

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOSSANIDADE



Dissertação

Comportamento de herbicidas pré-emergentes sob semeadura de arroz irrigado em palha de azevém

Marcos Belinazzo Tomazetti

Pelotas, 2018

MARCOS BELINAZZO TOMAZETTI

**COMPORTAMENTO DE HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES SOB SEMEADURA
DE ARROZ IRRIGADO EM PALHA DE AZEVÉM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Fitossanidade (área do conhecimento: Herbologia).

Orientador: Ph. D. Edinalvo Rabaioli Camargo

Co-Orientadores: Ph. D. André Andres

Dr. Dirceu Agostinetto

Dr. Fábio Schreiber

Ph. D. Luis Antonio de Avila

Pelotas, 2018

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

T655c Tomazetti, Marcos Belinazzo

Comportamento de herbicidas pré-emergentes sob
semeadura de arroz irrigado em palha de azevém / Marcos
Belinazzo Tomazetti ; Edinalvo Rabaioli Camargo,
orientador. — Pelotas, 2018.

127 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação
em Fitossanidade, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel,
Universidade Federal de Pelotas, 2018.

1. Semeadura direta. 2. Quantidade de palha. 3.
Lixiviação de herbicidas na palha. I. Camargo, Edinalvo
Rabaioli, orient. II. Título.

CDD : 633.18

Banca examinadora:

Anderson Luis Nunes, Dr.

Enio Marchesan, Dr.

José Maria Barbat Parfitt, Dr.

**Edinalvo Rabaioli Camargo, Ph. D.
(Orientador)**

Aos meus pais, Ari e Terezinha

Ao meu irmão, Mateus

À minha namorada, Fernanda

OFEREÇO E DEDICO

“Seguir seu caminho sem medo,
trabalhar e cumprir o seu dever”

Minha mãe, Terezinha.

Agradecimentos

Aos meus pais Ari e Terezinha e meu irmão Mateus, exemplo de pessoas honestas e verdadeiras, sobretudo pelo constante apoio e respeito às minhas escolhas.

De igual forma, agradeço à minha amada namorada Fernanda, pelo auxílio nas mais diversas maneiras, presença nos bons e maus momentos, confiança e incentivo.

Aos professores Enio Marchesan, Nelson Diehl Kruse e Thomas Newton Martin, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), por conceder a carta de recomendação para ingresso no mestrado, cujo peso creio ter sido fundamental para o processo seletivo do curso.

Ao meu orientador professor Edinalvo Rabaioli Camargo, pessoa humilde, inteligente e esforçada, pelo auxílio e presença em praticamente 100% das fases da pesquisa.

Aos meus coorientadores Luis Antonio de Avila, Dirceu Agostinetti, Fábio Schreiber e André Andres, pelas reuniões, auxílio nas avaliações de experimentos e pelo enriquecimento do trabalho com diferentes ideias.

À professora Maria Cândida Nunes, pelo empréstimo do simulador de chuvas e casa de vegetação para condução dos estudos; ao professor da UFSM Jean Paolo Minella e ao colega da Agronomia da UFSM Rafael Ramon, ambos por disponibilizarem o bico necessário ao simulador de chuvas. Ao professor da UFSM Renato Beppler Spohr, pelas ideias fundamentais ao bom funcionamento do simulador. Ao pesquisador da Embrapa José Maria Barbatt Parfitt, pelo auxílio no monitoramento da umidade do solo. E à Roberta Manica Berto pelo auxílio nas análises estatísticas, imprescindíveis à confecção do trabalho.

À Universidade Federal de Pelotas, por oportunizar o curso de pós-graduação em Fitossanidade e à Universidade Federal de Santa Maria, pelo curso de graduação em Agronomia. Ao Programa de Pós-graduação em Fitossanidade por oportunizar o curso de mestrado.

À CAPES, por disponibilizar a bolsa de mestrado e apoio financeiro para aquisição dos materiais utilizados no trabalho.

