

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

**POTENCIAL DE LIXIVIAÇÃO DE HERBICIDAS UTILIZADOS
NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM UM SOLO DE
TEXTURA MÉDIA**

**Ana Paula Da Silva
Engenheira Agrônoma**

2017

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

**POTENCIAL DE LIXIVIAÇÃO DE HERBICIDAS UTILIZADOS
NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM UM SOLO DE
TEXTURA MÉDIA**

Ana Paula Da Silva

Orientador: Prof. Dr. Dagoberto Martins

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinária – Unesp,
Câmpus de Jaboticabal, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Produção Vegetal)**

2017

Silva, Ana Paula da
S586p Potencial de lixiviação de herbicidas utilizados na cultura da cana-
de-açúcar em um solo de textura média / Ana Paula da Silva. --
Jaboticabal, 2017
vi, 73 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade
de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017

Orientador: Dagoberto Martins

Banca examinadora: Robinson Luiz de Campos Machado Pitelli,
Eduardo Custodio Gasparino

Bibliografia

1. Cana-de-açúcar. 2. Herbicidas. 3. Textura do solo. I. Título. II.
Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.61:632.954

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: POTENCIAL DE LIXIVIAÇÃO DE HERBICIDAS UTILIZADOS NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM UM SOLO DE TEXTURA MÉDIA

AUTORA: ANA PAULA DA SILVA

ORIENTADOR: DAGOBERTO MARTINS

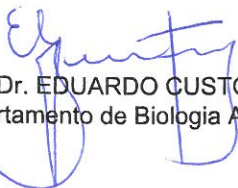
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. DAGOBERTO MARTINS
Departamento de Produção Vegetal / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. ROBINSON LUIZ DE CAMPOS MACHADO PITELLI
ECOSAFE / Jaboticabal/SP



Prof. Dr. EDUARDO CUSTODIO GASPARINO
Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 06 de outubro de 2017

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ANA PAULA DA SILVA – nascida em 27 de fevereiro de 1985, na cidade de Cruzeiro do Oeste, no estado do Paraná, graduou-se em Engenharia Agrônoma pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”– Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Câmpus de Jaboticabal, em 2011. Durante a graduação, estagiou no Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária – Laboratório de Plantas Daninhas – LAPDA. Em 2015, ingressou no curso de Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal, na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - câmpus de Jaboticabal. Atua no mercado de trabalho como engenheira agrônoma com a função de desenvolvimento de pesquisa e mercado.

DEDICATÓRIA

A minha querida mãe Niuza Mariano de Alencar,
por ser exemplo para minha vida de caráter, força,
determinação, pelo amor incondicional e apoio
dados em todos momentos de minha vida.

Ao meu marido Rodolfo F. M. Bonilha pela paciência,
compreensão, amor, amizade e acima de tudo pelo
companheirismo em todos os momentos.

E a todos que de alguma forma fizeram parte desse
trabalho e me auxiliaram para a conclusão de mais
essa fase de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela vida, por iluminar e guiar meus caminhos sempre.

A minha mãe Niuza Mariano de Alencar por acreditar no meu potencial e me dar apoio e força para enfrentar qualquer obstáculo em minha vida, nunca poderei retribuir tamanha dedicação e carinho.

Ao meu padrasto Alvaro Masson que é um verdadeiro pai para mim, obrigada pelo carinho e amor que tem me dado, e em especial pela participação fundamental na construção desse trabalho, obrigada pela dedicação e empenho em me auxiliar.

Ao meu amado marido Rodolfo F. M. Bonilha pelo carinho, dedicação, amor e auxílio. Pelos conselhos e paciência em todas as horas que mais precisei.

A minha prima Ana Mikaely Mariano pela força e apoio nos momentos que mais precisei.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Dagoberto Martins, pelo apoio à realização desse trabalho. Agradeço pela paciência, confiança, compreensão e oportunidade de aprender com a sua sabedoria.

A minha querida amiga Fabieli Feitosa por sempre me socorrer nos processos e prazos da Pós-Graduação.

À Universidade Estadual Paulista, câmpus de Jaboticabal, e em especial ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal.

Aos membros da banca examinadora no Exame de Qualificação e na Defesa da dissertação, Prof. Dr. Dagoberto Martins, Dr^a Mariluce P.Nepomuceno, Dr. Marcos Antonio Kuva , Prof. Dr. Silvano Bianco, Dr. Robinson Luiz de Campos Machado Pitelli e Prof. Dr. Eduardo Custódio Gasparino.

À Ouro Fino pela oportunidade e apoio na realização do curso de Mestrado.

Aos funcionários da estação experimental da Ourofino pelo inestimável apoio prestado durante todo desenvolvimento do trabalho.

E a todos amigos, que fazem parte de minha vida e esses saberão quem são quando aqui lerem.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	iii
ABSTRACT	v
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	x
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	04
2.1 S-metolachlor	10
2.2 metribuzin	11
2.3 sulfentrazone	13
2.4 tebuthiuron	14
3.0. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1. Local	16
3.2. Condução do Estudo na primeira e segunda etapa.....	17
3.3. Semeadura das Plantas Bioindicadoras nas colunas de PVC	20
3.4. Pulverização nas etapas em campo e acompanhamento pluviométrico.....	22
3.5. Aplicação dos Herbicidas	24
3.6. Parâmetros Avaliados	25
3.7 Delineamento Experimental	25
4.0. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1. S-metolachlor	26
4.2. metribuzin	37

4.3. sulfentrazone	44
4.4. tebuthiuron	53
5.0. CONCLUSÕES	62
6.0. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	64
7.0. REFERÊNCIAS	66

POTENCIAL DE LIXIVIAÇÃO DE HERBICIDAS UTILIZADOS NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM UM SOLO DE TEXTURA MÉDIA

RESUMO - Geralmente os estudos de lixiviação em cana de açúcar são realizados utilizando-se métodos de bioensaios com condição edafoclimática específica, além de utilizarem amostras de solo deformadas. Estudar o processo de lixiviação em condições reais de campo, mantendo-se a integridade da estrutura do solo e sob condições edafoclimáticas naturais, vem a ser a forma mais confiável de analisar o comportamento dos herbicidas no solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de lixiviação dos herbicidas S-metolachlor, metribuzin, sulfentrazone e tebuthiuron em precipitações pluviométricas naturais, em um solo de textura média (Latosolo Vermelho Distrófico), em condições de campo através de plantas bioindicadoras. As amostras foram coletadas em colunas de PVC com 30 cm de altura e 15 cm de diâmetro, introduzidas no solo de forma que se preservou a estrutura natural do solo. As colunas foram retiradas cuidadosamente escavando ao seu redor, mantendo a integridade original do solo durante a coleta das amostras que ocorreu após a aplicação dos herbicidas nas doses recomendadas no solo e posterior acúmulo das precipitações estipulada ao ambiente (50, 91 e 131 mm de chuva). As colunas foram separadas com corte longitudinal para a semeadura das espécies bioindicadoras (*Brachiaria plantaginea*, *Cucumis sativus*, *Lactuca sativa* e *Sorghum bicolor*), de maneira que pudessem emergir um número uniforme de plantas em cada metade das colunas. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizados com quatro repetições, dispostos em um esquema fatorial 3 x 8. Os fatores referem-se aos três índices de precipitação acumulada (50, 91 e 131mm) e as 8 camadas de profundidade analisadas no perfil do solo (0-3, 3-6, 6-9, 9-12, 12-15, 15-20, 20-25, 25-30 cm). Após a semeadura, para as avaliações das plantas bioindicadoras nas colunas adotou-se a escala de notas de '0' a '100'% de fitotoxicidade, aos 5, 7, 9 e 11 dias após a semeadura (DAS). As respostas das espécies bioindicadora ao residual de cada herbicida utilizado foi variável, mostrando-se dependente da precipitação pluvial e do tipo de herbicida utilizado. A lixiviação do S-metolachlor no solo estudado foi dependente da quantidade de precipitação recebida e a máxima profundidade visual detectada foi de 12- 15cm,

sendo o pepino a espécie mais sensível a presença do herbicida no solo. A lixiviação do metribuzin também foi dependente da quantidade de precipitação recebida para as plantas bioindicadoras pepino, alface e capim-marmelada, sendo os sintomas visualizados até a camada 9-12cm do perfil do solo. A lixiviação do sulfentrazone mostrou-se dependente da quantidade de precipitação recebida, sendo os sintomas de intoxicação nas plantas de pepino e capim-marmelada visualizados até a camada de 9-12 cm no perfil do solo. A lixiviação do tebuthiuron foi dependente da quantidade de precipitação recebida; dentre as plantas bioindicadoras utilizadas, apenas o sorgo não seria indicada para visualização dos sintomas de intoxicação causados pelo herbicida no perfil do solo neste estudo.

Palavras-chave: cana-de-açúcar, herbicidas, textura do solo, mobilidade, lâminas de água.

POTENTIAL OF LEACHING OF HERBICIDE USED IN SUGAR CANE IN SOIL

ABSTRACT - Usually leaching of studies in sugarcane are performed using methods bioensaio at specific climate and soil condition , besides using deformed soil samples. Studying the leaching process under real field conditions, maintaining the integrity of the soil structure specific climate and soil condition, is the most reliable way to analyze the behavior of herbicides in the soil. The objective of this study is to evaluate the leaching potential of herbicides S-metolachlor, metribuzin, sulfentrazone and tebuthiuron on natural rainfall, in a medium textured soil (Latosolo Vermelho Distrófico) under conditions field using bioindicator plants. Samples were collected in PVC columns with 30 cm high and 15 cm in diameter, introduced in soil so that the natural structure of the soil was preserved. The columns were removed carefully mind digging around, keeping the original integrity of the soil during collection of samples that occurred after application of herbicide at recommended doses for soil and subsequent accumulation of precipitation stipulated to the environment (50, 91 e 131 mm of rain). The columns were separated by a longitudinal section for the sowing of bioindicator species (*Brachiaria plantaginea*, *sativu Cucumis*, *Lactuca sativa* and *Sorghum bicolor*), So that a uniform number of plants could emerge in each half of the columns. The experimental design was entirely randomized with four replications in a factorial 3 x 8. The factors relate to the three indices of rainfall (50, 91 e 131) and eight layers analyzed in depth profile of soil (0-3, 3-6, 6-9, 9-12, 12-15, 15-20, 20-25, 25-30 cm). After sowing, for the evaluation of bioindicator plants in the columns adopted the scale from 0 to 100% phytotoxicity, at 5, 7, 9 and 11 days after sowing (DAS). The response of bioindicator's species for each residual herbicide used was variable, showing that this is dependent on rainfall and the type of herbicide used. Leaching of S-metolachlor at studied soil was dependent on the amount of rainfall received and the maximum visual depth detected was 12-15cm, being the cucumber the most sensitive species the presence of the herbicide in the soil. The leaching of metribuzin was also dependente on the amount of precipitation received for bioindicator plants, cucumber, lettuce and grass. Being that the symptoms of the herbicide were visualized until the layer 9-12 cm of soil profile. The

leaching of sulfentrazone was dependent on the amount of precipitation received, being the symptoms of intoxication in the cucumber and grass plants observed until the 9-12cm of soil profile. Tebuthiuron leaching was dependent on the amount of precipitation received; Into the group of the bioindicator plants used, only sorghum would not be indicated for the visualization of the intoxication symptoms caused by the herbicide in the soil profile in this study.

Keywords: sugar cane, herbicides, soil texture, mobility, water depths.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados da análise química de amostras coletadas em diferentes profundidades do solo que recebeu aplicação dos herbicidas. Guatapar/SP, 2015.....	17
Tabela 2. Resultados da análise granulométrica do solo coletado em diferentes profundidades que recebeu aplicao dos herbicidas. Guatapar/SP, 2015.....	17
Tabela 3. Descrio dos tratamentos experimentais. Guatapar/SP, 2016.....	24
Tabela 4. Porcentagem de intoxicao em plantas de pepino após a aplicao do herbicida S-metolachlor (1.440 g i.a. ha ⁻¹) em diferentes épocas de avaliao, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interao entre precipitao e profundidade. Guatapar/SP, 2016.....	28
Tabela 5. Porcentagem de intoxicao em plantas de alface após a aplicao do herbicida S-metolachlor (1.440 g i.a. ha ⁻¹) em diferentes épocas de avaliao, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interao entre precipitao e profundidade. Guatapar/SP, 2016.....	31
Tabela 6. Porcentagem de intoxicao em plantas de capim-marmelada após a aplicao do herbicida S-metolachlor (1.440 g i.a. ha ⁻¹) em diferentes épocas de avaliao, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interao entre precipitao e profundidade. Guatapar/SP, 2016.....	33
Tabela 7. Porcentagem de intoxicao em plantas de sorgo após a aplicao do herbicida S-metolachlor (1.440 g i.a. ha ⁻¹) em diferentes épocas de avaliao, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis principais (precipitao e profundidade). Guatapar/SP, 2016.....	35
Tabela 8. Porcentagem de intoxicao em plantas de pepino após a aplicao do herbicida metribuzim (1.440 g i.a. ha ⁻¹) em diferentes épocas de avaliao, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interao entre precipitao e profundidade. Guatapar/SP, 2016.....	38

Tabela 9. Porcentagem de intoxicação em plantas de alface após a aplicação do herbicida metribuzim (1.440 g i.a. ha ⁻¹) em diferentes épocas de avaliação, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interação entre precipitação e profundidade. Guatapar/SP, 2016.....	41
Tabela 10. Porcentagem de intoxicação em plantas de capim-marmelada após a aplicação do herbicida metribuzim (1.440 g i.a. ha ⁻¹) em diferentes épocas de avaliação, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interação entre precipitação e profundidade. Guatapar/SP, 2016.....	43
Tabela 11. Porcentagem de intoxicação em plantas de pepino após a aplicação do herbicida sulfentrazone (600 g i.a. ha ⁻¹) em diferentes épocas de avaliação, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interação entre precipitação e profundidade. Guatapar/SP, 2016.....	45
Tabela 12. Porcentagem de intoxicação em plantas de alface após a aplicação do herbicida sulfentrazone (600 g i.a. ha ⁻¹) em diferentes épocas de avaliação, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interação entre precipitação e profundidade. Guatapar/SP, 2016.....	48
Tabela 13. Porcentagem de intoxicação em plantas de Capim marmelada após  aplicação do herbicida sulfentrazone (600 g i.a. ha ⁻¹) em diferentes épocas de avaliação, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interação entre precipitação e profundidade. Guatapar/SP, 2016.....	50
Tabela 14. Porcentagem de intoxicação em plantas de sorgo após a aplicação do herbicida sulfentrazone (600 g i.a. ha ⁻¹) em diferentes épocas de avaliação, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interação entre precipitação e profundidade. Guatapar/SP, 2016.....	51
Tabela 15. Porcentagem de intoxicação em plantas de pepino após a aplicação do herbicida tebuthiuron (1.000 g i.a. ha ⁻¹) em diferentes épocas de avaliação, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interação entre precipitação e profundidade. Guatapar/SP, 2016.....	54

- Tabela 16. Porcentagem de intoxicação em plantas de alface após a aplicação do herbicida tebuthiuron (1.000 g i.a. ha⁻¹) em diferentes épocas de avaliação, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interação entre precipitação e profundidade. Guatapar/SP, 2016.....56
- Tabela 17. Porcentagem de intoxicação em plantas de Capim-marmelada após a aplicação do herbicida tebuthiuron (1.000 g i.a. ha⁻¹) em diferentes épocas de avaliação, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interação entre precipitação e profundidade. Guatapar/SP, 2016.....58
- Tabela 18. Porcentagem de intoxicação em plantas de sorgo após a aplicação do herbicida tebuthiuron (1.000 g i.a. ha⁻¹) em diferentes épocas de avaliação, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variveis principais (precipitação e profundidade). Guatapar/SP, 2016.....59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Visão geral de experimento. Guatapar/SP, 2016.....	16
Figura 2. A: Detalhe da colocao das colunas de PVC no solo, B: Visão da superfície da coluna de PVC no solo.....	19
Figura 3. Retirada das amostra de solo. A: Coleta B: Transporte. Guatapar/SP, 2016.....	19
Figura 4. Divisão longitudinal das colunas. A: Corte do PVC. B: Separao das colunas. Guatapar/SP, 2016.....	21
Figura 5. A: Divisão longitudinal das colunas – parte interna, B: Plantio das plantas bioindicadoras. Guatapar/SP, 2016.....	21
Figura 6. Precipitao ocorrida durante a conduo da primeira etapa do experimento em solo de textura média. Guatapar/SP, 2016.....	23
Figura 7. Precipitao ocorrida durante a conduo da segunda etapa do experimento em solo de textura média. Guatapar/SP, 2016.....	23
Figura 8. Detalhe da aplicao dos herbicidas. Guatapar/SP, 2016.....	24

1. INTRODUÇÃO

A interferência de plantas daninhas que infestam as áreas de cultivo, é um dos pontos mais críticos no processo produtivo da cana-de-açúcar. Essas plantas podem competir por recursos essenciais para o desenvolvimento da cultura, como água, luz e nutrientes (Pitelli,1985). A cultura da cana-de-açúcar possui uma brotação e crescimento inicial relativamente lentos, o que favorece a proliferação de plantas daninhas, sendo assim, é essencial manter a cultura livre de plantas invasoras até o fechamento das entrelinhas, que varia entre 60 e 90 dias após o início da brotação (Procópio et al., 2003).

Nesse cenário os herbicidas aplicados em pré-emergência e/ou pós-emergência inicial são, na atualidade, ferramentas muito importantes por apresentarem uma alta eficiência de controle e por apresentarem relativamente um baixo custo (Silva et al., 2005).

Dentro deste contexto a interferência gerada pela competição da cultura com a presença de plantas daninhas destaca-se como de grande importância. Kuva et al., (2003) afirma que a interferência proporcionada pelas plantas daninhas acarreta redução significativa no rendimento da cultura, além de proporcionar outros aspectos negativos, como decréscimo de longevidade do canavial, redução da qualidade

industrial da matéria-prima e dificuldades nas operações de colheita mecanizada e transporte. Diante dessa interferência é evidente a necessidade de um controle eficiente da comunidade infestante da cultura.

Atualmente no mercado de defensivos agrícolas existe uma grande gama de produtos registrados para o controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar, podendo ser utilizados em pré-emergência e em pós-emergência, sendo o método químico o mais empregado para o controle dessas plantas (Kuva et al., 2000; Rossi, 2004; Kuva et al., 2008; Christofolletti, 2011).

A dinâmica de um herbicidas no ambiente e o seu efeito residual na cultura são determinados pelas propriedades físico-químicas de cada ingrediente ativo do produto (adsorção aos colóides do solo, solubilidade, volatilização, degradação), condições climáticas no momento da aplicação e no decorrer dos dias após a aplicação (precipitação, temperatura e luminosidade) e fatores edáficos (disponibilidade de água no solo, granulometria e teor de matéria orgânica) (Christofolletti et al., 2005).

O uso de herbicidas aplicados em pré-emergência tem sido muito utilizado na cultura, já que permite reduzir a competição das plantas daninhas, principalmente no início do desenvolvimento da cana-de-açúcar (Kuva et al., 2000).

Passo et al., (2011) demonstraram, através de estudos, a necessidade de aprimorarem-se os critérios de uso de herbicidas aplicados em pré-emergência em razão do potencial de lixiviação no solo e, especificamente na cultura da cana-de-açúcar, no qual tem-se diferentes sistemas de plantio e manejo, como por exemplo: cana planta-de-ano, cana planta-de-ano e meio, soqueira de época umidade, seca e semi-seca.

