos volumes de precipitação como 0, 5 e 10 mm ha⁻¹, quando comparado aos demais herbicidas. No entanto, após uma chuva simulada de 20 mm ha⁻¹ os herbicidas não apresentaram diferenças significativas no controle da espécie, indicando que uma chuva de 20 mm é suficiente para que os herbicidas atinjam o solo e desempenhem a sua função.

Diuron mostrou-se pouco eficaz no controle de *I. grandifolia* sob baixas precipitações, principalmente aos 0 mm, em que a média de controle foi 41,88%, indicando que o herbicida necessita de umidade no solo para que exerça sua função no controle de plantas daninhas. Metribuzin apresentou desempenho razoável na ausência de chuva, atingindo média de controle próxima a 66%. Para o herbicida tebuthiuron foram obtidos ótimos resultados de controle, acima de 94% quando foi simulada chuva de apenas 5 mm.

Os três herbicidas mostraram-se diferentes com relação à eficácia de controle sobre as plantas daninhas, sendo que diuron por apresentar menor solubilidade em

água (42 mg L^{-1} a 25°C) depende da presença de umidade no solo para atingir seu efeito de controle sobre as plantas daninhas, diferentemente de metribuzin e tebuthiuron cuja solubilidade em água é 1100 mg L^{-1} a 20°C e 2570 mg L^{-1} a 20°C , respectivamente, que atingiram bons níveis de controle com menor quantidade de chuva.

Os valores médios de controle e seus respectivos valores de desvio padrão (SD) do desdobramento palha x herbicidas independente da precipitação estão na tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Valores médios para controle visual (%) de *Ipomoea grandifolia* aos 30 dias após semeadura para diuron, metribuzin e tebuthiuron com e sem palha (SE = Desvio Padrão). Piracicaba, SP, 2013

Palha	Herbicidas		
	Diuron $\pm$ SE	Metribuzin $\pm$ SE	Tebuthiuron $\pm$ SE
Com	47,29 $\pm$ 40,31 Bb	63,17 $\pm$ 41,89 Ba	70,15 $\pm$ 42,17 Ba
Sem	74,50 $\pm$ 37,70 Aa	80,60 $\pm$ 37,09 Aa	82,85 $\pm$ 37,49 Aa

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, dentro de cada herbicida, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A presença de 10 toneladas de palha por hectare diferiu estatisticamente no controle de *I. grandifolia* para os três herbicidas, observando-se menores médias de controle nos tratamentos em que a palha estava presente, esse resultado indica que a palha afeta a movimentação dos herbicidas para o solo. No entanto, ao comparar os herbicidas, diuron teve sua eficácia de controle mais afetada pela presença da palha do que para os outros herbicidas que apresentaram médias de controle significativamente superiores. Cavenaghi et al. (2002) avaliando a dinâmica de diuron em palha de cana-de-açúcar verificaram redução significativa na transposição do herbicida em quantidades de palha maiores que 2 ton ha^{-1} , sendo que quando a quantidade de palha foi superior à 15 ton ha^{-1} a transposição de diuron foi nula. No entanto, os mesmos autores, observaram que após a simulação de uma chuva de 50 mm, houve expressivo aumento na lixiviação do herbicida pela palha chegando a 65% de transposição. Monquero et al. (2009), estudando a eficácia de diferentes herbicidas no controle de *Ipomoea grandifolia* em diferentes quantidades de palha, concluíram que com 10 t ha^{-1} de palha houve diferença entre os herbicidas, sendo

que diuron+ hexazinone teve o pior desempenho no controle da espécie daninha (22,50%).