Aos amigos e companheiros do Laboratório de Dinâmica de Herbicidas Andrisa Balbinot, Ananda Scherner, Anderson Feijó, Bruna Ceolin, Felipe Brunetto, Caroline Nemitz, Dalvane Rockenbach, Eduardo Nogueira, Fernanda Caratti, Gustavo Junkes, Jonathan Hübner, João Paulo Refatti, João Paulo Sousa Gomes, Klaus Egewarth, Lariza Benedetti, Leonard Piveta, Lucas Rezende, Lucas Vieira, Marcus Fipke, Mariana Serroni, Marlon Bastiani, Matheus Puhl, Mauro Rosa, Maurício Files, Raúl Andrés Martínez Córdova, Renan Silva, Silvana Neves, Vinícios Gehrke e Willian Lubian pelo convívio diário, ajuda nos momentos de trabalho e risadas nos momentos de confraternização.

A todos os integrantes do Centro Agropecuário da Palma por disponibilizar a estrutura e material necessários à condução da pesquisa, especialmente ao Alex, pela boa vontade e empenho em auxiliar nas mais variadas atividades.

Aos amigos que me foram oportunizados no decorrer da vida, pela amizade, pelo apoio e ajuda nos momentos difíceis, meu profundo e sincero obrigado.

Resumo

TOMAZETTI, Marcos Belinazzo. **Comportamento de herbicidas pré-emergentes sob semeadura de arroz irrigado em palha de azevém**. 2018. 127f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Tem-se buscado a implantação do sistema de semeadura direta para a cultura do arroz irrigado, tendo como principal planta de cobertura o azevém (*Lolium multiflorum*). As plantas de cobertura podem afetar a dinâmica de herbicidas, seja pela retenção na palha ou pela modificação das condições do solo como a umidade e temperatura, afetando também a emergência de plantas daninhas, sendo o capim-arroz (*Echinochloa* sp.) uma das principais infestantes no arroz irrigado. Até o momento, pesquisas nesse sentido não foram realizadas. Assim, os objetivos deste trabalho foram: (i) realizar uma revisão de literatura sobre a dinâmica de herbicidas no sistema de semeadura direta (capítulo 1); (ii) avaliar, a campo, o controle e a densidade de capim-arroz com os herbicidas clomazone, imazapyr+imazapic, oxyfluorfen, pendimethalin e quinclorac aplicados sobre diferentes quantidades de palha de azevém (0, 1,5, 3 e 4,5t ha⁻¹); a interceptação dos herbicidas pela palha; e a produtividade de grãos do arroz (Capítulo 2); (iii) avaliar a resposta biológica do capim-arroz em casa de vegetação (CV) sob os fatores do capítulo 2 e períodos de chuva simulada após a aplicação dos herbicidas (2, 7 e 14 dias após a aplicação - DAA) (Estudo I), bem como a lixiviação dos herbicidas na palha pela chuva simulada (Estudo II) (Capítulo 3). Foram realizados estudos de campo em dois locais e dois anos, e em CV replicados duas vezes. No campo, o delineamento experimental foi de blocos casualizados com quatro repetições e esquema bifatorial, sendo o primeiro fator os herbicidas e o segundo as quantidades de palha. Em CV a pesquisa foi conduzida sob delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições e esquema trifatorial, sendo no Estudo I os dois primeiros fatores iguais aos estudos do campo e o terceiro os períodos de chuva simulada; no Estudo II da CV os fatores foram os herbicidas e os períodos de chuva simulada, utilizando-se o máximo nível de palha. No campo, o controle de capim-arroz foi maior na presença de palha para os herbicidas oxyfluorfen, pendimethalin e quinclorac no primeiro ano de estudo, embora na média dos experimentos (locais e anos) a interceptação da calda dos herbicidas pela palha tenha sido de 26, 41 e 67% quando se utilizou 1,5, 3 e 4,5t ha⁻¹ de palha, respectivamente; clomazone e imazapyr+imazapic não sofreram influência dos níveis de palha para a variável controle. Não houve interação entre os fatores herbicidas e níveis de palha no campo para a densidade de capim-arroz, observando-se que, na ausência de herbicidas, a presença de palha proporcionou aumento na emergência de plantas de capim-arroz em relação ao solo nu. A produtividade de grãos de arroz decresceu à medida que se aumentou os níveis de palha nos dois locais e anos de estudo (Capítulo 2). Na CV, o controle de capim-arroz foi superior a 90% em quaisquer das condições testadas (Estudo I); a lixiviação dos herbicidas na palha seguiu a ordem pendimethalin = clomazone < imazapyr = imazapic < quinclorac, sendo dessa maneira os dois