A maioria dos herbicidas utilizados na sistema agrícola tem o solo como destino final, sendo a relação entre solo e os herbicidas dinâmica, podendo estes permanecerem na solução ou serem lixiviados no perfil do solo. De acordo com Oliveira (2001), para ser lixiviado o herbicida deve estar na solução do solo ou adsorvido a pequenas partículas, como argila, ácidos fúlvicos e húmicos de baixo peso molecular, aminoácidos, peptídeos e açúcares, entre outros.

O processo de lixiviação é a principal forma de movimentação de moléculas não voláteis e solúveis em água, sendo um processo fundamental de incorporação da maioria dos herbicidas, atingindo sementes ou plantas em germinação; mas quando excessiva, pode carregá-los para camadas mais profundas do solo, podendo diminuir sua ação, além de promover a contaminação do lençol freático (Velini, 1992). Ressalta-se que no sistema de plantio direto este processo é fundamental para que a molécula do herbicida possa atravessar a palhada, controlando assim as espécies de plantas daninhas que podem germinar abaixo dessa cobertura. Contudo quando este processo ocorre em excesso, o herbicida pode ser arrastado para camadas mais profundas do solo, ocasionando falhas no controle das plantas daninhas, fitointoxicação à cultura de interesse e possível contaminação do lençol freático (Roman et.al.,2007).

Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de lixiviação do S-metalachlor, metribuzim, sulfentrazone e tebuthiuron, sob diferentes precipitações naturais em um solo de textura média, através do uso de plantas bioindicadoras (pepino, alface, capim-marmelada e sorgo)

2. REVISÃO DE LITERATURA

A presença de plantas daninhas é um dos principais fatores bióticos presentes no sistema de produção da cana-de-açúcar que têm a capacidade de interferir no desenvolvimento e produtividade da cultura (Kuva et al., 2003). A interferência negativa resultante da presença das plantas daninhas nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar pode causar reduções na quantidade e qualidade do produto colhido, podendo ter perdas por competitividade de cerca de 20 a 30 % e elevar o custo da produção em cerca de 30 % em cana soca e de 15 a 20% em cana planta (Lorenzi, 1988 e 1995).

O principal método de controle das plantas daninhas em cana-de-açúcar é o químico, em razão de haver um grande número de produtos registrados para a cultura, além disso, o custo econômico desse método torna-se vantajoso favorece quando comparado aos demais. Em consequência, a cultura da cana-de-açúcar tradicionalmente plantada em grandes áreas assimilou muito rápido esta tecnologia, sendo uma das culturas que mais utilizam herbicidas no Brasil (Procópio et al., 2004).

Por ser a cultura da cana-de-açúcar semi-perene, o seu cultivo é dividido em cana-planta (cana-planta ano, cana planta de ano-meio) e cana-soca, sendo que o manejo químico também deve ser adequado a cada tipo de cultivo da cultura e época de aplicação do produto (úmida, semi-úmida, seca, semi-seca). Assim, para obter-se sucesso no manejo químico das plantas daninhas, fatores como características físico-químicas e dose do herbicida, espécie a ser controlada, estágio de desenvolvimento e a biologia da planta daninha, estágio de desenvolvimento da cultura, técnicas de aplicação, condições ambientais no momento e após a aplicação dos herbicidas, além das características físico-químicas do solo para os herbicidas aplicados em pré-emergência devem sempre ser observados (Christoffoleti et al., 2005).

O conhecimento das propriedades físico-químicas dos herbicidas disponíveis no mercado é de fundamental importância no estudo de sua mobilidade no solo. Dentre estas propriedades destacam-se a: solubilidade em água (S), pressão de vapor (P), coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}), constante de equilíbrio de ionização ácido (pK_a) ou base (pK_b) e a meia-vida ($t_{1/2}$) do produto. Estas propriedades interagem com as condições climáticas e edáficas e irão determinar a disponibilidade do herbicida na solução do solo, sendo de fundamental importância o estudo dessa interação (Christoffoleti e Ovejero, 2005).

A solubilidade de um herbicida em água indica a quantidade máxima de uma molécula que se dissolve em água pura a uma determinada temperatura. Quanto maior a quantidade de grupos hidrofílicos que a substância possuir (mais polar), maior será sua afinidade com a água, logo, maior será a sua solubilidade (Oliveira e Brighenti, 2011). A pressão de vapor trata-se de uma medida de tendência no seu estado normal puro (sólido ou líquido). A pressão de vapor é uma função direta da temperatura e não indica em qual taxa o herbicida se volatilizará. A pressão de vapor de um herbicida é importante para avaliar sua distribuição ou transferência no ambiente, sendo a principal propriedade do herbicida a ser usada no cálculo da sua volatilização. A temperatura, velocidade do vento, condições do solo, características de adsorção e a solubilidade de uma molécula irão afetar a taxa de volatilização.

O coeficiente de partição octanol-água é a medida que refere-se a afinidade da molécula pela fase polar (representada pela água) e pela fase apolar (representada pelo 1-octanol). É uma medida da lipofilicidade da molécula. Quanto maior o K_{ow} , maior a adsorção e maior a persistência do herbicida no solo.

A constante de equilíbrio de ionização do ácido ou base relaciona-se com a possibilidade de ionização das moléculas em soluções com diferentes valores de pH. As formas ionizadas de herbicidas se comportam diferentemente das não-ionizadas (neutras). Conforme a constante de equilíbrio de ionização, os herbicidas podem ser classificados em: herbicidas ácidos: são aqueles cujas formas moleculares (neutras) são capazes de doar um próton e formar íons carregados negativamente. Quanto maior for o valor de pK_a do herbicida, mais fraca é a sua força ácida; logo, menor a chance do herbicida ficar aniônico, tendo mais chances de ser transportado livremente através da solução do solo, a não ser que ele forme reações de complexação. Já os herbicidas básicos são aqueles que cujas formas neutras são capazes de receber prótons e formar íons carregados positivamente. Quanto mais maior for o valor de pK_b do herbicida (ou menor o valor de pK_a) mais fraca é a sua força básica, ou seja menor a possibilidade do herbicida ficar catiônico (Oliveira e Brighenti, 2011).

A meia-vida de um herbicida refere-se ao tempo necessário para que ocorra a dissipação de 50 % da quantidade inicial do herbicida aplicado. Essa medida pode variar de acordo com o tipo de solo e clima, sendo fundamental para condicionar o risco de contaminação de lençóis freáticos (Gustafson, 1989; Procópio et al., 2002; Silva et al. 2007).

A mobilidade de um herbicida no solo depende de uma série de fatores ligados ao solo, ao ambiente e a características da própria molécula do herbicida utilizado (Cruciani et al., 1996). Ao se aplicar um herbicida no solo parte é adsorvida aos colóides do solo, parte é perdida por volatilização, decomposição química, degradação biológica ou lixiviação, ficando o restante na solução do solo para ser absorvido pelas plantas. Essa atividade dos herbicidas tem alta dependência do tipo de solo já que estes são compostos de fases: sólida que é constituída por componentes orgânicos e inorgânicos e da fase líquida que é constituída por mistura de água, sais mineiras e

vários tipos de moléculas orgânicas, substâncias húmicas e moléculas dos herbicidas (Santana,2012). A interação dessas fases influenciam a movimentação de um herbicida no perfil do solo, que pode ocorrer em diversas direções e é dependente da direção do fluxo de água (Javaroni et al., 1999).

Quando se trata da aplicação de herbicidas no solo, informações como a dose aplicada, a solubilidade em água e as características químicas do produto que condicionam a adsorvidade da molécula às partículas coloidais do solo determinam a maior ou menor mobilidade do produto no perfil do solo (Cruciani et. al., 1996). O ambiente condiciona a movimentação do herbicida no solo através da temperatura e, principalmente, da quantidade, intensidade e frequência das chuvas tem uma grande influência no transporte e na perda dos herbicidas por meio de escoamento superficial e da percolação da água no solo (Silva, 2013). No solo é importante destacar a drenagem, a textura e o teor de matéria orgânica (capacidade adsorvida); assim, quanto maior a capacidade de adsorção de um solo, menor é a mobilidade do herbicida neste (Cruciani et. al., 1996)

Em estudos conduzidos por Dutra da Silva et al., (2003) realizaram-se análises em água superficiais de 15 pontos distribuídos aleatoriamente entre a nascente e a foz de uma micro bacia em Pelotas/ RS, os pesquisadores detectaram que mesmo após 30 dias da aplicação do herbicida glyphosate foi possível encontrar resíduos do herbicida em metade dos pontos analisados e mesmo aos 60 dias após a aplicação ainda foi possível observar a presença do herbicida.

O movimento descendente dos herbicidas no solo ou com a água do solo é chamado de lixiviação ou percolação. Para ser lixiviado, o herbicida deve estar na solução do solo, livre ou adsorvido a partículas como argilas, ácidos fúlvicos e húmicos de baixo peso molecular, aminoácidos, peptídeos e açúcares, entre outros (Oliveira et.al., 2011).

O processo de lixiviação é influenciado pelas características físico-químicas do solo, tais como: o teor de matéria orgânica, composição, tamanho e distribuição das partículas do solo, pH e densidade do solo, tamanho e distribuição dos poros, sendo

esta a principal forma de transporte no solo das moléculas não-voláteis e solúveis em água (Prata et al., 2003).

A lixiviação é fundamental para a incorporação superficial da maioria dos herbicidas, atingindo sementes ou plantas em germinação, mas quando excessiva, pode carregá-los para camadas mais profundas do solo, limitando sua ação e podendo, inclusive, promover a contaminação do lençol freático (Velini, 1992).

Quando se trata da movimentação dos herbicidas no solo, uma pequena lixiviação é desejável, pois pode favorecer a eficiência do herbicida, movendo-o da superfície do solo para onde estão concentradas as sementes das plantas daninhas, uma vez que em geral, a maioria das sementes das espécies de daninhas com potencial de germinação estão concentradas nos 5 cm superficiais do solo (Oliveira et.al., 2011).

Através da difusão do ar nos espaços do solo (poros), difusão na água do solo, fluxo descendente da água do solo ou pelo movimento ascendente da água no solo que os herbicidas são transportados para dentro do solo (Santana, 2012). No processo de lixiviação, o tempo que um herbicida demora para ser adsorvido pelas partículas de argila/ou matéria orgânica presentes no solo são fundamentais para avaliar o potencial de lixiviação de uma determinada molécula de herbicida (Ohmes e Mueller, 2007). A quantidade total de água de chuva ou de irrigação recebida, assim como a intensidade e frequência de toda essa água influenciam diretamente o movimento dos produtos químicos no solo (Guimarães, 1987).

A sorção é um processo interfacial e refere-se à adesão ou atração de uma ou mais camadas iônicas ou moleculares para uma superfície. No solo, a adsorção ou sorção, conforme denominado por Koskinen & Harper (1990), caracteriza-se por um fenômeno temporário no qual um ou mais substância em solução se fixam a uma superfície sólida ou líquida. Essa interação entre herbicida e o solo ocorre através da ação das forças da superfície coloidal do adsorvente (solo) e do adsorvato (herbicida); o sentido e a intensidade dessas forças resultam no aumento ou na diminuição da concentração do herbicida na solução do solo. (Silva et. al., 2015).

O mecanismo de sorção de herbicidas é muito complexo, pois refere-se a interação entre forças físicas como pontes de hidrogênio, forças eletrostáticas, ligações covalentes e interações hidrofóbicas são os principais mecanismos que podem contribuir com a sorção dos herbicidas (Prata et.al., 2000).

A persistência de um herbicida no solo pode ser definida como a habilidade que um composto tem em preservar suas características físico-químicas, mesmo quando é transportado e distribuído no ambiente (Guimarães, 1987). O residual longo de um herbicida pode ser desejável, quando tem-se a necessidade de uma eficácia prolongada no produto no controle de plantas daninhas por um período maior, mas por outro lado pode ser um fator limitante para as culturas em sucessão e aumentar o riscos de contaminação ambiental (Ferri e Vidal, 2002) .

A persistência dos herbicidas no solo é influenciada por diversos processos destacando-se a sorção e a lixiviação, a degradação e/ou transformação biológica. A interação entre esses processos regulam a concentração, o fluxo e o período de permanência dessas moléculas no solo (Oliveira e Regitano, 2009). Portanto, as características físico química de cada molécula de herbicida assim como sua interação no solo onde serão utilizados influenciam no residual dos defensivos agrícolas no ambiente.

A lixiviação de herbicidas no solo sofre forte influência da quantidade e da época de ocorrência de chuvas após a aplicação, como foi constatado por Banks e Robinson (1982) .

No estudo da movimentação das moléculas de herbicidas no solo, muito pesquisadores tem realizados bioensaios, rápido e de baixo custo, no qual utilizam um simulador de chuvas em funcionamento constante, excluindo do ensaio a precipitação variável que se tem no ambiente não controlável. Esta técnica utiliza plantas sensíveis aos produtos testados, de forma que o residual dos herbicidas analisados causem sintomas de intoxicação nas plantas-teste utilizadas (Pasqualetto et. al., 1999). Uma alternativa a esses experimentos é a utilização de colunas de solo (Caetano et al., 1995; Pires et al., 1997; Souza et al., 2000; Inoue et al., 2002) preservando as características físicas do solo, com simulação da precipitação ou acúmulo da chuva nas

condições ambientais normais, realizando a semeadura de espécies vegetais sensíveis ao herbicida de interesse, denominada de plantas bioindicadora (Santana,2012).

2.1. S-metolachlor

O S-metolachlor cujo nome químico é "(S)-2-cloro-N-(2-etil-6-metil-fenil)-N-(2-metóxi-1-metil-etil)", como o nome comercial DualGold, pertence ao grupo químicos das acetanilidas, sendo comercializado na concentração de 960g/L de ingrediente ativo em uma formulação de concentrado emulsionável, sendo registrado para as culturas de algodão, cana-de-açúcar, feijão, milho e soja (Agrofit, 2017). Atua nas plantas suscetíveis inibindo o processo de divisão celular, paralisando o desenvolvimento das plantas daninhas, levando a morte antes ou logo após a sua emergência (Hertwig, 1983).

A absorção foliar desse herbicida é quase nula, sendo sua recomendação e uso em condições de pré-emergência das plantas daninhas, sendo sua absorção realizada através do coleótilo, no caso das gramíneas e hipocótilo nas dicotiledôneas, suas principais vias de absorção (Farinelli et al.,2005). Dessa forma a aplicação desse herbicida deve ser realizada antes das sementes das plantas daninhas alcançarem um estado avançado de germinação (Rodrigues et al.,1995).

É um composto moderadamente solúvel em água (530 mg L⁻¹), com baixo Koc (200 mL g⁻¹) e uma constante de dissociação (pKa) igual a 0,0 (Worthing, 1983). Possui uma pressão de vapor baixa (1,3 x 10⁻⁵ mm Hg a 20°C), e conseqüentemente não deve ser encontrado no ar, porém com potencial para contaminar águas subterrâneas o S-metolachlor é considerado como moderadamente persistente no solo e na água.

Existe uma grande variabilidade nos estudos de permanência do S-metolachlor no solo, como os trabalhos realizados por O Connell et al. (1998) que mostraram que a meia-vida da molécula pode variar entre 6 e 100 dias, dependendo das condições em que as pesquisas foram realizadas. Em condições de campo, essa meia-vida variou entre 8 e 85 dias, de acordo com dados encontrados por Burgard et al., (1993). Rivard

(2003), demonstrou que a molécula apresenta dissipação a campo com meia-vida média de 114 dias e uma meia-vida de hidrólise de mais 200 dias.

A redução nas perdas de lixiviação do S-metolachlor através do aumento do teor da matéria orgânica no solo tem se mostrado eficiente (Singh, 2003). De acordo com Extoxnet (2000) em solos orgânicos o S-metolachlor tem menor movimentação, quando o teor de matéria orgânica aproxima-se de 2,0% . Além disso, a lixiviação deste herbicida pode ser inibida em solos com alto teor de argila ou silte isto porquê o S-metolachlor tem uma certa mobilidade em solo de textura leve (Rivard, 2003).

Sabe-se que a lixiviação do S-metolachlor depende de fatores como a ocorrência e intensidade da precipitação pluvial ou da irrigação, temperatura ambiente e do solo, teor de ácido húmico, argila e matéria orgânica do solo (Patakiutos et.al.,2002) . No entanto modelos matemáticos demonstraram que o S-metolachlor tem potencial de lixiviação. Nas condições de campo, a pesquisa demonstrou diferentes níveis de lixiviação para esse herbicida . No solo com 5,7 % de matéria orgânica, 90 % do S-metolachlor aplicado é concentrado nos primeiros 10 cm do solo, em contraste, mais de 45 % do produto são encontrados a mais de 30 cm abaixo da superfície em solos com 0,9 % de matéria orgânica (Inoue, 2003).

Em um estudo sobre a relação de mobilidade do S-metolachlor com a precipitação, Southwick et al.,(2009) constatou que, durante estações de chuvas abaixo do normal quando comparadas com a precipitação média de chuvas em períodos normais, foi observado uma redução de 79 % do escoamento superficial total e fluxo de lixiviados no solo, e também uma redução de 93 % no movimento do S-metolachlor correspondente através destas rota (escoamento superficial e lixiviação).

De acordo com Rice et al., (2004) o S-metolachlor pode ser relativamente solúvel em água e moderadamente adsorvido para o solo, podendo ser transportado para as águas de superfície e subterrâneas na fase dissolvida, demonstrando assim a importância no estudo do destino dos defensivos agrícolas nas águas, bem como a necessidade de compreender melhor a presença e disponibilidade de resíduos de contaminantes agrícolas em sistemas aquáticos.

2.2. metribuzin

O metribuzin, de nome químico “ 4- amino- 6-tert- butyl- 4,5-dihydro- 3-methylthio-1,2,4- triazin-5- one”, como o nome comercial CoronelBR, é utilizado para o controle de plantas daninhas mono e dicotiledôneas em cana-de-açúcar, batata, mandioca, soja e tomate. É comercializado na formulação suspensão concentrada com a concentração de 480 g/L de ingrediente ativo. Pertencente ao grupo químico das triazinonas, sendo absorvido pelas plantas através da via radicular e foliar com recomendação de uso em pré e pós-emergência inicial em cana planta e soca. O mecanismo de ação é a inibição do fotossistema II, onde o principal sintoma de fitointoxicação nas plantas suscetíveis, após a emergência no solo, é a clorose e necrose (Rodrigues e Almeida, 2005).

O ingrediente ativo metribuzin apresenta uma alta solubilidade em água (1100 mg L^{-1}); Kow equivalente a 44,7 ; é moderadamente adsorvido na maioria dos solos e com alta afinidade à matéria orgânica do solo. O seu Koc médio é de 60 mL g^{-1} e a constante de dissociação (pka) é 1,0. A pressão de vapor é muito baixa ($1,2 \times 10^{-7} \text{ mm Hg}$ a 20°) e sua meia-vida é de 1 a 2 meses, dependendo da textura do solo e das condições climáticas (Rodrigues e Almeida, 2005).

A mobilidade do metribuzin é influenciada por variáveis do local específico, incluindo a quantidade de matéria orgânica do solo, distribuição de tamanho de partículas, porosidade, intensidade de chuvas e as taxas de aplicação (Extoxnet, 1996). Em estudos realizados por Dias (2012) demonstrou-se que quanto maior o teor de matéria orgânica e maior o teor de argila de um solo menor será a mobilidade do herbicida metribuzin. Os dados encontrados nesse estudo corroboram onde Savage (1976) e Peter e Weber (1985) em que a mobilidade do metribuzin foi diretamente influenciada pelo teor de argila, areia e matéria orgânica presente no solos analisados.