As médias de controle de *Ipomoea grandifolia* e seus respectivos valores de desvio padrão (SD) do desdobramento precipitação x palha estão apresentados na tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Valores médios para controle visual (%) de *Ipomoea grandifolia* aos 30 dias após semeadura em diferentes precipitações após o tratamento com e sem palha (SE = Desvio Padrão). Piracicaba – SP, 2013

Precipitação (mm ha ⁻¹)	Palha	
	Com±SE	Sem±SE
0	24,17 ± 31,75 Db	91,21 ± 19,28 Aba
5	70,42 ± 22,69 Cb	90,88 ± 15,01 Aba
10	79,71 ± 33,20 BCb	95,54 ± 10,11 Aa
20	89,54 ± 20,86 ABa	98,29 ± 4,07 Aa
20+20	97,38 ± 8,31 Aa	100,00 ± 0,00 Aa
Testemunha	0,00 ± 0,00 Ea	0,00 ± 0,00 Ba

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, dentro de cada herbicida, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O controle de *I. grandifolia* na presença de palha é significativamente diferente nas precipitações simuladas de chuva de 0, 5 e 10 mm, quando comparado aos tratamentos em que os herbicidas foram aplicados a solo nu, sendo que a partir da precipitação de 20 mm não foram observadas diferenças significativas no controle da espécie. Os resultados obtidos concordam com Negrisoni et al. (2007) que observaram excelente controle para *Ipomoea grandifolia* pelo tebuthiuron aplicado sobre a palha quando ocorreu precipitação de 20 mm um dia após a aplicação do herbicida. Negrisoni et al. (2009) também observaram boas médias de controle para *I. grandifolia* quando aplicou-se o herbicida oxyfluorfen sobre 5 ton ha⁻¹ de palha, seguido por simulações de chuva de 2,5 mm.

Os tratamentos com palha foram afetados pelas lâminas de irrigação de forma significativa, pois para as precipitações simuladas de chuva acima de 20 mm foram obtidos bons níveis de controle da planta daninha, fato não observado para os outros volumes de chuva, pois 0, 5 e 10 mm quando comparados entre si,

promoveram diferentes respostas de controle, 24,17, 70,42 e 79,71%, respectivamente. Tofoli et al. (2009) estudando a dinâmica de tebuthiuron em palha de cana-de-açúcar, teve como resultado que os primeiros 20 mm de chuva foram fundamentais para o processo de carregamento do herbicida para o solo, independente da quantidade de palha e após 20 mm houve tendência dos dados serem similares. Rossi et al. (2013) observaram que a extração de 99% do metribuzin aplicado sobre 10 toneladas de palha por hectare, só foi obtida com simulação de chuva de 21,5 mm. Cavenaghi et al. (2007) concluíram que 75% do amicarbazone aplicado foi lixiviado por uma lâmina de 20 mm de chuva.

Os resultados obtidos para peso de matéria seca (g) de *I. grandifolia* quando submetidos ao teste F na análise de variância foram significativos para as interações precipitação x herbicida e palha x herbicida que estão descritos nas tabelas 5.6 e 5.7, respectivamente.

Tabela 5.6 - Valores médios para matéria seca (g) de *Ipomoea grandifolia* aos 30 dias após semeadura para diuron, metribuzin e tebuthiuron em diferentes precipitações (SE = Desvio Padrão). Piracicaba – SP, 2013

Precipitação (mm ha ⁻¹)	Herbicidas		
	Diuron±SE	Metribuzin±SE	Tebuthiuron±SE
0	0,25 ± 0,28 ABa	0,26 ± 0,45 Ba	0,07 ± 0,11 Aba
5	0,10 ± 0,14 Ba	0,13 ± 0,16 Ba	0,00 ± 0,00 Ba
10	0,10 ± 0,21 Ba	0,07 ± 0,14 Ba	0,00 ± 0,00 Ba
20	0,07 ± 0,09 BCa	0,01 ± 0,01 Ba	0,00 ± 0,00 Ba
20+20	0,03 ± 0,06 Ca	0,01 ± 0,02 Ba	0,00 ± 0,00 Ba
Testemunha	0,42 ± 0,32 Ab	0,80 ± 0,40 Aa	0,33 ± 0,23 Ab

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, dentro de cada herbicida, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ao analisar o peso de matéria seca de *I. grandifolia* observa-se que as diferenças entre as precipitações foram menos evidentes não apresentando diferença significativa entre os herbicidas. No entanto, ao comparar as precipitações para cada herbicida, conclui-se que diuron quando não irrigado após a aplicação apresentou peso semelhante à testemunha em que não houve aplicação de

herbicida mostrando, portanto, que o mesmo não foi eficaz no controle da planta daninha. As diferentes precipitações não afetaram a eficácia do herbicida metribuzin quando comparadas entre si, diferenciando-se apenas da testemunha. Para tebuthiuron foram encontradas diferenças entre a testemunha e as precipitações de 5, 10, 20 e 20+20 mm.