Rosenbom et al.,(2009) sugeriram que a longo prazo a lixiviação de agroquímicos, como o metribuzin, para as águas subterrâneas tem que ser repensada, a fim de preservar a qualidade do lençol freático deste tipo de lixiviação, sendo que

características de longo prazo como sorção e dissipação de metabólicos no ambiente devem ser repensadas e estudadas.

2.3. sulfentrazone

Outra molécula bastante utilizada na cultura da cana-de-açúcar é o sulfentrazone, do grupo das triazolona, sendo recomendado para o controle de plantas daninhas em pré-emergência de plantas infestantes, latifoliadas, gramíneas e ciperáceas. Com o nome comercial Boral, possui registro para as culturas de abacaxi, café, cana-de-açúcar, citrus, eucalipto, fumo e soja (Agrofit, 2017). Atua como inibidor da PROTOX, destruindo as membranas celulares, inibindo a enzima protox, havendo acúmulo da protoporfirina IX, o que leva à peroxidação do O_2 e, por consequência, à destruição das membranas celulares (Dan Hess, 1993).

É classificado como um herbicida móvel no solo com alto potencial de lixiviação, tanto na vertical quanto na horizontal (Rodrigues e Almeida, 2005). O sulfentrazone apresenta uma solubilidade de 780 mg L^{-1} , um Koc médio de 43 mL g^{-1} , possui uma pressão de vapor $1 \times 10^{-9} \text{ mm Hg}$ a 25°C e a constante de dissociação (pKa) é 6,5. Com estas propriedades, o sulfentrazone é altamente móvel e persistente no solo, tem um forte potencial de lixiviação para as águas subterrâneas e movimentação por escoamento superficial (Rodrigues e Almeida, 2005). Sua meia-vida pode variar de 110 a 180 dias, dependendo do tipo de solo e das condições ambientais (Hatzios, 1998).

Reddy e Locke (1998), ao analisarem a sorção no solo do sulfentrazone em duas texturas de solo (média e pesada) e em dois sistemas (convencional e plantio direto), observaram que, independentemente do manejo, a taxa de sorção foi maior no solo argiloso e neste a dessorção ocorreu de forma bem lenta. Em estudos realizados por Grey et al. (1997), estes afirmaram que os processos de sorção/ dessorção do sulfentrazone aos colóides são muito influenciados pelo pH, sendo que a sorção diminui

em resposta a um aumento deste índice, particularmente quando este é acima do pK_a do herbicida (no caso do sulfentrazone é 6,56), predominando a forma ionizada; abaixo deste valor há o aumento da forma molecular e da sorção.

O herbicida sulfentrazone tem-se apresentado como persistente em solos brasileiros (Martinez, 2008) e devido a sua alta solubilidade pode infiltrar, atingir águas subterrâneas e podendo causar riscos ambientais, toxicológicos e contaminação das águas subterrâneas (Grey et al., 2007; Lima et al., 2010). O conhecimento da dinâmica do sulfentrazone no solo é de extrema importância, pois gera informações essenciais de taxas de adsorção e lixiviação deste herbicida quando aplicado na pré-emergência das plantas daninhas (Rossi et al., 2005a).

2.4. tebuthiuron

O herbicida tebuthiuron descrito quimicamente como (1-(5-tert-butyl-1.3.4-thiadiazol-2-yl)-1.3-dimethylureia), pertencente ao grupo dos derivados da uréia, registrado no Brasil para o controle em pré e pós-emergência inicial de plantas daninhas mono e dicotiledôneas na cultura da cana-de-açúcar, tendo a absorção radicular como a principal via de transporte (Souza, 2007). Seu mecanismo de ação atua na inibição do fotossistema II onde compete com a plastoquinona “Qb” parcialmente reduzida (QbH) pelo sítio na proteína D1, ocasionando a saída da plastoquinona e interrompendo o fluxo de elétrons entre os fotossistemas. Os sintomas de intoxicação das plantas sensíveis ao tebuthiuron são clorose foliar seguida por necrose. A clorose geralmente é observada inicialmente nas nervuras das folhas e depois se espalha para as áreas entre as nervuras (Rodrigues e Almeida, 2005).

O tebuthiuron possui uma meia-vida de 360 dias, solubilidade em água de 2.500 mg L⁻¹ a 25°C, com Koc de 80 mL g⁻¹, a pressão de vapor do tebuthiuron é 2x10⁻⁶ a 20°C e a constante de dissociação (pK_a) é 1,2 o que favorece sua movimentação no solo (Rodrigues e Almeida, 2005).

Ressalta-se que é um dos herbicidas mais utilizados no controle químico de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. Sua flexibilidade de uso independente

da época de aplicação e sua eficácia no controle de plantas daninhas. (Inoue et al., 2007b) mesmo na presença de palha contribui para o seu uso intensivo (Negrisoli et al., 2007).

Seu grande poder residual tem provocado dúvidas quanto a sua persistência e acúmulo no solo pelo uso em sucessivos anos. Estudos sobre o seu potencial de lixiviação e monitoramento do seu comportamento no solo e as possibilidades de contaminação da água subterrânea vem sendo desenvolvidos nos últimos anos (Souza, 2007).

Estudos realizados por Nicolella (1999), demonstraram uma maior dificuldade de lixiviação do herbicida em solo com maior quantidade de matéria orgânica e com textura mais argilosa, por exemplo Latossolo Roxo. Ao contrário em um solo Areia Quartzosa o produto chegou a atingir em quatro anos de simulação, 50m. Tofoli et al., (2009), comenta que é de fundamental importância avaliar o comportamento do herbicida tebuthiuron nas diferentes condições de aplicação, visto que se trata de um herbicida de residual longo com grande uso no controle de plantas daninhas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

O estudo foi realizado em quatro etapas, todas conduzidas na Fazenda João Martins, pertencente a empresa Ouro Fino, localizada no município de Guatapar/SP. A primeira e segunda etapas foram conduzidas em campo e a terceira e quarta foram conduzida em casa-de-vegetao (Figura 1).



Figura 1.: Visão geral de experimento. Guatapar/SP, 2016.

3.2 Condução do Estudo na primeira e segunda etapas conduzidas em campo

O experimento foi conduzido em um solo de textura média, classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (Santos et al., 2013). A análise química e granulométrica do solo foi realizada em amostras aleatórias, retiradas das camadas de 0-10-, 10-20 e 20-30 cm de profundidade do solo em estudo (Tabela 1 e 2).

Tabela 1. Resultados da análise química de amostras coletadas em diferentes profundidades do solo que recebeu aplicação dos herbicidas. Guatapar/SP, 2015.

Solo	Camada (cm)	pH CaCl ₂	M.O. g dm ⁻³	P _{resina} mg dm ⁻³	mmolc/dm ³					CTC	V (%)
					K	Ca	Mg	H+Al	SB		
1	0-10	5,0	22	18	1,2	21	8	25	30	54	55
	10-20	5,1	16	23	0,6	18	7	21	25	46	54,7
	20-30	5,1	13	17	0,4	13	6	18	19	36	52

1 – Solo médio – Latossolo Vermelho Distrófico

Tabela 2. Resultados da análise granultrica do solo coletado em diferentes profundidades que recebeu aplicação dos herbicidas. Guatapar/SP, 2015.

Granulometria (g kg ⁻¹)	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-30
Argila	286	297	316
Silte	85	65	81
Areia Grossa	204	207	180
Areia Fina	425	431	423
Areia Total	629	638	603
Textura do Solo	Média	Média	Média

Solo médio – Latossolo Vermelho Distrófico

Deve-se ressaltar que a área onde foram conduzidas a primeira e segunda etapa da pesquisa estava em pousio e que a única atividade realizada, seis meses antes da instalação do experimento, foi a aplicação do herbicida glyphosate (3,5 L ha⁻¹) com o objetivo de eliminar as plantas daninhas presentes no local, sendo que os restos

vegetais presentes sob o solo, foram retirados no momento da instalação das colunas de PVC.

As amostras do experimento foram representadas por colunas de PVC com 30 cm de altura e 15 cm de diâmetro, sendo que cada coluna introduzida no solo representava uma repetição de cada tratamento avaliado pelo estudo. Estas colunas foram colocadas no solo até o nível da superfície com o auxílio de uma marreta e placa de madeira (utilizada para proteger as colunas de PVC do impacto) (Figura 2). As colunas foram retiradas após a aplicação dos herbicidas quando ocorrido à precipitação acumulada desejada no ambiente; de forma cuidadosa, escavando-se ao redor da coluna de PVC para manter a integridade original do solo (Figura 3). A borda inferior das colunas foram protegidas com telas finas para reter o solo após a coleta (Figura 3). Na área experimental foi instalado um pluviômetro para acompanhar a precipitação acumulada na área, além da estação pluviométrica da própria fazenda.

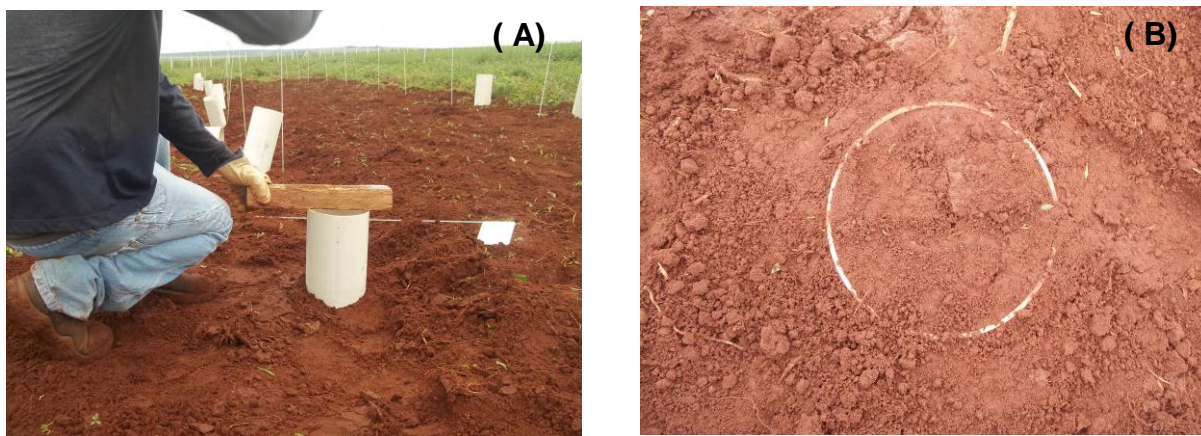


Figura 2. A: Detalhe da colocação das colunas de PVC no solo, B: Visão da superfície da coluna de PVC no solo.



Figura 3. Retirada das amostra de solo. A: Coleta B: Transporte. Guatapar/SP, 2016.

3.3 Semeadura das plantas bioindicadoras nas colunas de PVC

As colunas foram divididas ao meio através de um corte longitudinal, realizado através de um fio de metal e, com o apoio de uma chapa galvanizada, realizou-se a separação das duas partes da coluna de PVC. Imediatamente após o corte, foi realizado a semeadura das espécies bioindicadoras sendo que cada metade da coluna representou uma repetição das plantas bioindicadoras utilizadas, repetindo o procedimento para cada tratamento estudado (Figura 4). As sementes foram semeadas de modo que emergisse um número igual de plantas por cada intervalo de 3cm (Figura 5); para isso utilizou-se a porcentagem de germinação de cada planta bioindicadora, de acordo com as instruções descrita pela empresa fabricante dessas sementes.

A definição das espécies bioindicadoras foi realizada de acordo com a revisão de literatura, para que fosse sensível a pelo menos um dos herbicidas testados: capim marmelada - *Brachiaria plantaginea* (Negrisoli et al., 2007), pepino - *Cucumis sativus* (Oliveira et al., 1999), alface - *Lactuca sativa* (Deuber et al., 2004), sorgo - *Sorghum bicolor* (Bachega et al., 2009). Após a semeadura das plantas bioindicadoras as amostras foram mantidas em casa-de-vegetação onde permaneceram até a finalização do estudo. Durante esse período, as amostras representadas pelas colunas divididas ao meio, foram irrigadas para permitir o desenvolvimento das plantas.

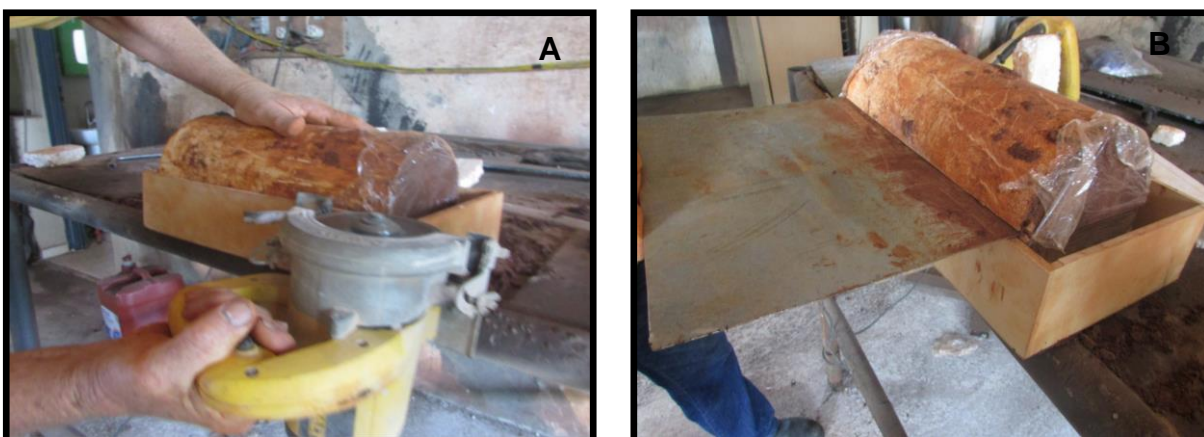


Figura 4. Divisão longitudinal das colunas. **A:** Corte do PVC. **B:** Separação das colunas. Guatapar/SP, 2016.

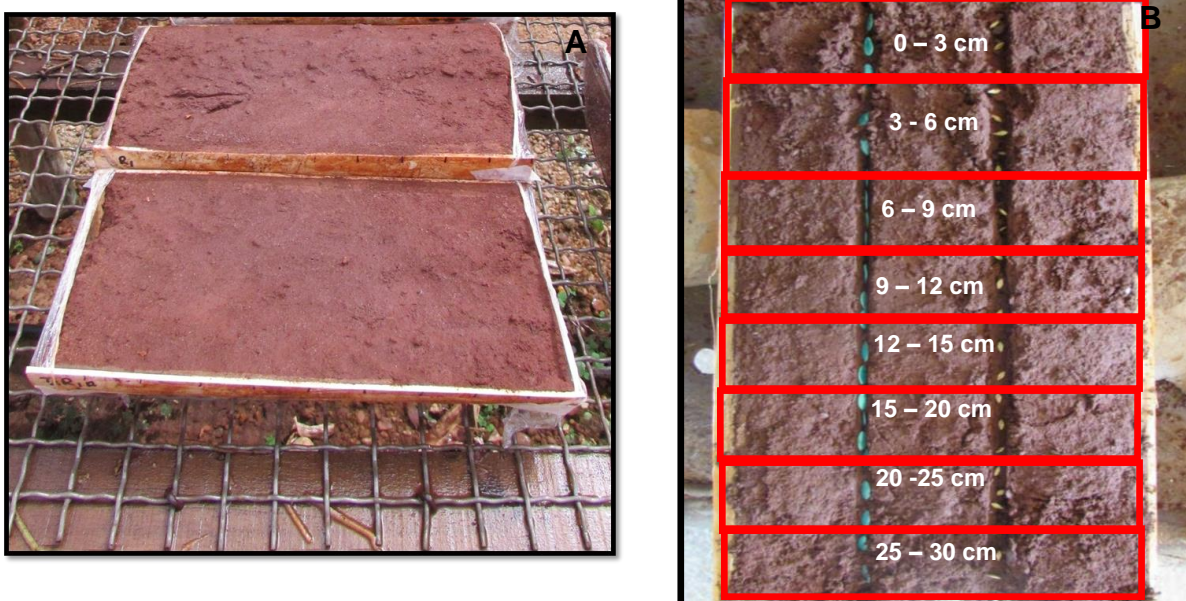


Figura 5. **A:** Divisão longitudinal das colunas – parte interna, **B:** Plantio das plantas bioindicadoras. Guatapar/SP, 2016.

3.4 Pulverização nas etapas em campo e acompanhamento pluviométrico

No dia 01/02/2016 foram aplicados os herbicidas na área experimental, onde monitorou-se a precipitação diária durante toda a condução do experimento. O intervalo de precipitação desejadas para a condução do experimento, pré-estabelecidas, foram: 40-50, 60-90, 100-130mm de chuva (Figura 6). O primeiro intervalo de precipitação na área ocorreu no dia 11/02/2016, quando se acumulou 91,8 mm de chuva, 10 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA); a precipitação acumulada de 131,8 mm ocorreu no dia 16/02/2016, 15DAA. Devido à alta intensidade da primeira chuva após a instalação do ensaio, não foi possível retirar as colunas de PVC que representariam as parcelas do primeiro intervalo a ser estudado de 40 -50mm, tendo apenas nesse primeiro experimento as precipitações de 91mm e 131mm.

Assim foi necessário instalar uma segunda etapa do ensaio, na mesma área utilizando-se a mesma metodologia empregada anteriormente, para obter-se o intervalo de precipitação de 40-50mm de chuva desejado. No dia 05/03/2016 foi instalado ao lado da primeira área, uma segunda etapa do estudo, quando realizou-se uma nova aplicação dos herbicidas, no dia 07/03/2016, e a precipitação da área foi monitorada novamente, sendo que no dia 11/03/2017 foi realizada a retirada das colunas de PVC, som a precipitação total acumulada de 50 mm de chuva, 5 DAA dos herbicidas na área do experimento (Figura 7).

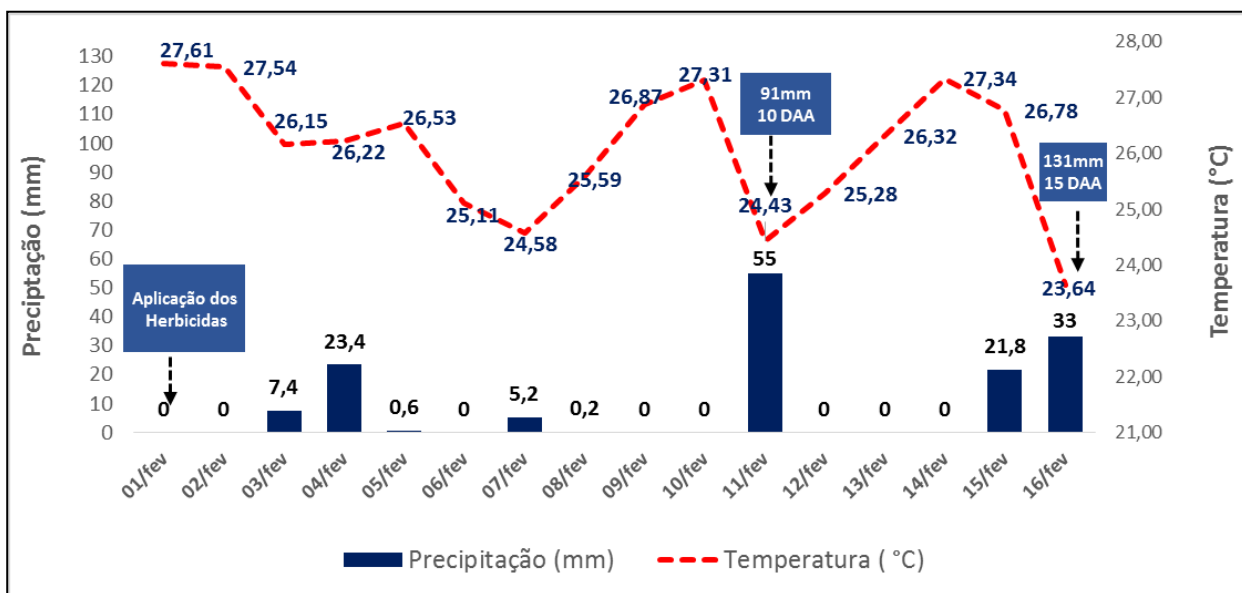


Figura 6. Precipitação ocorrida durante a condução da primeira etapa do experimento em solo de textura média. Guatapar/SP, 2016.

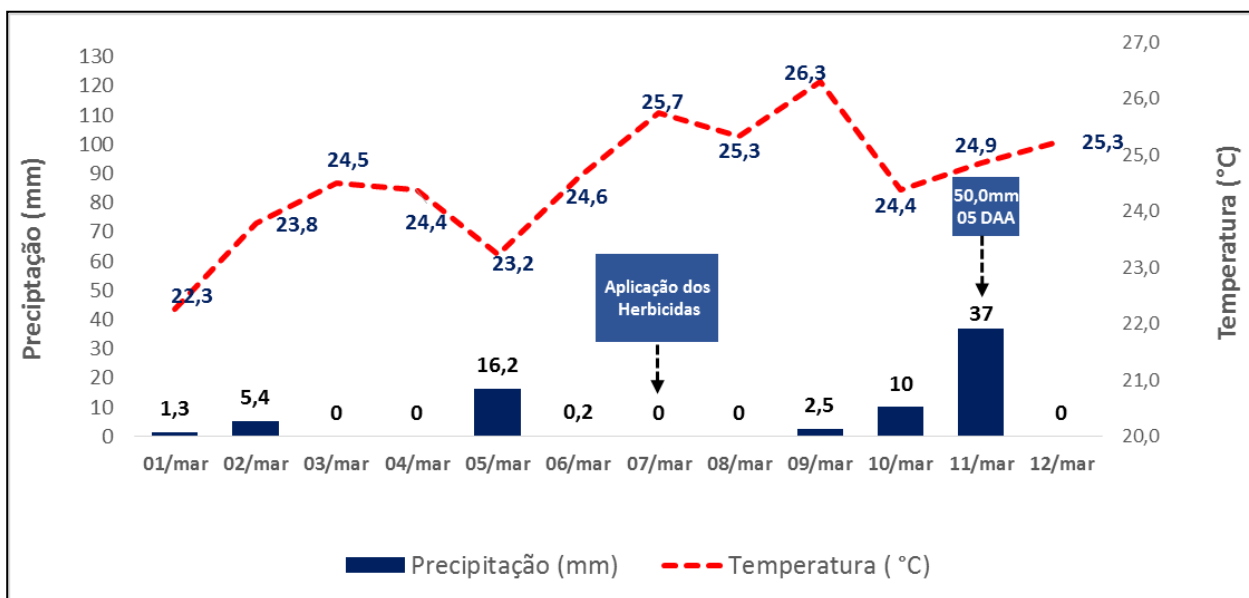


Figura 7. Precipitação ocorrida durante a condução da segunda etapa do experimento em solo de textura média. Guatapar/SP, 2016.

3.5. Aplicação dos Herbicidas

A recomendação técnica nas doses utilizadas, levando em consideração o tipo de solo em estudo, para cada herbicida utilizado estão apresentadas na Tabela 3. Para o S-metolachlor o produto comercial utilizado foi Dual Gold[®]; para o sulfentrazone foi o Boral 500 SC[®]; para o metribuzin foi o CoronelBR[®]; e para o tebuthiuron foi o FortalezaBR[®].

Tabela 3. Descrição dos tratamentos experimentais. Guatapar/SP, 2016.

Tratamentos	Herbicidas	Dose i.a. (g ha ⁻¹)	Dose p.c. (L ha ⁻¹)	Textura
1	S-metolachlor	1.440	1,5	Média
2	metribuzin	1.440	3,0	Média
3	sulfentrazone	600	1,2	Média
4	tebuthiuron	1.000	2,0	Média
5	testemunha	-	-	Média

S-metolachlor: Dual Gold[®]; sulfentrazone: Boral 500 SC[®]; metribuzim: CoronelBR[®] tebuthiuron: FortalezaBR[®].
Fonte: (RODRIGUES & ALMEIDA 2005).

Os herbicidas foram aplicados na superfície do solo, no topo das colunas, mantendo uma distância de 50 cm entre a borda superior da coluna e a barra de aplicação, com deslocamento a uma velocidade constante de 1 m s⁻¹. Utilizou-se um pulverizador costal pressurizado por CO₂, equipado de pontas de jato plano Teejet XR 11002VS, a uma pressão de trabalho de 2 kgf cm⁻², o que proporcionou um volume de calda de 200 L ha⁻¹ (Figura 8).



Figura 8. Detalhe da aplicação dos herbicidas. Guatapar/SP, 2016.

3.6 Parâmetros Avaliados

As avaliações de intoxicação nas plantas bioindicadoras semeadas nas colunas foram realizadas aos 5, 7, 9 e 11 dias após a semeadura (DAS). Como critério de avaliação de fitointoxicação das plantas, adotou-se a escala de notas de 0 a 100% (SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 1995), em que '0' corresponde a nenhuma injúria e '100%' equivalente a morte das plantas.

3.7 Delineamento Experimental

Delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizados com quatro repetições, com os tratamentos dispostos em um esquema fatorial 3 x 8, no qual os fatores referem-se aos 3 índices de precipitação ocorrido no ambiente antes da coleta das amostra (49,5, 91 e 131 mm) e 8 profundidades avaliadas no perfil do solo (0-3, 3-6, 6-9, 9-12, 12-15, 15-20, 20-25, 25-30 cm). Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo Teste "F" e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. S-metolachlor

Os resultados da porcentagem de intoxicação visual observada nas plantas de pepino proporcionado pelo herbicida S-metolachlor, aplicado em pré-emergência, em um solo de textura média estão apresentados na Tabela 4. Observa-se aos 5 DAS que as plantas de pepino apresentaram sintomas de injúrias visuais em todas as precipitações pluviométricas estudadas. Quando ocorreram acumulados de chuvas de 50 mm nota-se sintomas nas plantas até os 6 cm de profundidade, sendo que o mesmo foi registrado para 91mm e, para o acumulado de 131mm, a lixiviação do herbicida ocorreu até os 15 cm. Ressalta-se que na maior precipitação estudada o carreamento do S-metolachlor foi mais intenso para as maiores profundidades, o que permite inferir que este herbicida pode apresentar perdas por lixiviação intensa quando ocorrer precipitações elevadas e em pouco tempo, 15 dias como ora ocorrido, pois verificou-se uma chuva de 55 mm em poucas horas no dia 11/02/2016 (Tabela 4).

Nota-se, ainda na Tabela 4 aos 5 DAS, que as injúrias visuais nas plantas de pepino foram maiores no acumulado de 91mm de chuvas, quando comparado com as demais precipitações. Aos 7 DAS, registra-se a ocorrência de injúrias visuais nas

plantas de pepino nas mesmas profundidades encontradas inicialmente, porém com valores de intoxicação maiores, o que demonstra um incremento do efeito do herbicida sobre esta planta bioindicadora no decorrer do tempo.

Aos 9 e 11 DAS (Tabela 4) o herbicida manteve-se nas mesmas profundidades das avaliações anteriores (5 e 7 DAS), nas três precipitações estudadas, 50, 91 e 131mm, porém as plantas de pepino apresentaram uma intoxicação visual mais intensa. Ressalta-se que para a avaliação de 11 DAS, os sintomas de injúrias na planta bioindicadora foi maior nas camadas mais profundas do solo do que em relação a superfície, independentemente de não se notar diferenças significativas. Contudo, estes valores maiores podem supor que a precipitação mais intensa carregou quantidades maiores do herbicida no perfil do solo.

Tabela 4. Porcentagem de intoxicação em plantas de pepino após a aplicação do herbicida S-metolachlor (1.440 g i.a. ha⁻¹) em diferentes épocas de avaliações, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interação entre precipitação e profundidade. Guatapar/SP, 2016.

Profundidade (cm)	Precipitação acumulada					
	5 DAS			7 DAS		
	50 mm	91 mm	131 mm	50 mm	91 mm	131 mm
0-3	30,0 aB	56,3 aA	10,0 abC	50,0 aB	60,0 aA	15,0 bC
3-6	28,8 aB	38,8 bA	13,0 aC	51,25 aA	41,2 bB	31,2 aC
6-9	0,0 bB	0,0 cB	5,0 bcA	0,0 bB	0,0 cB	20,0 bA
9-12	0,0 bB	0,0 cB	5,0 bc	0,0 bB	0,0 cB	20,0 b
12-15	0,0 bB	0,0 cB	5,0 bc	0,0 bB	0,0 cB	20,0 b
15-20	0,0 bA	0,0 cA	0,0 c	0,0 bA	0,0 cA	0,0 c
20-25	0,0 bA	0,0 cA	0,0 c	0,0 bA	0,0 cA	0,0 c
25-30	0,0 bA	0,0 cA	0,0 c	0,0 bA	0,0 cA	0,0 c
F Precipitação (C)	56,29 **			0,74 ^{ns}		
Profundidade (P)	289,19 **			682,7**		
CxP	48,51 **			107,08**		
CV (%)	34,0			18,5		
d.m.s. (C)	4,6			4,01		
d.m.s. (P)	6,0			5,24		

Medias seguidas da mesma letra minuscula na coluna e maiuscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05). **significativo a 1% de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Tabela 4. Continuação ...

Profundidade (cm)	Precipitação acumulada					
	9 DAS			11 DAS		
	50 mm	91 mm	131 mm	50 mm	91 mm	131 mm
0-3	68,7 aA	60,0 aA	20,0 bC	72,5 aA	54,5 aB	56,2 aB
3-6	64,2 aA	42,7 bB	37,5 aB	71,7 aA	40,5 bC	60,0 aB
6-9	0,0 bB	0,0 bB	40,0 aA	0,0 aB	0,0 cB	60,0 aA
9-12	0,0 b	0,0 b	40,0 a	0,0 aB	0,0 cB	60,0 a
12-15	0,0 b	0,0 b	40,0 a	0,0 aB	0,0 cB	60,0 a
15-20	0,0 b	0,0 b	40,0 c	0,0 aA	0,0 cA	0,0 b
20-25	0,0 b	0,0 b	0,0 c	0,0 aA	0,0 cA	0,0 b
25-30	0,0 b	0,0 b	0,0 c	0,0 aA	0,0 cA	0,0 b
F Precipitação (C)	58,96 **			463,65**		
Profundidade (P)	420,36 **			613,18**		
CxP	109,6 **			123,84**		
CV (%)	20,1			15,43		
d.m.s. (C)	5,9			5,8		
d.m.s. (P)	7,6			7,6		

Medias seguidas da mesma letra minuscula na coluna e maiuscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05). **significativo a 1% de probabilidade.

Os dados ora encontrados corroboram os resultados obtidos por Silva et al., (2015), que ao estudar a lixiviação do herbicida S-metolachlor utilizando-se também plantas de pepino como bioindicadora, obteve resultados semelhantes aos encontrados na primeira avaliação, 5 DAS, quando se registrou sintomas de injúrias até os 6 cm inicial do perfil do solo.

Em outro trabalho, realizado por Procópio et al., (2001), os pesquisadores estudaram o potencial de lixiviação do herbicida S-metolachlor em cinco tipos de solo, observaram que em quase todos os solos com alto teor de matéria orgânica o herbicida concentrou-se na camada mais superficial do perfil do solo (0-5cm), porém em solos com baixos teor de matéria orgânica e CTC efetiva, observaram a ocorrência de uma lixiviação mais acentuada do herbicida, com a probabilidade de contaminação de águas subterrâneas.

Resultados semelhantes foram encontrados também por Inoue et al., (2010), que ao estudarem a lixiviação do herbicida S-metolachlor em um solo arenoso, verificaram que as moléculas do herbicida foram carregadas para profundidades superiores a 5 cm, independentemente da lâmina de água aplicada e, quando as lâminas eram iguais ou maiores que 80 mm proporcionaram uma movimentação maior do herbicida, atingindo profundidades de até 15-20 cm, o que confirma que, quanto maior a lâmina de precipitação, maior a probabilidade de arraste das moléculas de S-metolachlor no perfil dos solos de textura arenosa.

Na Tabela 5 encontra-se os dados de intoxicação observados nas plantas de alface utilizada como espécie bioindicadora aos 5 e 7 DAS. Na avaliação de 5 DAS todas as plantas, independentemente da precipitação estudada, apresentaram sintomas visuais de injúrias causados pelo herbicida S-metolachlor, sendo que os sintomas foram verificados até a camada de 6cm de profundidade. Nota-se ainda, nesta avaliação, que no acumulado de chuvas de 91 mm ocorreu um sintoma de intoxicação visual maior nas plantas de alface quando comparado as precipitações de 51 e 131mm.

Aos 7 DAS, nota-se a ocorrência de injúrias visuais nas plantas de alface nas mesmas profundidades encontradas inicialmente, porém com valores maiores de

intoxicação, o que demonstrou um incremento do efeito de toxicidade do S-metolachlor sobre essa planta bioindicadora.

Observa-se nas avaliações de 9 e 11 DAS (Tabela 5) que o herbicida manteve-se nas mesmas profundidades das avaliações anteriores, porém os sintomas visuais de injúrias foram maiores. Na avaliação de 11 DAS registrou-se uma maior ação do herbicida na camada de 0-3 cm.

Esses dados reforçam as informações encontradas por Silva et al., (2015) que verificaram sintomas visuais de intoxicação em plantas de alface causados pela lixiviação do herbicida S-metolachlor nas primeiras camadas do perfil do solo, sendo que as maiores porcentagens de injúrias visuais nas plantas ocorreram na camada de 0-3cm, porém em sua pesquisa houve uma maior lixiviação do produto pelo perfil do solo analisado.

Tabela 5. Porcentagem de intoxicação em plantas de alface após a aplicação do herbicida S-metolachlor (1.440 g i.a. ha⁻¹) em diferentes épocas de avaliação, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interação entre precipitação e profundidade. Guatapará/SP, 2016.

Profundidade (cm)	Precipitação acumulada					
	5 DAS			7 DAS		
	50 mm	91 mm	131 mm	50 mm	91 mm	131 mm
0-3	13,8 aB	68,8 aA	6,0 aC	88,7 aA	70,0 aB	13,0 aC
3-6	13,8 aA	11,3 bAB	6,3 aB	15,0 bA	12,5 bA	11,2 aA
6-9	0,0 bA	0,0 cA	0,0 aA	0,0 cA	0,0 cA	0,0 bA
9-12	0,0 b	0,0 c	0,0 a	0,0 c	0,0 C	0,0 b
12-15	0,0 b	0,0 c	0,0 a	0,0 c	0,0 C	0,0 b
15-20	0,0 b	0,0 c	0,0 a	0,0 c	0,0 C	0,0 b
20-25	0,0 b	0,0 c	0,0 a	0,0 c	0,0 C	0,0 b
25-30	0,0 b	0,0 c	0,0 a	0,0 c	0,0 C	0,0 b
F Precipitação (C)	55,1 **			44,18 **		
Profundidade (P)	123,53 **			252,84 **		
CxP	50,75 **			40,18 **		
CV (%)	65,2			49,92		
d.m.s. (C)	5,3			7,4		
d.m.s. (P)	6,9			9,7		

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05). **significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 5. Continuação ...

Profundidade (cm)	Precipitação acumulada					
	9 DAS			11 DAS		
	50 mm	91 mm	131 mm	50 mm	91 mm	131 mm
0-3	93,8 aA	71,3 aB	26,3 aA	95,0 aA	70,0 aB	31,2 aC
3-6	31,3 bA	11,2 bB	18,8 aB	29,25 bA	8,25 bC	20,0 aB
6-9	0,0 cA	0,0 bA	0,0 bA	0,0 cA	0,0 bA	0,0 bA
9-12	0,0 c	0,0 b	0,0 b	0,0 C	0,0 b	0,0 b
12-15	0,0 c	0,0 b	0,0 b	0,0 C	0,0 b	0,0 b
15-20	0,0 c	0,0 b	0,0 b	0,0 C	0,0 b	0,0 b
20-25	0,0 c	0,0 b	0,0 b	0,0 C	0,0 b	0,0 b
25-30	0,0 c	0,0 b	0,0 b	0,0 C	0,0 b	0,0 b
F Precipitação (C)	30,03 **			23,55 **		
Profundidade (P)	231,07 **			222,43 **		
CxP	23,2 **			19,21 **		
CV (%)	49,08			50,86		
d.m.s. (C)	8,7			9,1		
d.m.s. (P)	11,4			11,9		

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05). **significativo a 1% de probabilidade.

Na Tabela 6 observa-se os sintomas visuais de intoxicação apresentado pelas plantas de capim-marmelada causados pelo herbicida S-metolachlor. Aos 5 e 7 DAS pode-se observar que os sintomas ocorreram até a camada de 6 cm do solo nas três quantidades acumuladas de chuvas. Nas avaliações de 9 e 11 DAS (Tabela 6) a ação do herbicida continuou nas mesmas camadas do perfil do solo das avaliações anteriores, porém nota-se que os sintomas visuais de injúrias apresentaram um aumento em ambas avaliações, sendo que aos 11DAS na precipitação de 131mm chegou a causar injúrias visuais de 100 % nas plantas de capim-marmelada na camada superficial (0-3 cm).

Os resultados obtidos corroboram os dados apresentados por Santana, (2012) em um estudo de lixiviação do herbicida S-metolachlor, no qual utilizou-se como planta bioindicadora o capim-marmelada. Este obteve resultados semelhantes quanto aos sintomas visuais de injúrias, 100 % de intoxicação na avaliação aos 12 DAS.

Tabela 6. Porcentagem de intoxicação em plantas de capim-marmelada após a aplicação do herbicida S-metolachlor (1.440 g i.a. ha⁻¹) em diferentes épocas de avaliação, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interação entre precipitação e profundidade. Guatapar/SP, 2016.

Profundidade (cm)	Precipitao acumulada					
	5 DAS			7 DAS		
	50 mm	91 mm	131 mm	50 mm	91 mm	131 mm
0-3	71,3 aB	76,3 aAB	85,0 aA	83,7 aAB	75,0 aB	93,7 aA
3-6	67,5 aA	22,5 bC	34,3 bB	71,2 aA	28,2 bC	42,5 bB
6-9	0,0 bA	0,0 cA	0,0 aA	0,0 bA	0,0 cA	0,0 cA
9-12	0,0 b	0,0 c	0,0 c	0,0 b	0,0 C	0,0 c
12-15	0,0 b	0,0 c	0,0 c	0,0 b	0,0 C	0,0 c
15-20	0,0 b	0,0 c	0,0 c	0,0 b	0,0 C	0,0 c
20-25	0,0 b	0,0 c	0,0 c	0,0 b	0,0 C	0,0 c
25-30	0,0 b	0,0 c	0,0 c	0,0 b	0,0 C	0,0 c
F Precipitao (C)	4,21 *			9,41 **		
Profundidade (P)	214,86 **			336,68 **		
CxP	6,53 **			7,55 **		
CV (%)	46,3			36,7		
d.m.s. (C)	11,7			10,2		
d.m.s. (P)	15,2			13,3		

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de (p>0,05). **significativo a 1% de probabilidade.; *significativo a 5% de probabilidade.