Tabela 5.7 - Valores médios para matéria seca (g) de *Ipomoea grandifolia* aos 30 dias após semeadura para diuron, metribuzin e tebuthiuron com e sem palha (SE = Desvio Padrão). Piracicaba, SP, 2013

Palha	Herbicidas		
	Diuron $\pm$ SE	Metribuzin $\pm$ SE	Tebuthiuron $\pm$ SE
Com	0,24 $\pm$ 0,27 Aa	0,25 $\pm$ 0,36 Aa	0,05 $\pm$ 0,11 Ab
Sem	0,08 $\pm$ 0,18 Ba	0,17 $\pm$ 0,38 Aa	0,08 $\pm$ 0,20 Aa

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, dentro de cada herbicida, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com relação às médias de matéria seca na presença ou ausência de palha observa-se que apenas diuron teve resultados significativos, sendo observado maior peso de matéria seca na presença de palha, indicando baixo índice de controle da planta daninha. Ao comparar os três herbicidas estudados, observou-se que apenas tebuthiuron diferenciou-se dos demais apresentando baixo valor de matéria seca e, portanto, eficaz no controle da planta daninha. Na ausência da palha os herbicidas não mostraram diferenças significativas entre si.

5.3.2 *Cucumis sativus*

Os resultados de controle (%) obtidos para *Cucumis sativus* também foram submetidos ao teste F na análise de variância, sendo que as interações precipitação x herbicida, palha x herbicida e precipitação x palha foram significativas e comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As médias de controle das interações precipitação x herbicida, palha x herbicida e precipitação x palha podem ser observadas nas tabelas 5.8, 5.9 e 5.10, respectivamente.

Tabela 5.8 - Valores médios para controle visual (%) de *Cucumis sativus* aos 21 dias após semeadura para diuron, metribuzin e tebuthiuron em diferentes precipitações (SE = Desvio Padrão). Piracicaba, SP, 2013

Precipitação (mm ha ⁻¹)	Herbicidas		
	Diuron±SE	Metribuzin±SE	Tebuthiuron±SE
0	46,56 ± 38,50 Cc	94,69 ± 9,74 Aa	73,13 ± 26,76 Bb
5	74,69 ± 37,17 Bb	95,31 ± 9,39 Aa	90,94 ± 13,44 Aa
10	93,44 ± 20,55 Aa	96,88 ± 8,54 Aa	93,75 ± 11,62 Aa
20	100,00 ± 0,00 Aa	100,00 ± 0,00 Aa	100,00 ± 0,00 Aa
20+20	100,00 ± 0,00 Aa	100,00 ± 0,00 Aa	99,69 ± 1,25 Aa
Testemunha	0,00 ± 0,00 Da	0,00 ± 0,00 Aa	0,00 ± 0,00 Ca

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, dentro de cada herbicida, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Através dos dados de controle obtidos, concluiu-se que diuron promoveu bons índices de controle quando submetido a precipitações a partir de 10 mm, no entanto quando irrigado com apenas 5 mm e 0 mm suas médias de controle foram bem inferiores. Para metribuzin as precipitações estatisticamente iguais para o controle do pepino, que se mostrou muito sensível a esse herbicida. Para tebuthiuron verificou-se boas médias de controle, sendo que o controle do pepino ficou um pouco comprometido quando não houve precipitação, diferenciando-se dos demais regimes pluviométricos.