Tukey

Tabela 6. Continuao ...

Profundidade (cm)	Precipitao acumulada					
	9 DAS			11 DAS		
	50 mm	91 mm	131 mm	50 mm	91 mm	131 mm
0-3	87,5 aB	75,0 aC	98,8 aA	93,0 aB	72,5 aB	100,0 aA
3-6	75,8 bA	27,5 bC	54,3 bB	78,5 bA	26,2 bC	66,2 bB
6-9	0,0 cA	0,0 cA	0,0 cA	0,0 cA	0,0 cA	0,0 cA
9-12	0,0 c	0,0 c	0,0 c	0,0 c	0,0 C	0,0 c
12-15	0,0 c	0,0 c	0,0 c	0,0 c	0,0 C	0,0 c
15-20	0,0 c	0,0 c	0,0 c	0,0 c	0,0 C	0,0 c
20-25	0,0 c	0,0 c	0,0 c	0,0 c	0,0 C	0,0 c
25-30	0,0 c	0,0 c	0,0 c	0,0 c	0,0 C	0,0 c
F Precipitao (C)	25,79 **			24,9 **		
Profundidade (P)	660,88 **			437,54 **		
CxP	16,53 **			12,88 **		
CV (%)	26,0			31,6		
d.m.s. (C)	7,7			9,7		
d.m.s. (P)	10,0			12,7		

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05). **significativo a 1% de probabilidade.; *significativo a 5% de probabilidade.

Verifica-se na Tabela 7, para as plantas de sorgo utilizadas como bioindicadora, que não houve efeito das diferentes precipitações pluviométricas estudadas em nenhuma das épocas avaliadas, sendo que se registrou um efeito da profundidade em todos os períodos analisados e houve efeito significativo da intoxicação entre as precipitações e profundidades na última avaliação, aos 11 DAS. Quando se analisa os dados da interação aos 11 DAS (Tabela 7) observa-se que os sintomas visuais de injúrias permaneceram na camada superficial do solo (0-3cm), porém maiores quando da ocorrência da precipitação de 50 mm e semelhante nas demais precipitações.

Procópio et al., (2001) analisando a lixiviação do herbicida S-metolachlor em diferentes tipos de solo, verificou que este apresentou maior lixiviação em solo arenoso, observando sintomas de intoxicação nas plantas de sorgo em todas as camadas de solo analisadas (0 – 20 cm). No presente estudo conduzido em Guatapará esses sintomas visuais de injúrias foram observados apenas na camada de 0 – 3 cm para as todas as avaliações, sendo que aos 5, 7 e 9 DAS não houve uma interação entre os fatores o que ocorreu na avaliação de 11 DAS. Talvez estas diferenças podem ser decorrentes do uso de formulações diferentes.

Diante deste contexto pode-se inferir que a intoxicação do herbicida S-metolachlor variou de acordo com a espécie bioindicadora, bem como com a quantidade de chuvas ocorridas. Independentemente da planta bioindicadora estudada, provavelmente a concentração do produto reduziu com o aumento da profundidade avaliada.

Os resultados encontrados para as plantas bioindicadoras analisadas neste estudo, considerando o tipo de solo em questão, demonstraram que dentro as quatro espécies estudadas a mais sensível ao herbicida S-metolachlor e que permitiu visualizar o herbicida em maiores profundidades foi o pepino.

Tabela 7. Porcentagem de intoxicação em plantas de sorgo após a aplicação do herbicida S-metolachlor (1.440 g i.a. ha⁻¹) em diferentes épocas de avaliação, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis principais (precipitação e profundidade). Guatapar/SP, 2016.

Condição	Dias após a sementeira			
	5	7	9	11
Precipitação (C)				
(mm)				
50	3,9 a	8,75 a	9,53 A	9,68 a
91	3,18 a	4,06 a	4,53 A	4,37 a
131	3,9 a	4,37 a	4,37 A	4,37 a
Profundidade (P)				
(cm)				
0-3	29,33 a	45,83 a	49,16 A	49,16 a
3-6	0,0 b	0,0 b	0,0 B	0,0 b
6-9	0,0 b	0,0 b	0,0 B	0,0 b
9-12	0,0 b	0,0 b	0,0 B	0,0 b
12-15	0,0 b	0,0 b	0,0 B	0,0 b
15-20	0,0 b	0,0 b	0,0 B	0,0 b
20-25	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 b
25-30	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 b
F Precipitação (C)	0,03 ^{ns}	1,34 ^{ns}	1,77 ^{ns}	1,91 ^{ns}
Profundidade (P)	7,69 ^{**}	19,27 ^{**}	23,34 ^{**}	23,05 ^{**}
CxP	0,03 ^{ns}	1,34 ^{ns}	1,77 ^{ns}	1,91 [*]
CV (%)	353,4	223,2	202,8	204,06
d.m.s. (C)	7,75	7,65	7,45	6,14
d.m.s. (P)	16,51	16,29	15,88	15,98

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05). **significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Tabela 7. Porcentagem de intoxicação em plantas de sorgo após a aplicação do herbicida S-metolachlor (1.440 g i.a. ha⁻¹) aos 11 dias após a semeadura, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interação entre precipitação e profundidade. Guatapar/SP, 2016.

Profundidade (cm)	Precipitação acumulada 11 DAS		
	50 mm	91 mm	131 mm
0-3	77,5 aA	35,0 aB	35,0 aB
3-6	0,0 bA	0,0 bA	0,0 bA
6-9	0,0 b	0,0 b	0,0 B
9-12	0,0 b	0,0 b	0,0 B
12-15	0,0 b	0,0 b	0,0 B
15-20	0,0 b	0,0 b	0,0 B
20-25	0,0 b	0,0 b	0,0 B
25-30	0,0 b	0,0 b	0,0 B
F Precipitação (C)		1,77 ^{ns}	
Profundidade (P)		23,05 ^{**}	
CxP		1,91 [*]	
CV (%)		204,1	
d.m.s. (C)		21,2	
d.m.s. (P)		27,7	

Medias seguidas da mesma letra minuscula na coluna nao diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05). ^{**}significativo a 1% de probabilidade; ^{*}significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} nao significativo.

4.2. metribuzin

Na Tabela 8 estão apresentados os dados do herbicida metribuzin para as plantas de pepino. Aos 5 DAS, nos acumulados de 50 e 131 mm não se observou sintomas visuais de injúrias causados pelo herbicida as plantas de pepino; já no acumulado de 91mm verificou-se a ação da molécula na camada superficial do solo (0-3cm). Na avaliação de 7DAS registra-se que os sintomas de intoxicação foram notados nos três acumulados de precipitações estudados, atingindo em todos os acumulados a camada de 3-6cm no perfil do solo. Na avaliação de 9 DAS os sintomas de intoxicação nas plantas foram mantidos a camada 0-6cm, sendo o mesmo comportamento da avaliação anterior, porém como sintomas mais acentuados de fitointoxicação (Tabela 8). Na última avaliação, aos 11 DAS, os sintomas visuais de injúrias causados pelo metribuzin atingiu a profundidade de 6-9cm para o acumulado de 50 mm .Para o acumulado de 91 mm os sintomas mantiveram-se na mesma camada da avaliação anterior (0-6cm), e no último acumulado estudado, 131mm, notamos que a lixiviação do herbicida foi maior, sendo os sintomas de intoxicação observados até a camada de 9-12cm.

Tabela 8. Porcentagem de intoxicação em plantas de pepino após a aplicação do herbicida metribuzim (1.440 g i.a. ha⁻¹) em diferentes épocas de avaliação, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interação entre precipitação e profundidade. Guatapar/SP, 2016.

Profundidade (cm)	Precipitação acumulada					
	5 DAS			7 DAS		
	50 mm	91 mm	131 mm	50 mm	91 mm	131 mm
0-3	0,0 aB	79,2 aA	0,0 aB	61,2 aB	83,0 aA	36,3 aC
3-6	0,0 aA	0,0 bA	0,0 aA	57,5 aA	55,5 bA	31,3 aB
6-9	0,0 aA	0,0 bA	0,0 aA	0,0 bA	0,0 cA	0,0 bA
9-12	0,0 a	0,0 b	0,0 a	0,0 B	0,0 c	0,0 b
12-15	0,0 a	0,0 b	0,0 a	0,0 B	0,0 c	0,0 b
15-20	0,0 a	0,0 b	0,0 a	0,0 B	0,0 c	0,0 b
20-25	0,0 a	0,0 b	0,0 a	0,0 B	0,0 c	0,0 b
25-30	0,0 a	0,0 b	0,0 a	0,0 B	0,0 c	0,0 b
F Precipitação (C)		128,45 **			20,29 **	
Profundidade (P)		128,45 **			231,46 **	
CxP		128,45 **			10,24 **	
CV (%)		86,45			42,5	
d.m.s. (C)		1,7			3,44	
d.m.s. (P)		3,63			7,33	

Medias seguidas da mesma letra minuscula na coluna e maiuscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05). **significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 8. Continuação ...

Profundidade (cm)	Precipitação acumulada					
	9 DAS			11 DAS		
	50 mm	91 mm	131 mm	50 mm	91 mm	131 mm
0-3	67,5 aB	87,5 aA	55,0 aC	85,0 aAB	97,0 aA	73,7 aB
3-6	67,5 aB	68,2 bA	46,2 aB	81,2 aA	79,5 bA	65,0 abB
6-9	0,0 bA	0,0 cA	0,0 bA	78,8 aA	0,0 cC	52,5 bB
9-12	0,0 bA	0,0 cA	0,0 bA	0,0 bB	0,0 cB	52,0 bA
12-15	0,0 bA	0,0 cA	0,0 bA	0,0 bA	0,0 cA	0,0 cA
15-20	0,0 B	0,0 c	0,0 b	0,0 B	0,0 c	0,0 c
20-25	0,0 B	0,0 c	0,0 b	0,0 B	0,0 c	0,0 c
25-30	0,0 B	0,0 c	0,0 b	0,0 B	0,0 c	0,0 c
F Precipitação (C)		17,46 **			12,72 **	
Profundidade (P)		509,87 **			257,57 **	
CxP		8,71 **			24,15 **	
CV (%)		28,5			27,95	
d.m.s. (C)		2,78			4,63	
d.m.s. (P)		5,93			9,86	

Medias seguidas da mesma letra minuscula na coluna e maiuscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05). **significativo a 1% de probabilidade.

Apesar dos resultados ora encontrados, neste estudo, apresentarem uma baixa capacidade de lixiviação do herbicida metribuzim, sabe-se que, a molécula possui uma alta solubilidade em água (1100mg L^{-1}) e médio Koc (60 mL g^{-1}), constante de dissociação (pK_a) é 1,0, o que facilitaria a lixiviação no solo (Rodrigues & Almeida, 2011).

Kode sová et al., (2011), diagnosticou através de uma pesquisa a baixa capacidade de adsorção no solo da molécula metribuzin, verificando uma relação para a molécula, sendo um agroquímico básico de alta solubilidade e baixa capacidade de adsorção, o que permite um alto potencial de lixiviação, sendo possível encontrar resíduos desta molécula nas camadas mais profundas do solo e, conseqüentemente, podendo atingir as águas subterrâneas.

Em estudos realizados por Browman (1991) sobre o potencial de lixiviação do metribuzin, verificou-se que quando submetido ao regime de chuva de 95mm, uma quantidade significativa foi transportada até 30 cm de profundidade, principalmente em solo arenoso. Maqueda et al.(2008) verificaram também que o metribuzim tem sido identificado em águas subterrâneas e, por ter grande mobilidade, este permitiu um excelente controle de plantas daninhas em um solo arenoso na camada 0-12 cm de profundidade.

Em trabalhos realizados por Lourencetti et al., (2005), nos quais se avaliaram o potencial de contaminação das águas subterrâneas por defensivos agrícolas, observaram que o herbicida metribuzim apresentou um potencial de lixiviação, uma vez que, vem sendo utilizado constantemente em algumas das principais culturas no país. Seu constante uso tem trazido preocupações quanto a contaminação das águas subterrâneas, já que em estudos realizados em regiões produtoras de cana-de-açúcar na Argentina, constatou a presença de resíduos do metribuzim em 97,4% das amostras analisadas, sendo um dos herbicidas mais lixiviados (Bedmar et al., 2004).

Na Tabela 9 estão apresentados os dados obtidos com outra planta bioindicadora utilizada no experimento, a alface. Nota-se que, aos 5 DAS que o

herbicida metribuzin causou sintomas visuais de injurias até a camada de 6-9cm sob uma precipitação de 50mm, mantendo-se na mesma profundidade na avaliação seguinte, 7DAS, porém com sintomas de intoxicação maiores. No acumulado de 91mm aos 5 DAS observa -se que o herbicida atingiu a camada de 3-6cm, tendo um maior controle na planta bioindicadora na camada superficial de 0-3cm de 80%; na avaliação de 7DAS desse acumulado, nota-se que os sintomas pernaneeceram na mesma camada do perfil do solo 3-6cm. Ao analisar-se a maior precipitação estudada de 131mm aos 5 DAS, observa-se uma lixiviação molécula até a camada de 6-9cm . Na avaliação de 7 DAS os sintomas de injúrias visuais foram observados até a camada de 9-12cm.z

Nas avaliações seguintes 9 e 11 DAS (Tabela 9), os sintomas de intoxicação encontrados nos periodos anteriores permaneceram nas mesmas profundidades para os acumulados de 50 e 91mm porém apresentaram sintomas de injúrias mais acentuados nas plantas de alface. No acumulado de 131mm aos 9 e 11 DAS os sintomas foram observados até a camada de 9-12 cm, apresentando na última avaliação sintomas de injúria superiores a 95% até a camada de 9-12cm de profundidade.

Tais dados encontrados evidenciam o potencial de lixiviação da molécula, que mesmo permanecendo até a camada de 9-12cm, neste estudo, demonstrou a alta quantidade de resíduo do herbicida lixiviado, já que os sintomas de injúrias visuais foram superiores a 80 % de controle da planta bioindicadora em todos os acumulados de chuvas estudados.

Tabela 9. Porcentagem de intoxicação em plantas de alface após a aplicação do herbicida metribuzim (1.440 g i.a. ha⁻¹) em diferentes épocas de avaliação, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interação entre precipitação e profundidade. Guatapar/SP, 2016.

Profundidade (cm)	Precipitação acumulada					
	5 DAS			7 DAS		
	50 mm	91 mm	131 mm	50 mm	91 mm	131 mm
0-3	12,5 bC	80,0 aB	100,0 aB	56,2 aC	85,0 aB	100,0 aA
3-6	25,0 aB	32,5 aC	78,3 bA	53,7 aB	52,5 bB	84,0 bA
6-9	22,5 abB	0,0 cC	78,3 bA	56,3 aB	0,0 cC	84,0 bA
9-12	0,0 cB	0,0 cB	0,0 cA	0,0 bB	0,0 cB	84,0 bA
12-15	0,0 cA	0,0 cA	0,0 cA	0,0 bA	0,0 cA	0,0 cA
15-20	0,0 c	0,0 c	0,0 c	0,0 B	0,0 c	0,0 c
20-25	0,0 c	0,0 c	0,0 c	0,0 B	0,0 c	0,0 c
25-30	0,0 c	0,0 c	0,0 c	0,0 B	0,0 c	0,0 c
F Precipitação (C)		431,39 **			517,4 **	
Profundidade (P)		305,88 **			979,54 **	
CxP		91,26 **			144,01 **	
CV (%)		23,49			13,24	
d.m.s. (C)		2,97			2,16	
d.m.s. (P)		6,32			4,61	

Medias seguidas da mesma letra minuscula na coluna e maiuscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05). **significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 9. Continuação ...

Profundidade (cm)	Precipitação acumulada					
	9 DAS			11 DAS		
	50 mm	91 mm	131 mm	50 mm	91 mm	131 mm
0-3	81,2 aC	90,0 aB	100,0 aA	98,0 aA	97,0 aA	100,0 aA
3-6	78,7 aB	67,5 bC	92,0 aA	97,5 aA	81,2 bB	97,5 aA
6-9	73,7 aB	0,0 cC	92,0 aA	91,3 aA	0,0 cB	96,3 aA
9-12	0,0 bB	0,0 cB	92,0 aA	0,0 bB	0,0 cB	97,5 aA
12-15	0,0 bA	0,0 cA	0,0 bA	0,0 bA	0,0 cA	0,0 bA
15-20	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 B	0,0 c	0,0 b
20-25	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 B	0,0 c	0,0 b
25-30	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 B	0,0 c	0,0 b
F Precipitação (C)		404,98 **			397,54 **	
Profundidade (P)		1162,78 **			1553,41 **	
CxP		146,59 **			191,33 **	
CV (%)		12,18			10,58	
d.m.s. (C)		2,33			2,25	
d.m.s. (P)		4,96			4,81	

Medias seguidas da mesma letra minuscula na coluna e maiuscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05). **significativo a 1% de probabilidade.

Ao analisarmos os dados de intoxicação causados pelos herbicida metribuzim nas plantas de capim-marmelada na Tabela 10, nota-se que aos 5 DAS no acumulado de 50mm, os sintomas visuais de injúrias foram observados até a camada de 6-9cm de profundidade e nos demais acumulados, 91 e 131mm, esses sintomas foram visualizados até a camada 3-6cm. Na avaliação de 7 DAS, nota-se sintomas mais acentuados do porcentual de controle do metribuzim sob as plantas de campimarmelada, sendo os sintomas observados nas mesmas camadas do perfil do solo encontrados na avaliação anterior. Nas avaliações de 9 e 11 DAS (Tabela 10), os sintomas mantiveram-se nas mesmas camadas sendo que, para o acumulado de 50mm atingiu a camada de 6-9cm, e nos acumulados de 91 e 131mm os sintomas de injúrias permaneceram no perfil de 3-6cm de profundidade do solo.

Em um estudo semelhante realizado por Santana (2012), verificou-se sintomas de intoxicação nas plantas de capim-marmelada até a camada 12-15cm, com uma precipitação de 62 mm, sendo que no acumulado maior analisado (116mm) não se registrou nenhum sintomas de intoxicação nas plantas bioindicadoras de capim-marmelada, independente da profundidade estudada; talvez pelo fato do herbicida ter sido lixiviado a camadas mais profundas que 30 cm e, no caso deste estudo foi realizado com um solo de textura média-arenosa.

Tabela 10. Porcentagem de intoxicação em plantas de capim-marmelada após a aplicação do herbicida metribuzim (1.440 g i.a. ha⁻¹) em diferentes épocas de avaliação, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interação entre precipitação e profundidade. Guatapar/SP, 2016.

Profundidade (cm)	Precipitao acumulada					
	5 DAS			7 DAS		
	50 mm	91 mm	131 mm	50 mm	91 mm	131 mm
0-3	45,0 aB	77,5 aA	77,0 aA	67,5 aB	84,7 aA	87,5 aA
3-6	40,0 aB	57,5 bA	66,2 aA	63,7 aB	68,7 bB	81,3 aA
6-9	45,0 aA	0,0 cB	0,0 bB	67,5 aA	0,0 cB	0,0 bB
9-12	0,0 bA	0,0 cA	0,0 bA	0,0 bA	0,0 cA	0,0 bA
12-15	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 B	0,0 c	0,0 b
15-20	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 B	0,0 c	0,0 b
20-25	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 B	0,0 c	0,0 b
25-30	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 B	0,0 c	0,0 b
F Precipitao (C)	0,6 NS			8,19 **		
Profundidade (P)	243,3 **			434,36 **		
CxP	18,24 **			29,16 **		
CV (%)	35,96			26,2		
d.m.s. (C)	3,66			3,4		
d.m.s. (P)	7,79			7,25		

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05). **significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 10. Continuao ...