Tabela 5.9 - Valores médios para controle visual (%) de *Cucumis sativus* aos 21 dias após semeadura para diuron, metribuzin e tebuthiuron com e sem palha (SE = Desvio Padrão). Piracicaba, SP, 2013

Palha	Herbicidas		
	Diuron±SE	Metribuzin±SE	Tebuthiuron±SE
Com	60,63 ±46,29 Bc	81,5 ±37,35 Aa	74,06 ±37,31 Ab
Sem	77,60 ±37,67 Aa	80,73 ±37,22 Aa	78,44 ±38,30 Aa

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, dentro de cada herbicida, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Analisando-se a influência da palha sobre o funcionamento dos herbicidas, concluiu-se que apenas diuron teve sua eficácia de controle do pepino diminuída pela presença da palha. E ao comparar os herbicidas entre si, observou-se que na presença de palha, metribuzin, seguido de tebuthiuron e diuron obtiveram melhor resposta de controle para *C. sativus*, enquanto que na ausência de palha apresentaram resultados médios de controle semelhantes. Em concordância com estes resultados, Monquero et al. (2008) verificaram que a deposição de palha reduziu significativamente a eficácia de diuron + hexazinone, tendo significativa redução no controle de sorgo e pepino quando aplicado sobre 15 ton ha⁻¹ de palha.

Tabela 5.10 - Valores médios para controle visual (%) de *Cucumis sativus* aos 21 dias após semeadura em diferentes precipitações após o tratamento com e sem palha (SE = Desvio Padrão). Piracicaba, SP, 2013

Precipitação (mm ha ⁻¹)	Palha	
	Com±SE	Sem±SE
0	59,38 ± 37,86 Cb	83,54 ± 23,80 Ba
5	81,25 ± 32,41 Ba	92,71 ± 11,03 Aba
10	91,88 ± 18,64 ABa	97,50 ± 7,22 Aa
20	100,00 ± 0,00 Aa	100,00 ± 0,00 Aa
20+20	100,00 ± 0,00 Aa	99,79 ± 1,02 Aa
Testemunha	0,00 ± 0,00 Da	0,00 ± 0,00 Ca

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, dentro de cada herbicida, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As médias de controle obtidas na presença de palha e ausência de palha foram significativamente diferentes entre si apenas quando não houve simulação de chuva, indicando que a presença da palha e a ausência de umidade diminuíram o controle do pepino pelos herbicidas. Na presença de palha observou-se diminuição no controle do pepino apenas nas precipitações 0 e 5, que foram diferentes dos demais tratamentos quando comparados entre si. Na ausência de palha as médias de controle foram diminuídas significativamente apenas na ausência de chuva quando comparada às demais precipitações, mesmo assim obteve-se bom resultado de controle, que chegou à média de 83%.

Os dados de peso de matéria seca (g) foram submetidos ao teste F e apresentaram diferenças significativas apenas para o fator precipitação, cujas médias foram comparadas utilizando o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Como resultado verificou-se que apenas a testemunha diferenciou-se das demais precipitações, pois apresentou maior média massa de matéria seca quando comparadas entre si.

5.4 Conclusões

A eficácia dos herbicidas no controle de plantas daninhas depende das características inerentes de cada um, sendo que diuron mostrou-se menos eficaz nos tratamentos com palha em comparação ao metribuzin e tebuthiuron. A palha afetou de maneira significativa o controle de plantas daninhas pelos herbicidas na ausência de chuva, sendo que uma chuva de 20 mm foi suficiente para promover lixiviação de todos os herbicidas para o solo e promover excelentes níveis de controle das plantas daninhas.

Referências

ALAM - ASOCIATION LATINOAMERICANA DE MALEZAS. Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación em ensayos de control de malezas. **ALAM**, Bogotá, v. 1, p. 35-38, 1974.

ALVES, S.N.R. **Efeito residual de herbicidas aplicados em pré-emergência em diferentes condições de restrição hídrica no solo na cultura da cana-de-açúcar**. 2010. 127p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

CAVENAGHI, A.L.; NEGRISOLI, E.; TOFOLI, G.R.; VELINI, E.D.; COSTA, E.A.D.; COSTA, A.G.F. Dinâmica de herbicidas em palhada de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8., 2002, Recife-PE. **Anais...**Piracicaba: STAB, 2002. p.170-174.

CAVENAGHI, A.L.; ROSSI, C.V.S.; NEGRISOLI E.; COSTA, E.A.D.; VELINI, E.D.; TOLEDO, R.E.B. Dinâmica do herbicida amicarbazone (Dinamic) aplicado sobre palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 25, n. 4, p. 831-837, 2007.