Profundidade (cm)	Precipitao acumulada					
	9 DAS			11 DAS		
	50 mm	91 mm	131 mm	50 mm	91 mm	131 mm
0-3	85,0 aB	89,5 aAB	93,7 aA	99,0 aA	95,0 aB	100,0 aA
3-6	81,2 aA	87,7 aA	87,5 aA	99,5 aA	99,0 bA	99,5 aA
6-9	84,7 aA	0,0 bB	0,0 bB	97,8 aA	0,0 cB	0,0 bB
9-12	0,0 bA	0,0 bA	0,0 bA	0,0 bA	0,0 cA	0,0 bA
12-15	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 c	0,0 b
15-20	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 c	0,0 b
20-25	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 c	0,0 b
25-30	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 c	0,0 b
F Precipitao (C)	55,73 **			1256,73 **		
Profundidade (P)	1215,85 **			18139,9 **		
CxP	81,91 **			1206,56 **		
CV (%)	15,46			3,99		
d.m.s. (C)	2,35			0,68		
d.m.s. (P)	5,0			1,46		

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05). **significativo a 1% de probabilidade.

Para a planta bioindicadora de sorgo o estudo não foi favorável, já que em nenhum dos acumulados estudados e avaliações realizadas registrou-se sintomas de injúrias nas plantas causadas pelo herbicida metribuzim.

Os resultados encontrados para as plantas bioindicadoras estudadas nesse tipo de solo demonstraram, que dentre as quatro espécies bioindicadoras estudadas, apenas o sorgo não mostrou-se adequado para o estudo, pois não foi possível observar os sintomas de intoxicação pelo herbicida metribuzin em nenhuma das profundidades analisadas.

4.3. sulfentrazone

Registra-se na Tabela 11 os dados de intoxicação quando utilizou-se o pepino como planta bioindicadora. Ao 5 DAS nota-se que o sulfentrazone atingiu a camada de 9-12 cm de profundidade do perfil do solo sob uma precipitação de 50 mm; já sob um acúmulo de precipitação de 91 e 131 mm os sintomas de fitointoxicação visual do herbicida manifestou-se até a camada 3-6 cm de profundidade do perfil do solo. Nas avaliações realizadas aos 7 e 9 DAS, evidenciam um aumento da intoxicação do herbicida, em todas as precipitações estudadas e, que o herbicida manteve-se nas mesmas camadas de profundidade do perfil do solo observadas na avaliação de 5 DAS. Na avaliação de 11 DAS nota-se um aumento dos sintomas de injúrias em todos os acumulados de chuvas estudados, sendo que nos acumulados de 50 e 91 mm o herbicida manteve-se nas mesmas profundidades do perfil do solo relatadas na avaliação de 5 DAS, porém apresentou sintomas de injúrias visuais mais acentuados. No acumulado de 131 mm verifica-se uma maior lixiviação do herbicida, sendo que os sintomas de intoxicação foram observados até a camada de 12-15cm do perfil do solo.

Esses resultados colaboram os dados encontrados por Santana (2012), que ao estudar o potencial de lixiviação do herbicida sulfentrazone em um solo de textura média arenosa, utilizando também como planta bioindicadora o pepino, observou que

os efeitos de intoxicação do herbicida foram aumentando com o passar das avaliações e, que os sintomas foram registrados até a camada 12-15 cm na avaliação de 12 DAS.

Em alguns estudos realizados por Grey et al.(1997), nos quais analisaram a sorção do herbicida sulfentrazone, observaram que esta é influenciada pelo pH do solo, sendo que a sorção tende a diminuir em resposta a um aumento do pH, especialmente quando os valores excedem o pKa do herbicida (6,56) passando a predominar a forma ionizada, ou seja, a mobilidade é refletida pela adsorção do herbicida no solo.

Rossi et al. (2005b), ao estudar a mobilidade do sulfentrazone em dois tipos de solo, verificaram um aumento na lixiviação do produto no perfil do solo Chernossolo, no qual foi possível observar sintomas de injúrias ao longo do perfil, principalmente sob 90 mm de precipitação no qual o sulfentrazone apresentou efeito sobre as plântulas da espécie bioindicadora, sendo que esse efeito estendeu-se até 17,5 cm de profundidade.

Tabela 11. Porcentagem de intoxicação em plantas de pepino após a aplicação do herbicida sulfentrazone (600 g i.a. ha⁻¹) em diferentes épocas de avaliação, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interação entre precipitação e profundidade. Guatapar/SP, 2016.

Profundidade (cm)	Precipitação acumulada					
	5 DAS			7 DAS		
	50 mm	91 mm	131 mm	50 mm	91 mm	131 mm
0-3	63,8 aB	87,0 aA	29,5 aC	80,8 aA	89,5 aA	45,0 aC
3-6	63,8 aA	42,5 bB	29,5 aC	77,8 aA	57,5 bB	42,5 aC
6-9	62,5 aA	0,0 cB	0,0 bB	76,0 aA	0,0 cB	0,0 bB
9-12	55,0 aA	0,0 cB	0,0 bB	72,5 aA	0,0 cB	0,0 bB
12-15	0,0 bA	0,0 cA	0,0 bA	0,0 bA	0,0 cA	0,0 bA
15-20	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 B	0,0 c	0,0 b
20-25	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 B	0,0 c	0,0 b
25-30	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 B	0,0 c	0,0 b
F Precipitação (C)	141,24 **			304,91 **		
Profundidade (P)	209,66 **			471,48 **		
CxP	42,91 **			79,37 **		
CV (%)	30,93			20,37		
d.m.s. (C)	3,34			2,75		
d.m.s. (P)	7,12			5,85		

Medias seguidas da mesma letra minuscula na coluna e maiuscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05). **significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 11. Continuação ...

Profundidade (cm)	Precipitação acumulada					
	9 DAS			11 DAS		
	50 mm	91 mm	131 mm	50 mm	91 mm	131 mm
0-3	92,0 aA	95,3 aA	61,3 aB	95,5 aA	98,2 aA	91,2 aA
3-6	90,8 aA	67,0 bB	53,3 aC	94,2 aA	72,5 bB	86,5 aA
6-9	86,3 aA	0,0 cB	0,0 bB	91,3 aA	0,0 cB	78,3 aA
9-12	87,5 aA	0,0 cB	0,0 bB	92,5 aA	0,0 cC	48,8 bB
12-15	0,0 bA	0,0 cA	0,0 bA	0,0 bB	0,0 cB	27,5 cA
15-20	0,0 bA	0,0 cA	0,0 bA	0,0 bA	0,0 cA	0,0 dA
20-25	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 b	0,0 c	0,0 d
25-30	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 b	0,0 c	0,0 d
F Precipitação (C)	401,6 **			97,13 **		
Profundidade (P)	663,42 **			318,3 **		
CxP	103,08 **			34,11 **		
CV (%)	17,14			21,05		
d.m.s. (C)	2,7			4,59		
d.m.s. (P)	5,76			9,79		

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ($p>0,05$). **significativo a 1% de probabilidade.

Nota-se nas avaliações de 5 e 7 DAS, quando utilizou-se alface como planta bioindicadora, que o herbicida sulfentrazone atingiu a camada de 6-9cm de profundidade sob o acumulado de 50 mm de precipitação; já no acumulado de 91mm e 131mm os sintomas de injúrias visuais foram observados até a camada 3-6 cm de profundidade (Tabela 12). Nas avaliações posteriores 9 e 11 DAS, notou-se que as injúrias visuais permaneceram nas mesmas camadas do perfil do solo observadas nas avaliações de 5 e 7 DAS, sendo que para o acumulado de 50mm a profundidade de 6-9cm e nos acumulados de 91 e 131mm registrou-se os sintomas até a camada de 3-6cm, nota-se ainda, que os sintomas de intoxicação acentuaram-se no decorrer das avaliações, proporcionando no acumulado de 50mm a morte das plantas de alface (100%) na camada superficial do solo (0-3cm) no último período avaliado (Tabela 12).

Esses dados confirmam a capacidade de mobilidade do sulfentrazone, mesmo que a espécie bioindicadora (alface) responda de forma diferencial de outra espécie (pepino), para o solo estudado. Apesar de apresentar sintomas de intoxicação mais acentuados, os mesmos foram observados apenas nas camadas mais superficiais do

solo, não representando, aparentemente, risco de lixiviação para camadas mais profundas do solo, nas condições experimentais observadas. No entanto, deve-se ressaltar que o seu uso prolongado como em áreas de cana-de-açúcar pode modificar o seu comportamento, podendo alcançar maiores profundidades no perfil do solo (Vivian et al., 2006).

No estudo conduzido por Santana (2012), em um solo de textura média arenosa, notou-se que os sintomas de intoxicação nas plantas de alface restringiram a camada de 6-9 para o acumulado de 36mm e nos acumulados de 65 e 116 mm foram observados até a camada de 3-6cm, sendo que na última avaliação 12 DAS, as injúrias chegaram a causar morte da planta bioindicadora, no acumulado de 36mm até a camada 3-6cm e, nas demais precipitações os sintomas visuais foram maiores que 98 % até a camada de 3-6cm.

Tabela 12. Porcentagem de intoxicação em plantas de alface após a aplicação do herbicida sulfentrazone (600 g i.a. ha⁻¹) em diferentes épocas de avaliação, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interação entre precipitação e profundidade. Guatapar/SP, 2016.

Profundidade (cm)	Precipitao acumulada					
	5 DAS			7 DAS		
	50 mm	91 mm	131 mm	50 mm	91 mm	131 mm
0-3	67,5 aB	87,0 aA	30,0 aC	86,5 aA	91,7 aA	55,0 aB
3-6	46,3 bA	27,5 bB	30,0 aB	67,8 bA	52,5 bB	43,8 aB
6-9	42,0 bA	0,0 cB	0,0 bB	60,0 bA	0,0 cB	0,0 bB
9-12	0,0 cA	0,0 cA	0,0 bA	0,0 cA	0,0 cA	0,0 bA
12-15	0,0 c	0,0 c	0,0 b	0,0 C	0,0 c	0,0 b
15-20	0,0 c	0,0 c	0,0 b	0,0 C	0,0 c	0,0 b
20-25	0,0 c	0,0 c	0,0 b	0,0 C	0,0 c	0,0 b
25-30	0,0 c	0,0 c	0,0 b	0,0 C	0,0 c	0,0 b
F Precipitao (C)	13,91 **			38,34 **		
Profundidade (P)	75,65 **			253,58 **		
CxP	8,56 **			17,08 **		
CV (%)	66,17			34,87		
d.m.s. (C)	5,44			3,97		
d.m.s. (P)	11,6			8,46		

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05). **significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 12. Continuao ...

Profundidade (cm)	Precipitao acumulada					
	9 DAS			11 DAS		
	50 mm	91 mm	131 mm	50 mm	91 mm	131 mm
0-3	92,5 aA	91,8 aA	73,3 aB	100,0 aA	95,7 aA	75,0 aB
3-6	82,5 aA	68,8 bB	62,5 aB	92,5 aA	78,5 bB	73,0 aB
6-9	66,8 bA	0,0 cB	0,0 bB	71,3 bA	0,0 cB	0,0 bB
9-12	0,0 cA	0,0 cA	0,0 bA	0,0 cA	0,0 cA	0,0 bA
12-15	0,0 c	0,0 c	0,0 b	0,0 C	0,0 c	0,0 b
15-20	0,0 c	0,0 c	0,0 b	0,0 C	0,0 c	0,0 b
20-25	0,0 c	0,0 c	0,0 b	0,0 C	0,0 c	0,0 b
25-30	0,0 c	0,0 c	0,0 b	0,0 C	0,0 c	0,0 b
F Precipitao (C)	43,51 **			63,93 **		
Profundidade (P)	432,72 **			648,31 **		
CxP	21,42 **			31,25 **		
CV (%)	26,51			21,63		
d.m.s. (C)	3,55			3,16		
d.m.s. (P)	7,57			6,73		

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05). **significativo a 1% de probabilidade.

Verifica-se que a lixiviação do herbicida sulfentrazone quando utilizou-se capim-marmelada, como bioindicadora nas avaliações de 5 e 7 DAS para o acumulado de 50mm de chuvas, restringiu-se na camada 9-12cm de profundidade sendo que até a camada 3-6cm foram observados sintomas severos de intoxicação, o que ocasionou a morte da planta bioindicadora (Tabela 13).

No acumulado de 91mm, os sintomas foram notados até a camada 3-6cm e no acumulado de 131mm esses sintomas foram observados até a camada de 6-9cm. Nas demais avaliações 9 e 11 DAS os sintomas de intoxicação observados permaneceram nas mesmas profundidades observadas anteriormente, tendo um sintomas mais acentuado de intoxicação pelo herbicida sulfentrazone (Tabela 13).

Tabela 13. Porcentagem de intoxicação em plantas de Capim marmelada após a aplicação do herbicida sulfentrazone (600 g i.a. ha⁻¹) em diferentes épocas de avaliação, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interação entre precipitação e profundidade. Guatapar/SP, 2016.

Profundidade (cm)	Precipitao acumulada					
	5 DAS			7 DAS		
	50 mm	91 mm	131 mm	50 mm	91 mm	131 mm
0-3	100,0 aA	97,0 aA	70,5 aB	100,0 aA	98,2 aA	83,0 aB
3-6	100,0 aA	88,0 aB	70,5 aC	100,0 aA	91,2 aA	80,0 aB
6-9	87,5 bA	0,0 bC	70,0 aB	88,8 aA	0,0 bB	79,0 aA
9-12	6,8 cA	0,0 bA	0,0 bA	27,5 bA	0,0 bB	0,0 bB
12-15	0,0 cA	0,0 bA	0,0 bA	0,0 cA	0,0 bA	0,0 bA
15-20	0,0 c	0,0 b	0,0 b	0,0 C	0,0 b	0,0 b
20-25	0,0 c	0,0 b	0,0 b	0,0 C	0,0 b	0,0 b
25-30	0,0 c	0,0 b	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 b
F Precipitao (C)	60,01 **			53,89 **		
Profundidade (P)	727,74 **			565,34 **		
CxP	47,08 **			34,96 **		
CV (%)	18,11			19,68		
d.m.s. (C)	3,11			3,67		
d.m.s. (P)	6,63			7,81		

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05). **significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 13. Continuao ...

Profundidade (cm)	Precipitao acumulada					
	9 DAS			11 DAS		
	50 mm	91 mm	131 mm	50 mm	91 mm	131 mm
0-3	100,0 aA	99,5 aA	90,0 aA	100,0 aA	99,5 aA	97,0 aA
3-6	100,0 aA	95,0 aA	90,0 aA	100,0 aA	96,0 aA	96,7 aA
6-9	92,0 aA	0,0 bB	84,3 aA	95,0 aA	0,0 bB	96,0 aA
9-12	43,8 bA	0,0 bB	0,0 bB	50,5 bA	0,0 bB	0,0 bB
12-15	0,0 cA	0,0 bA	0,0 bA	0,0 cA	0,0 bA	0,0 bA
15-20	0,0 c	0,0 b	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 b
20-25	0,0 c	0,0 b	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 b
25-30	0,0 c	0,0 b	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 b
F Precipitao (C)	48,74 **			52,73 **		
Profundidade (P)	443,34 **			441,6 **		
CxP	29,87 **			33,32 **		
CV (%)	21,6			21,32		
d.m.s. (C)	4,27			4,41		
d.m.s. (P)	9,11			9,4		

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05). **significativo a 1% de probabilidade.

Os resultados da porcentagem de intoxicação visual registradas para as plantas de sorgo encontram-se apresentados na Tabela 14. Aos 5 e 7DAS, nota-se que o herbicida sulfentrazone atingiu a camada de 6-9cm de profundidade para os três acumulados estudados, 50, 91 e 131mm, sendo que nos acumulados de 91 e 131mm, na camada superficial (0-3cm), os sintomas de injúrias foram mais severos quando comparados ao acumulado de 50mm, apresentando porcentagem de controle sob a planta bioindicadora acima de 80 %. Nas demais avaliação de 9 e 11 DAS (Tabela 14) observa-se que não houve efeito das diferentes precipitações pluviométricas estudadas; já no fator profundidade encontrou-se efeito em todos os períodos analisados, porém quando se analisa a interação entre os fatores nas duas épocas avaliadas, 9 e 11 DAS, observa-se que os valores encontrados não foram significativos.

Tabela 14. Porcentagem de intoxicação em plantas de sorgo após a aplicação do herbicida sulfentrazone (600 g i.a. ha⁻¹) em diferentes épocas de avaliação, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interação entre precipitação e profundidade. Guatapar/SP, 2016.

Profundidade (cm)	Precipitação acumulada					
	5 DAS			7 DAS		
	50 mm	91 mm	131 mm	50 mm	91 mm	131 mm
0-3	58,8 aB	85,0 aA	82,5 aA	75,0 aB	95,0 aA	95,0 aA
3-6	51,3 aA	46,3 bAB	32,5 bB	81,3 aA	77,2 bA	76,3 bA
6-9	20,5 bB	36,3 bA	26,3 bAB	43,8 bB	66,3 bA	65,0 bA
9-12	0,0 cA	0,0 cA	0,0 cA	0,0 cA	0,0 cA	0,0 cA
12-15	0,0 c	0,0 c	0,0 c	0,0 C	0,0 c	0,0 c
15-20	0,0 c	0,0 c	0,0 c	0,0 C	0,0 c	0,0 c
20-25	0,0 c	0,0 c	0,0 c	0,0 C	0,0 c	0,0 c
25-30	0,0 c	0,0 c	0,0 c	0,0 C	0,0 c	0,0 c
F Precipitação (C)	2,14 NS			4,13 *		
Profundidade (P)	114,22 **			331,56 **		
CxP	2,17 *			2,42 **		
CV (%)	50,31			26,83		
d.m.s. (C)	5,5			4,41		
d.m.s. (P)	11,73			9,61		

Medias seguidas da mesma letra minuscula na coluna nao diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05).

**significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} nao significativo.

Tabela 14. Porcentagem de intoxicação em plantas de sorgo após a aplicação do herbicida sulfentrazone (600 g i.a. ha⁻¹) em diferentes épocas de avaliação, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis principais (precipitação e profundidade). Guatapar/SP, 2016.

Condio	Dias após a semeadura			
	5	7	9	11
Precipitao (C)				
(mm)				
50	16,3	25,0 b	29,0	29,8
91	20,9	29,8 a	30,3	30,9
131	17,6	29,5 a	31,2	31,7
Profundidade (P)				
(cm)				
0-3	75,4 a	83,3 a	92,5 A	95,4 a
3-6	43,3 b	78,3 b	81,2 B	83,3 b
6-9	27,6 c	58,3 c	67,9 C	67,9 c
9-12	0,0 d	0,0 d	0,0 D	0,0 d
12-15	0,0 d	0,0 d	0,0 D	0,0 d
15-20	0,0 d	0,0 d	0,0 D	0,0 d
20-25	0,0 d	0,0 d	0,0 D	0,0 d
25-30	0,0 d	0,0 d	0,0 D	0,0 d
F Precipitao (C)	2,14 ^{ns}	4,13 [*]	0,57 ^{ns}	0,55 ^{ns}
Profundidade (P)	114,22 ^{**}	331,56 ^{**}	316,54 ^{**}	435,53 ^{**}
CxP	2,17 [*]	2,42 ^{**}	1,6 ^{ns}	1,75 ^{ns}
CV (%)	50,31	26,83	27,2	23,24
d.m.s. (C)	5,5	4,41	4,91	4,28
d.m.s. (P)	11,73	9,61	10,47	9,13

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05). **significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Ressalta-se, quanto as diferentes espécies de plantas bioindicadoras estudadas, no tipo de solo trabalhado, as quatro espécies mostraram-se adequadas para o estudo com o herbicida sulfentrazone, pois permitiu ver injúrias e conseqüentemente o potencial de lixiviao do herbicida. Os resultados mostraram que o sulfentrazone apresenta um potencial de lixiviao consideravelmente alto, já que foi possível verificar sintomas intoxicao no perfil do solo até a profundidade de 12-15 cm.

4.4. tebuthiuron

A partir da avaliação de intoxicação visual registrada nas plantas de pepino (Tabela 15), pode-se notar que o herbicida tebuthiuron apresentou um pequeno potencial de lixiviação sob os três diferentes acúmulos de precipitações. Nota-se que na avaliação de 5 DAS no acumulado de 50 mm não observou-se sintomas visuais de intoxicação causados pela molécula na planta bioindicadora. Já no acumulado de 91 mm os sintomas concentraram-se apenas na camada superficial do solo (0-3cm) enquanto que, no acumulado de 131mm pode-se notar as injúrias visuais até a camada 3-6cm do perfil do solo. Na avaliação de 7 DAS, na precipitação estudada de 50 mm observa-se sintomas de injúrias na camada de 0-3cm, nos demais acumulados os sintomas mantiveram-se nas mesmas camadas verificadas na avaliação anterior, porém apresentando sintomas mais acentuados de intoxicação.

Nas avaliações de 9 e 11 DAS (Tabela 15), os sintomas visuais de injúrias permaneceram nas mesmas camadas do perfil do solo das avaliações anteriores, porém com um incremento dos sintomas causados pelo tebuthiuron.

Tabela 15. Porcentagem de intoxicação em plantas de pepino após a aplicação do herbicida tebuthiuron (1.000 g i.a. ha⁻¹) em diferentes épocas de avaliação, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interação entre precipitação e profundidade. Guatapar/SP, 2016.

Profundidade (cm)	Precipitação acumulada					
	5 DAS			7 DAS		
	50 mm	91 mm	131 mm	50 mm	91 mm	131 mm
0-3	0,0 aB	38,8 aA	36,3 aA	53,5 aB	59,5 aA	53,8 aB
3-6	0,0 Ab	0,0 bB	28,8 bA	0,0 bC	53,7 aA	47,5 aB
6-9	0,0 aA	0,0 bA	0,0 cA	0,0 bA	0,0 bA	0,0 bA
9-12	0,0 a	0,0 B	0,0 c	0,0 B	0,0 b	0,0 b
12-15	0,0 a	0,0 B	0,0 c	0,0 B	0,0 b	0,0 b
15-20	0,0 a	0,0 B	0,0 c	0,0 B	0,0 b	0,0 b
20-25	0,0 a	0,0 B	0,0 c	0,0 B	0,0 b	0,0 b
25-30	0,0 a	0,0 B	0,0 c	0,0 B	0,0 b	0,0 b
F Precipitação (C)	125,69 **			49,64 **		
Profundidade (P)	228,66 **			550,45 **		
CxP	8224 **			42,63 **		
CV (%)	47,70			28,40		
d.m.s. (C)	1,23			1,89		
d.m.s. (P)	2,62			4,04		

Medias seguidas da mesma letra minuscula na coluna e maiuscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05). **significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 15. Continuação ...

Profundidade (cm)	Precipitação acumulada					
	9 DAS			11 DAS		
	50 mm	91 mm	131 mm	50 mm	91 mm	131 mm
0-3	58,7 aC	78,2 aA	66,2 aB	68,7 aC	93,2 aA	75,0 aB
3-6	53,7 aB	67,0 bA	63,7 aA	63,2 aC	77,5 bA	70,5 aB
6-9	0,0 bA	0,0 cA	0,0 bA	0,0 bA	0,0 cA	0,0 bA
9-12	0,0 b	0,0 C	0,0 b	0,0 B	0,0 c	0,0 b
12-15	0,0 b	0,0 C	0,0 b	0,0 B	0,0 c	0,0 b
15-20	0,0 b	0,0 C	0,0 b	0,0 B	0,0 c	0,0 b
20-25	0,0 b	0,0 C	0,0 b	0,0 B	0,0 c	0,0 b
25-30	0,0 b	0,0 C	0,0 b	0,0 B	0,0 c	0,0 b
F Precipitação (C)	16,34 **			30,53 **		
Profundidade (P)	1310,76 **			2274,83 **		
CxP	7,71 **			14,83 **		
CV (%)	17,74			13,47		
d.m.s. (C)	1,71			1,5		
d.m.s. (P)	3,65			3,2		

Medias seguidas da mesma letra minuscula na coluna e maiuscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05). **significativo a 1% de probabilidade.

Esses resultados demonstram que o potencial de lixiviação de um herbicida está correlacionado com o tipo de solo em questão estudado, havendo assim uma diferença na dinâmica da molécula dependendo das características químicas físicas do solo no qual irá utilizar. Dados encontrados por Santana (2012), ao estudar o potencial de lixiviação do tebuthiuron, utilizando-se a mesma planta bioindicadora em um solo de textura arenosa média, obteve respostas diferentes aos resultados encontrados neste estudo, sendo que na sua pesquisa o herbicida lixiviou por uma profundidade maior, atingindo a camada de 12-15 cm.

Em um estudo realizado por Emmerich (1985), constatou-se que mais de 70 % do herbicida tebuthiuron aplicado ficou retido a menos de 30 cm do perfil do solo e/ou foi degradado por meio de fatores bióticos do ambiente. Deve-se ressaltar que a movimentação do tebuthiuron torna-se necessária para que as raízes das plantas entrem em contato com a molécula para realizar a absorção do herbicida, porém essa pequena movimentação do produto no solo, torna o tebuthiuron um herbicida praticamente improvável de contaminar águas subterrâneas.

Na Tabela 16 nota-se os sintomas de intoxicação causados pelo tebuthiuron quando utilizou-se a alface como planta bioindicadora. Nas avaliações de 5 e 7 DAS observa-se que na precipitação de 50 e 131mm o herbicida ocasionou sintomas de injúrias visuais até a camada 6-9cm, já no acumulado de 91mm os sintomas foram observados até a camada 3-6cm. Nas demais avaliações 9 e 11 DAS a intoxicação manteve-se nas mesma profundidade em cada acumulado de chuva estudado, sendo que na última avaliação registraram-se sintomas bem acentuados de tebuthiuron no acumulado de 131mm, acima de 90 % até a camada de 6-9cm.

Tabela 16. Porcentagem de intoxicação em plantas de alface após a aplicação do herbicida tebuthiuron (1.000 g i.a. ha⁻¹) em diferentes épocas de avaliação, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interação entre precipitação e profundidade. Guatapará/SP, 2016.

Profundidade (cm)	Precipitação acumulada					
	5 DAS			7 DAS		
	50 mm	91 mm	131 mm	50 mm	91 mm	131 mm
0-3	100,0 aA	48,8 aC	73,8 aB	100,0 aA	66,2 aC	82,8 aB
3-6	57,5 bB	45,0 aC	77,8 aA	68,8 bB	65,0 aB	85,8 aA
6-9	48,8 bB	0,0 bC	73,8 aA	63,8 bB	0,0 bC	82,8 aA
9-12	0,0 cA	0,0 bA	0,0 bA	0,0 cA	0,0 bA	0,0 bA
12-15	0,0 c	0,0 b	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 b
15-20	0,0 c	0,0 b	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 b
20-25	0,0 c	0,0 b	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 b
25-30	0,0 c	0,0 b	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 b
F Precipitação (C)	85,75 **			94,68 **		
Profundidade (P)	404,28 **			730,21 **		
CxP	33,08 **			45,83 **		
CV (%)	24,79			18,3		
d.m.s. (C)	3,24			2,8		
d.m.s. (P)	6,91			5,97		

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05). **significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 16. Continuação ...

Profundidade (cm)	Precipitação acumulada					
	9 DAS			11 DAS		
	50 mm	91 mm	131 mm	50 mm	91 mm	131 mm
0-3	100,0 aA	76,3 aB	94,5 aA	100,0 aA	87,7 aB	98,8 aA
3-6	75,0 bB	80,5 aB	91,3 aA	83,7 bB	88,7 aB	99,0 aA
6-9	75,0 bB	0,0 bC	94,0 aA	88,8 bB	0,0 bC	98,0 aA
9-12	0,0 cA	0,0 bA	0,0 bA	0,0 cA	0,0 bA	0,0 bA
12-15	0,0 c	0,0 b	0,0 b	0,0 C	0,0 b	0,0 b
15-20	0,0 c	0,0 b	0,0 b	0,0 C	0,0 b	0,0 b
20-25	0,0 c	0,0 b	0,0 b	0,0 C	0,0 b	0,0 b
25-30	0,0 c	0,0 b	0,0 b	0,0 C	0,0 b	0,0 b
F Precipitação (C)	175,76 **			161,33 **		
Profundidade (P)	1688,34 **			1866,07 **		
CxP	106,26 **			116,91 **		
CV (%)	11,96			11,34		
d.m.s. (C)	2,04			2,1		
d.m.s. (P)	4,36			4,48		

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05). **significativo a 1% de probabilidade.

Esses dados condizem com os resultados encontrados por Cerdeira et al., (2005), no qual concluíram que a mobilidade da molécula tebuthiuron concentra-se na camada de até 12cm nas precipitações estudadas devido ao baixo potencial de lixiviação. Nos estudos realizados as amostras de águas subterrâneas foram coletadas no período de 1996 a 2003 e os resultados revelaram que o tebuthiuron não estava presente nas amostras. Esses mesmos pesquisadores em 2007 ao analisarem amostras de solos coletadas durante os anos de 2004 e 2005 da superfície do solo até 120 cm de profundidade, constataram que aos 180 dias após a aplicação da molécula não havia resíduos mensuráveis no solo, sendo que a molécula não foi encontrada em profundidades abaixo de 40 cm em nenhum momento do estudo.

Os dados da Tabela 17 permitem observar que o herbicida tebuthiuron atingiu a mesma camada (3-6cm) em todos os acumulados analisados independente da época avaliada, quando utilizou-se como planta bioindicadora o capim marmelada. Pode-se, ainda, observar que os sintomas visuais de injúrias aparecerem desde a primeira avaliação (5DAS) tornando-se mais acentuados nas demais avaliações 7, 9 e 11DAS, sendo que na última avaliação os sintomas de intoxicação passaram dos 95 % na camada mais superficial do solo (0-3cm).

Tabela 17. Porcentagem de intoxicação em plantas de Capim-marmelada após a aplicação do herbicida tebuthiuron (1.000 g i.a. ha⁻¹) em diferentes épocas de avaliação, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade da interação entre precipitação e profundidade. Guatapar/SP, 2016.

Profundidade (cm)	Precipitao acumulada					
	5 DAS			7 DAS		
	50 mm	91 mm	131 mm	50 mm	91 mm	131 mm
0-3	45,0 aB	67,5 aA	76,3 aA	63,3 aC	76,2 aB	90,8 aA
3-6	41,3 aC	67,5 aB	86,0 aA	61,3 aC	76,2 aB	95,8 aA
6-9	0,0 bA	0,0 bA	0,0 bA	0,0 bA	0,0 bA	0,0 bA
9-12	0,0 b	0,0 B	0,0 b	0,0 B	0,0 b	0,0 b
12-15	0,0 b	0,0 B	0,0 b	0,0 B	0,0 b	0,0 b
15-20	0,0 b	0,0 B	0,0 b	0,0 B	0,0 b	0,0 b
20-25	0,0 b	0,0 B	0,0 b	0,0 B	0,0 b	0,0 b
25-30	0,0 b	0,0 B	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 b
F Precipitao (C)	27,04 **			17,65 **		
Profundidade (P)	383,39 **			561,87 **		
CxP	12,1 **			7,7 **		
CV (%)	32,76			27,06		
d.m.s. (C)	3,13			3,12		
d.m.s. (P)	6,67			6,66		

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05). **significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 17. Continuao ...

Profundidade (cm)	Precipitao acumulada					
	9 DAS			11 DAS		
	50 mm	91 mm	131 mm	50 mm	91 mm	131 mm
0-3	83,2 aB	88,2 aAB	92,5 aA	98,7 aA	98,5 aA	99,0 aA
3-6	74,7 aC	88,2 aB	97,5 aA	86,2 bB	98,7 aA	99,2 aA
6-9	92,0 bA	0,0 bA	0,0 bA	0,0 cA	0,0 bA	0,0 bA
9-12	43,8 b	0,0 b	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 b
12-15	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 b
15-20	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 b
20-25	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 b
25-30	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,0 c	0,0 b	0,0 b
F Precipitao (C)	6,3 **			6,2 **		
Profundidade (P)	959,24 **			5487,43 **		
CxP	3,35 **			6,19 **		
CV (%)	20,71			8,66		
d.m.s. (C)	2,7			1,25		
d.m.s. (P)	5,76			2,67		

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05). **significativo a 1% de probabilidade.

Verifica-se na Tabela 18, para as plantas de sorgo utilizadas como bioindicadora, que não houve efeito das diferentes precipitações pluviométricas estudadas em nenhuma das épocas avaliadas, sendo que houve efeito da profundidade em todos os períodos analisado, além de não registrar interação entre os fatores precipitação e profundidade em nenhum dos acumulados pluviométricos estudados. Esses dados sugerem que as plantas de sorgo não demonstrar a presença do residual do herbicida tebuthiuron no solo, demonstrando assim não ser uma boa bioindicadora para avaliar a mobilidade do herbicida tebuthiuron no perfil do solo.

Tabela 18. Porcentagem de intoxicação em plantas de sorgo após a aplicação do herbicida tebuthiuron (1.000 g i.a. ha⁻¹) em diferentes épocas de avaliação, obtidos no desdobramento dos graus de liberdade das variáveis principais (precipitação e profundidade). Guatapar/SP, 2016.

Condição	Dias após a semeadura			
	5	7	9	11
Precipitação (C)				
(mm)				
50	7,3	8,1	8,2	7,9
91	9,6	10,9	11,0	11,0
131	8,9	9,6	9,6	9,3
Profundidade (P)				
(cm)				
0-3	69,1 a	76,6 a	77,5 A	75,8 a
3-6	0,0 b	0,0 b	0,0 B	0,0 b
6-9	0,0 b	0,0 b	0,0 B	0,0 b
9-12	0,0 b	0,0 b	0,0 B	0,0 b
12-15	0,0 b	0,0 b	0,0 B	0,0 b
15-20	0,0 b	0,0 b	0,0 B	0,0 b
20-25	0,0 b	0,0 b	0,0 B	0,0 b
25-30	0,0 b	0,0 b	0,0 B	0,0 b
F Precipitação (C)	1,31 ^{ns}	1,41 ^{ns}	1,36 ^{ns}	1,29 ^{ns}
Profundidade (P)	205,67 **	195,32 **	192,91 **	141,56 **
CxP	1,31 ^{ns}	1,41 ^{ns}	1,36 ^{ns}	1,29 ^{ns}
CV (%)	68,32	70,01	70,54	82,35
d.m.s. (C)	3,53	4,01	4,08	4,67
d.m.s. (P)	7,52	8,56	8,7	9,94

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p>0,05). **significativo a 1% de probabilidade. ; ^{ns} não significativo.

Este dados colaboram como os resultados encontrados por Santana (2012), que ao analisar o potencial de lixiviação de herbicida tebuthiuron em dois tipos de solo, verificou que em solo de textura média utilizando-se plantas de sorgo como bioindicadora, não encontrou interação entre os fatores precipitação e profundidade nas avaliações realizadas, demonstrando que as porcentagens de fitointoxicação avaliadas nas plantas de sorgo não foram suficientes para definir claramente a mobilidade do herbicida tebuthiuron no solo.

Esses resultados corroboram ainda com os dados encontrados por Eaton (1978), Lorenzi (1984), Blanco & Lorenzi (1984) e Bovey et al. (1992), em que resíduos de tebuthiuron, em colunas de lixiviação, apresentaram pequena movimentação no solo, sendo encontrados em profundidades não superiores a 30 cm, tanto em solos argilosos como em arenosos.

Em um estudo realizado por Souza, et al.(2008), ao analisar o comportamento do herbicida tebuthiuron em solo com cultivo de cana-de-açúcar, considerando um solo indeformado, demonstraram que cerca de 24 % do produto atingiu 30 cm de profundidade e apenas 5,2% alcançou 52cm no período de 180 dias, demonstrando assim que mais de 70 % do produto aplicado teria ficado retido a menos de 30cm de profundidade e/ou é degradado por meios de fatores, principalmente bióticos do ambiente.

Os resultados ainda estão de acordo com aqueles observados por Boeira & Dornelas de Souza (2005), em que o movimento desse herbicida não ultrapassou 20 e 10 cm de profundidade respectivamente em solos de textura média e argilosa.

Diante das informações apresentadas utilizando as quatro espécies bioindicadoras, pode-se sugerir que a molécula tebuthiuron caracterizou-se por apresentar uma mobilidade restrita até a profundidade de no máximo 6-9 cm no perfil do solo testado, sob as três precipitações acumuladas.

Ressalta que, dentro das plantas utilizadas como bioindicadoras (alface, pepino, capim marmelada e sorgo) neste ensaio, apenas o sorgo não seria indicado para o analisar o potencial de lixiviação do herbicida tebutiuron, pois não foi observada nenhuma interação entre os fatores de precipitação e profundidade do solo no presente estudo.

5. CONCLUSÕES

As resposta das espécies bioindicadora ao residual de cada herbicida utilizado foi variável, mostrando-se dependente da precipitação pluvial e do tipo de herbicida utilizado.

A lixiviação do S-metolachlor no solo estudado foi dependente da quantidade de precipitação recebida e a máxima profundidade visual detectada foi de 12- 15cm com 131mm, sendo o pepino a espécie mais sensível a presença do herbicida no solo.

No caso do metribuzin, o processo de lixiviação, também foi dependente da quantidade de precipitação recebida para as plantas bioindicadoras pepino, alface e capim-marmelada, sendo os sintomas visualizados até a camada 9-12cm, no caso da bioindicadora sorgo a utilização da espécie não mostrou-se adequada para visualização dos sintomas de injúrias visuais causados pela molécula nas camadas do perfil do solo analisadas.

A lixiviação do sulfentrazone mostrou-se dependente dos acumulados de chuva recebidos, sendo os sintomas de intoxicação visualizados até a camada 9-12 cm no perfil do solo, no caso do pepino e capim-marmelada.

A lixiviação do tebuthiuron foi dependente da quantidade de precipitação recebida para as plantas bioindicadoras utilizadas apenas o sorgo não seria indicada para visualização dos sintomas de intoxicação causados pelo herbicida no perfil do solo.

Os dados apresentados nesse estudo demonstram a necessidade de um melhor conhecimento das moléculas de herbicidas, levando em consideração sua movimentação, residual no solo, época de aplicação e pluviosidade, considerando principalmente as características físico-químicas do solo e do produto, a fim de evitar possíveis falhas no controle das plantas daninhas e contaminação de águas subterrâneas.

6.0. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A lixiviação dos herbicidas é influenciada por processo de natureza física, química e biológica, sendo que as características dos diversos solos e sistemas de preparo são fundamentais para entender o potencial de lixiviação das moléculas no solo. Sabe-se que o processo de lixiviação é essencial no controle de plantas daninhas, pois os herbicidas aplicados em pré-emergência necessitam de chuva/ou irrigação para atingirem as sementes das plantas daninhas que encontram-se na grande maioria nos cinco primeiros centímetros iniciais do perfil do solo.