CORREIA, N.M.; DURIGAN, J.C. Emergência de plantas daninhas em solo coberto com palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 22, n. 1, p. 11-17, 2004.

LAMOREAUX, R.J.; JAIN, R.; HESS, F.D. Efficacy of dimethenamid, metolachlor and encapsulated alachlor in soil covered with crop residue. **Brighton Crop Protec. Conf. Weeds**, Brighton, UK, v. 3, n. 3, p. 1015-1020, 1993.

MACIEL, C.D.G.; VELINI, E.D. Simulação do caminhamento da água da chuva e herbicidas em palhadas utilizadas em sistemas de plantio direto. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 23, n. 3, p. 471-481, 2005.

MONQUERO, P.A.; SILVA, A.C.; BINHA, D.P.; AMARAL, L.R.; SILVA, P.V.; INACIO, E.M. Mobilidade e persistência de herbicidas aplicados em pré-emergência em diferentes solos. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 26, n. 2, p. 411-417, 2008.

MONQUERO, P. A.; AMARAL, L.R.; SILVA, A.C.; BINHA, D.P.; SILVA, P.V. Eficácia de herbicidas em diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar no controle de *Ipomoea grandifolia*. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 367-372, 2009.

NEGRISOLI, E.; VELINI, E.D.; ROSSI, C.V.S.; CORREIA, T.M.; COSTA, A.G.F. Associação do herbicida tebuthiuron com a cobertura de palha no controle de plantas daninhas no sistema de cana-crua. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 25, n. 3, p. 621-628, 2007.

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.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 6. ed. Londrina, 2011. 697p.

ROSSI, C.V.S.; VELINI, E.D.; LUCHINI, L.C.; NEGRISOLI, E.; CORREA, M.R.; PIVETTA, J.P.; COSTA, A.G.F.; SILVA, F.M.L. Dinâmica do herbicida metribuzin aplicado sobre palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 31, n. 1, p. 223-230, 2013.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT® 9.2**: user's guide. 2nd ed. Cary, 2009. Disponível em: <<http://support.sas.com/documentation/cdl/en/statugmcmc/63125/PDF/default/statugmcmc.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2012.

TOFOLI, G.R.; VELINI, E.D.; NEGRISOLI, E.; CAVENAGHI, A.L.; MARTINS, D. Dinâmica do tebuthiuron em palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 27, n. 4, p. 815-821, 2009.

VELINI, E.D.; TRINDADE, M.L.B.; CAVENAGHI, A.L.; NEGRISOLI, E. Influência da palha na ocorrência de plantas daninhas e na eficiência de herbicidas. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Milho**: estratégias de manejo para alta produtividade. Piracicaba: ESALQ/USP/LPV, 2003. p.198-208.

6 CONCLUSÕES GERAIS

- A dose dos herbicidas diuron, metribuzin e tebuthiuron necessárias para um controle eficaz de *I. grandifolia* varia significativamente com a quantidade de palha sobre o solo, principalmente nas quantidades de 10 a 15 ton ha⁻¹.
- Para o herbicida tebuthiuron as quantidades entre 10 e 15 toneladas de palha por hectare não são suficientes para diminuir significativamente sua eficácia de controle, quando comparado com os tratamentos em solo sem palha.
- No processo de sorção, o herbicida diuron é mais retido pela palha quando comparado ao metribuzin, sendo este fato provavelmente atribuído às características físico-químicas específicas de cada herbicida.
- Os herbicidas diuron e metribuzin são sorvidos fracamente pela palha, sendo totalmente dessorvidos pelos três processos de dessorção. O tempo de sete dias não é suficiente para que diuron e metribuzin fiquem sorvidos à palha sem que haja reversibilidade do processo.
- A eficácia dos herbicidas no controle de plantas daninhas depende das características inerentes de cada um, sendo que o diuron é menos eficaz nos tratamentos com palha em comparação ao metribuzin e tebuthiuron.
- A palha afeta de maneira significativa o controle de plantas daninhas pelos herbicidas na ausência de chuva, sendo que uma chuva de 20 mm é suficiente para promover lixiviação de todos os herbicidas para o solo, e promover excelentes níveis de controle das plantas daninhas.