Entender o processo de lixiviação de cada herbicida n o perfil de diferentes texturas de solo, em função dos diferentes intervalos de chuva, sob condições reais de campo e com a utilização de diferentes plantas bioindicadoras torna-se essencial para compreendermos a dinâmica de movimentação dos herbicidas no perfil do solo auxiliando a entender as perdas dessas moléculas por esse processo, relacionando assim possíveis falhas na eficiência de controle desses produtos e a possibilidade de degradação do meio ambiente, devido principalmente a contaminação de águas subterrâneas.

Os dados apresentados por este estudo podem auxiliar nas recomendações mais exatas quanto as doses de herbicidas a serem aplicadas, levando em consideração sua movimentação e residual dependendo do tipo de solo em questão.

Também revelam a necessidade de aprimorar os critérios de uso de herbicidas aplicados em pré-emergência, em razão do potencial de lixiviação no solo, e no caso da cultura da cana-de-açúcar deve-se ainda ter mais atenção visto que há complicações decorrentes da época (seca, úmida, semi-úmida, semi-seca) e número de aplicações. Exemplificando, herbicidas como metribuzim e S-metolachlor que têm seu uso recomendado para épocas de maior umidade, provaram ter maior potencial de lixiviação neste e em outros trabalhos da literatura, sendo necessário critério em seus posicionamentos, levando em consideração principalmente as características físico-química do solo, a fim de evitar possíveis falhas de controle e contaminação de águas subterrâneas.

7.0 REFERÊNCIAS

AGROFIT. Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons >. Acesso em: 23 de maio de 2017.

BACHEGA, T.F.; PAVANI, M.C.M.D.; ALVES, P.L.C.A.; SAES, L.P.; BOSCHIERO, M. Lixiviação de sulfentrazone e amicarbazone em colunas de solo com adição de óleo mineral. **Planta Daninha**, v.27, n.2, p.363-370, 2009.

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

BEDMAR, F.; COSTA, J.L.; SUERO, E.; GIMENEZ, D. Transport of atrazine and metribuzin in three soils of the humid pampas of Argentina. **Weed Technology**, v.18, v.1, p.1-8, 2004.

BOEIRA, R.C.; SOUZA, M.D.; FERRACINI, V.L. Utilização de colunas de solo para avaliação de lixiviação de agrotóxicos. In: CONGRESO IBEROAMERICANO SOBRE GESTIÓN DE CALIDAD EN LABORATORIOS, 2., 2003, Valladolid. **Resúmenes...** Valladolid: ITACYL, 2003.

BOWMAN, B.T. Mobility and dissipation studies of metribuzin, atrazine and their metabolites in plainfield sand using field lysimeters. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.10, n.5, p.573-579, 1991.

BURGARD, D.J. et al. Metolachlor distribution in a sandy soil under irrigated potato production. **Weed Sci.**, v.41, n.4, p. 648-655, 1993.

CAETANO, L.C.S.; COSTA, L.M.; FREITAS, S.P.; SANTOS, A.M.B.; FONTES, L.E.F. Adsorção e lixiviação do herbicida napropamida em dois latossolos. **Ciência & Prática**, Lavras, v.19, p.129-134, 1995.

CERDEIRA, A.L.; DOS SANTOS, N.; PESSOA, M.C.Y.; GOMES, M.A.F.; LANCHOTEAL, V.L. Herbicide leaching on a recharge area of the Guarany aquifer in Brazil. **Journal of Environmental Science and Health**, v.40, n.1, p.159-165, 2005.

CERDEIRA, A.L.; DE SOUZA, M.D.; QUEIROZ, S.C.N; FERRACINI, V.L.; BOLONHEZI, D.; GOMES, M.A.F.; ROSA, M.A.; BALDERRAMA, O.; RAMPAZZO, P.; QUEIROZ, R.H.C.; NETO, C.F.; MATALLO, M.B. Leaching and half-life of the herbicide tebuthiuron on a recharge area of Guarany aquifer in sugarcane fields in Brazil. **Journal of Environmental Science and Health B**, v.42, n.6, p.635-639, 2007

CHRISTOFFOLETI, P.J.; LÓPEZ-OVEJERO, R.F.; NICOLAI, M.; CARVALHO, S.J.P. Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar: novas moléculas herbicidas. In: SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 2. 2005, Piracicaba. **Anais...** ESALQ/POTAFOS, 2005.

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

CRUCIANI, D. E.; BAPTISTA, G. C.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; MINAMI, K. **COMPORTAMENTO DE HERBICIDA EM SOLO DE VÁRZEA COM DRENAGEM SUBTERRÂNEA.** Sci.agric., Maio 1996, vol.53,nº2-3, p.316-323.

DAN HESS, F. Herbicide effects on plant structure, physiology, and biochemistry. In: **Pesticide interactions in crop production.** CRC Press, 1993. p.13-34

DEUBER, R.; NOVO, M.C.S.S.; TRANI, P.E.; ARAÚJO, R.T.; SANTINI, A. Manejo de plantas daninhas em beterraba com metamitron e sua persistência em argissolo. **Bragantia**, v.63, n.2, p.283-289, 2004.

DIAS, A. C. R. **Lixiviação, mobilidade, degradação, mineralização e atividade microbiana de herbicidas em função de atributos de cinco tipos de solo.** 2012. 122p. Tese de Doutorado/ Fitotecnia – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012

DUTRA da SILVA, et al. Determinação de Glifosato e Ácido Aminometilfosfônico em águas superficiais do Arroio Passo do Pilão. **Ecotoxicologia. e Meio Ambiente**, v.13, p.19-28, 2003.

EMMERICH, W.E. Tebuthiuron-environmental concerns. **Journal of Rangelands**, v.7, n.4, p.14-16, 1985.

EXTOXNET: Extension Toxicology Network. **S-metolachlor (Dual Gold) herbicide profile 2**, 2000. 85p.

EXTOXNET: Extension Toxicology Network. Metribuzin (Sencor) pesticide information profile, 1996. Disponível em: <<http://extoxnet.orst.edu/ghindex.html>>. Acesso em: 23 de maio de 2017.

FARINELLI, R.; PENARIOL, F.G.; ALVAREZ, A. C. C.; SOUZA, S. A. de; ROSSI, C.V.S.; SILVA, M. M. da; RODRIGUES, J.D. Efeito da aplicação de diferentes doses de metolachlor no desenvolvimento do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.).. Revista brasileira de herbicidas, Passo Fundo/ RS, v.2, p. 1-7, 2005.

FERRI, M. V.W.; VIDAL, R. A. Persistência do acetochlor em solo sob semeadura direta e convencional. **Planta Daninha**, Viçosa, v.20, 2002.

GUIMARÃES, G.L. Impactos ecológicos do uso de herbicidas ao meio ambiente. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.4, n.12, p.159-180, 1987.

GREY, T.L.; WALKER, R.H.; WEHTJE, G.R.; HANCOCK, H.G. Sulfentrazone adsorption and mobility as affected by soil and pH. **Weed Science**, v.45, n.5, p.733-738, 1997.

GREY, T.L.; VENCILL, W.K.; MANTRIPAGADA, N.; CULPEPPER, A.S. Residual herbicide dissipation from soil covered with low-density polyethylene mulch or left bare. **Weed Science**, v.55, n.6, p.638–643, 2007.

GUSTAFSON, D.I. Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. **Environmental Toxicology & Chemistry**, v.8, n.4, p.339-357, 1989.

HATZIOS, K. K. Supplement to herbicide handbook. 7.ed. Lawrence: Weed Science Society of America, 1998. 104p.

HERTWIG, K.V. Manual de herbicidas, desfolhante, dessecantes, fitorreguladores e bioestimulantes. São Paulo: **Agronômica Ceres**, p.120-125, 1983.

INOUE, M.H.; MARCHIORI JR., O.; OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; TORMENA, C.A. Calagem e o potencial de lixiviação de imazaquin em colunas de solo. **Planta Daninha**, v.20, p.125-132, 2002.

INOUE, M.H.; OLIVEIRA JR., R.S.; REGITANO, J.B.; TORMENA, C.A.; TORNISIELO, V.L.; CONSTANTIN, J.; Critérios para avaliação do potencial de lixiviação dos herbicidas comercializados no Estado do Paraná. **Planta Daninha**, v.21, p.313-323, 2003.

INOUE, M.H.; SANTIN, A.J.; DALLACORT, R.; POSSAMAI, A.C.S. SANTANA,; D.C. Performance de associações de herbicidas em cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.6, n.2, p.32-41, 2007b,

INOUE, M. H.; SANTANA, D.C.; OLIVEIRA, R.S.; CLEMENTE, R.A.; DALLACORT, R.; POSSAMAI, A. C. S.; SANTANA, C. T.C.; PEREIRA, K. M. Potencial de lixiviação de herbicidas utilizados na cultura do algodão em colunas de solo. **Planta Daninha**, v.28, n.4, p. 825-833, 2010.

JAVARONI, R.C.; LANDGRAF, M.D.; REZENDE, M.O.O. Comportamento dos herbicidas atrazina e alachlor em solo preparado para o cultivo de cana-de-açúcar. **Química Nova**, v.22, p.58-64, 1999.

KODEŠOVÁ, R.; KOČÁREKA, M.; KODEŠ, V.; DRÁBEKA, O.; KOZÁKA, J.; HEJTMÁNKOVÁ, K. Pesticide adsorption in relation to soil properties and soil type distribution in regional scale. **Journal of Hazardous Materials**, v.186, p.540–550, 2011.

KOSKINEN, W. C.; HARPER, S. S. The retention process: mechanisms. In: CHENG, H. H. (Ed.) **Pesticides in the soil environment: processes, impacts, and modeling**. Madison: Soil Science Society of America, 1990. p.51-77

LIMA, A.C.A.; MELO, A.M.S.; PIRES, E.V.; FERREIRA, R.C.S.; SANT'ANA, A.E.G.; GOULART, M.O.F.; ABREU, F.C. Electroanalytical studies of sulfentrazone in protic medium, its degradation by the electro-Fenton process, and toxicity assessment using ss-DNA. **Chemosphere**, v.81, n.7, p.884–889, 2010.

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**, v.18, n.2, p.241-251, 2000.

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

LORENZI, H. Plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar: Plantas daninhas na lavoura do nordeste brasileiro. In: ENCONTRO TÉCNICO GOAL, CANA-DE-AÇÚCAR, 4., 1995, Recife. **Anais...** Recife: 1995.

LOURENCETTI, C.; SPADOTTO, C.A.; SANTIAGO-SILVA, M.; RIBEIRO, M.L. Avaliação do potencial de contaminação de águas subterrâneas por pesticidas: comparação entre métodos de previsão de lixiviação. Pesticidas: **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**. Curitiba, v.15, p.1-14, 2005.

MAQUEDA, C.; VILLAVERDE, J.; SOPEÑA, F.; UNDABEYTIA, T.; MORILLO, E. Novel System for reducing leaching of the herbicide metribuzin using clay-gel-based formulations. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.56, n.24, 2008.

MARTINEZ, C. O.; SILVA, C. M. M. S.; FAY, E. F.; ABAKERLI, R. B.; MAIA, A. H. N.; DURRANT, L. R. The effects of moisture and temperature on the degradation of sulfentrazone. **Geoderma**, v.147, p.56-62, 2008.

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**, v.25, n.3, p.621-628, 2007.

NICOLELLA, G. **Avaliação do risco de contaminação do lençol freático, pelo herbicida tebuthiuron em cultura de cana-de-açúcar, utilizando geoestatística e simulador CMLS**. P.163. Tese. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1999.

OLIVEIRA, M.F.; BRINGHENTI, A.M. Comportamento de herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. *Biologia e manejo de plantas daninhas*. Curitiba: Ompipax Editora, 2011. p.141-192.

OLIVEIRA JÚNIOR, R.S.; REGITANO, J. B. Dinâmica de pesticidas no solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Ed.). **Química e mineralogia do solo: aplicações**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2009. Parte II. p. 187-248.

OLIVEIRA, M.F. Comportamento de herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J. (Coord.). *Plantas daninhas e seu manejo*. Guaíba: Agropecuária, p.209-260, 2001.

OLIVEIRA, M.F.; SILVA, A.A.; FERREIRA, F.A.; RUIZ, H.A. Lixiviação de flumioxazin e metribuzin em dois solos em condições de laboratório. **Planta Daninha**, v.17, n.2, p.207-215, 1999.

OHMES, G.A.; MUELLER, T.C. Sulfentrazone adsorption and mobility in surface soil of the southern United States. **Weed Technology**, v.21, n.3, p.796–800, 2007.

O'CONNELL, P. J.; HARMS, C. T.; ALLEN, J. R. F. Metolachlor, S-metolachlor and their role within sustainable weed-management. **Crop Protec**, v.17, n.3, p.207-212, 1998.

PATAKIOUTAS. G.; ALBANIS. T.A. Adsorption-desorption studies of alachlor, metolachlor, EPTC, chlorothalonil and pirimiphos-methyl in contrasting soils. **Pest Management Science**, v.58, n.4, p.352-362, 2002.

PASQUALETTO, A. et al. Avaliação de lixiviação de imidazolinona por meio de bioensaio. **Pesq. Agropec. Trop.**, v.29, n. 1, p. 1-5, 1999.

PASSOS, A.T.M.; FOLONI, J.S.S.; FAGAN, E.R. Lixiviação no solo de herbicidas em razão da percolação de água. **Científica**, v.39, n.1/2, p.85–93, 2011.

PETER, C.J.; WEBER, B.J. Adsorption, mobility and efficacy of alachlor and acetochlor as influenced by soil properties. **Weed Science**, Champaign, v.33, n.3, p.874-881, 1985.

PITELLI, R.A., DURIGAN, J.C. Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas. **Inf. Agropec.**, Belo Horizonte, v.11, n.129, p.16-27, 1985.

PIRES, N.M.; SILVA, J.F.; SILVA, J.B.; FERREIRA, L.R.; CARDOSO, A.A. Adsorção e lixiviação de trifluralin e imazaquin em diferentes solos. **Revista Ceres**, Viçosa, v.44, p.300-304, 1997.

PRATA, F.; LAVORENTI, A. Comportamento de herbicidas no solo: influência da matéria orgânica. **Revista Biociências**, v.6, n.2, p.17-22, 2000.

PRATA, F.; CARDINALI V.C.B.; LAVORENTI, A.; TORNISIELO, V.L.; REGITANO, J.B. Glyphosate sorption and desorption in soils with different phosphorous levels. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, n.1, p.175-180, 2003.

PROCÓPIO, S.O. et al. Seleção de plantas com potencial para fitoremediação de solos contaminados com o herbicida trifloxysulfuron sodium. **Planta Daninha**, v. 22, p. 315-322, 2004.

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

PROCÓPIO, S.O. et al. Análise do crescimento e eficiência no uso da água pelas culturas de soja e feijão e por plantas daninhas. **Acta Sci.**, v.24, p.1345-1351, 2002.

PROCÓPIO, S. O.; SILVA, A.A.; SANTOS, J. B.; FERREIRA, L. R.; MIRANDA, G. V.; SIQUEIRA, J. G. Efeito da irrigação inicial na profundidade de lixiviação do herbicida S-metolachlor em diferentes tipos de solo. **Planta Daninha**, v.19, n.3, p.409-417, 2001.

REDDY, K.N.; LOCKE, M.A. Sulfentrazone sorption, and mineralization in soil from two tillage systems. **Weed Science**, v.46, p.494-500, 1998.

RICE, P. J.; ANDERSON, T. A.; COATS, J. R. Effect of sediment on the fate of metolachlor and atrazine in surface water. **Environmental Toxicology and Chemistry**, New York, v.23, n.5, p.1145-1155, 2004.

RIVARD, L. Environmental fate of metolachlor. Environmental Monitoring Branch. **Department of Pesticide Regulation**. 2003.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. de (ed.) **Guia de herbicidas**. 3 ed. Londrina, 1995. p.675.

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

ROMAN, E.E., BECKIE, H., VARGAS, L., HALL, L., RIZZARDI, M.A. & WOLF, T.M. **Como funcionam os herbicidas da biologia à aplicação**. Passo Fundo: Gráfica Editora Berthier, 2007.160p.

ROSENBOM, A.E.; KJÆR, J.; HENRIKSEN, T.; ULLUM, M.; OLSEN, P. Ability of the macro model to predict long-term leaching of metribuzin and diketometribuzin. **Environmental Science & Technology**, v.43, n.9, p. 3221–3226, 2009.

ROSSI, C.V.S. **Dinâmica e eficácia no controle de plantas daninhas pelo herbicida metribuzin aplicado sobre palha de cana-de-açúcar**. 2004. 95p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Proteção de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual paulista, Botucatu, 2004.

ROSSI, C.V.S.; SALGADO, T.P.; ALVES, P.L.C.A.; MARQUES JÚNIOR, J. Mobilidade do sulfentrazone no perfil de classes de solos. **Revista Brasileira de Herbicidas**. Passo Fundo, v.4, n.1, p.65-77, 2005a.

ROSSI, C.V.S.; ALVES, P.L.C.A.; MARQUES JÚNIOR, J. Mobilidade do sulfentrazone em Latossolo vermelho e em Chernossolo. **Planta Daninha**, v.23, n.4, p.701-710, 2005b.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Ver. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353p.

SANTANA, D.C. **Estudo da lixiviação de herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar com plantas bioindicadoras**. 2012. 127p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012

SAVAG, K. E. Adsorption and mobility of metribuzim in soil. **Weed Sci**. v. 24, n.1, p. 525-528, 1976.

SILVA JUNIOR, A. C.; PEREIRA, M. R.; MARTINS, D. Estudo da lixiviação do herbicida S-metolachlor com plantas bioindicadora. **Revista de Ciências Agrárias**, v.58, n.1, p.36-44, 2015.

SILVA, M. A. **Alterações nas propriedades químicas de solos tratados com diferentes doses do herbicida glifosato**. 2013, p.107. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Florestal – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013.

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

SINGH, N. Organic manure and urea effect on metolachlor transport through packed soil columns. **Journal of Environmental Quality**, v.32, p.1743–1749, 2003.

SOUTHWICK, L. M.; APPELBOOM, T. W.; FOUSS, J. L. Runoff and leaching of metolachlor from Mississippi river aluvial soil during seasons of average and below-average rainfall. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, DC, v.57, n.4, p.1413-1420, 2009.

SOUZA, A.P.; PRATES, H.T.; FERREIRA, F.A.; EL REIS, C.P. Lixiviação de glyphosate e imazapyr em solos com diferentes texturas e composição química. I. Método do bioensaio. **Planta Daninha**, Viçosa, v.18, p.5-16, 2000.

SOUZA, E.L.C.; FOLONI, L.L.; MANTOVANI, E.C.; TEIXEIRA FILHO, J. Comportamento do tebuthiuron em solo de cultivo de cana-de-açúcar utilizando lisímetro de drenagem modificado. **Planta Daninha**, v.26, n.1, p.157-163, 2008.

SOUZA, E.L.C. Comportamento do herbicida tebuthiuron em solo de cultivo de cana-de-açúcar utilizando "lisímetro de drenagem modificado". 2007. 79p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/ Água e Solo) – Universidade Estadual Paulista, Campinas, 2007.

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

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

VIVIAN, R.; REIS, M.R.; JAKELAITIS, A.; SILVA, A.F.; GUIMARÃES, A.A.; SANTOS, J.B.; SILVA, A.A. Persistência de sulfentrazone em argissolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v.24, n.4, p.741-750, 2006.

WORTHING, C.R. **The pesticide manual. A world compendium.** 7th ed. British Crop Protect. Council, Croydon, U.K, 1983.