primeiros com as maiores perdas para o ambiente e/ou sorção na palha, e os últimos os mais recalcitrantes e mais facilmente lixiviáveis na palhada do azevém (Capítulo 3). Com base nesses resultados, a eficácia de oxyfluorfen, pendimethalin e quinclorac foi positivamente afetada pela presença de palha na superfície do solo em anos onde há o atraso na ocorrência de chuvas após a aplicação (primeiro ano de estudo). Em anos de ocorrência de chuvas logo após a aplicação não há influência da palha sobre a eficácia dos herbicidas (segundo ano de estudo). Ainda, os herbicidas com potencial decréscimo na eficácia de controle de plantas daninhas em caso de atraso na ocorrência de chuvas são clomazone e pendimethalin, embora tenham se mostrado eficientes no trabalho em casa de vegetação.

Palavras-chave: Semeadura direta. Quantidade de palha. Lixiviação de herbicidas na palha.

Abstract

TOMAZETTI, Marcos Belinazzo. **Behavior of pre-emergent herbicides on lowland rice seeded on ryegrass straw**. 2018. 127f. Master of Science – Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade. Federal University of Pelotas, Pelotas.

Establishment of no-tillage system in lowland rice has been developed using the ryegrass (*Lolium multiflorum*) as the main cover crop for this purpose. Cover crops can affect the herbicide dynamics, either by herbicide straw retention or by modification in soil conditions such as soil moisture and temperature. Also, cover crops may affect weed emergency, such as barnyardgrass (*Echinochloa* sp.), one of the most important weed in lowland rice areas. To date, research in this subject was not performed considering specificity of rice in lowland areas. Therefore, this research was conducted to study: (i) the herbicide dynamics on no-tillage system through a literature review (Chapter 1); (ii) Barnyardgrass control and density, at field scale, by the herbicides clomazone, imazapyr+imazapic, oxyfluorfen, pendimethalin and quinclorac applied on different ryegrass straw quantities (0, 1.5, 3 and 4.5t ha⁻¹); herbicide interception by straw; and rice grain yield (Chapter 2); (iii) the barnyardgrass response, in greenhouse conditions (GH), using factors explored in chapter 2 plus different periods of simulated rain after application (2, 7 and 14 days after application) (Study 1), and herbicide washoff in ryegrass straw (Study 2) (Chapter 3). Field experiments were performed in two locations and two years, and in GH replicated two times. In field, the experiment was conducted in randomized complete block design with four replications in factorial arrangement 6 × 4, with first factor constituted by herbicides and second factor by ryegrass straw quantities. In GH, the research was performed under completely randomized design with three factors, using the two factors of Chapter 2 plus the simulated rain periods (Study 1). The washoff experiment was conducted using the maximum level of ryegrass straw. In field, barnyardgrass control was superior in the straw treatments than in bare soil for herbicides oxyfluorfen, pendimethalin and quinclorac in the first year of study, despite the fact that the spray volume interception by straw was 26, 41 and 67% (average among years and locations) when straw levels were 1.5, 3 and 4.5 t ha⁻¹, respectively; control with clomazone and imazapyr+imazapic was not influenced by the ryegrass straw. There was no significant herbicide by straw level interaction for barnyardgrass density, observing that in herbicide absence, the straw resulted in greater barnyardgrass density than in plots of bare soil. Rice grain yield decreased as more straw was present on the soil surface in two locations and two years of study (Chapter 2). In GH, barnyardgrass control was greater than 90%, independent of treatment (Study 1). The herbicide washoff in straw was in follow order: pendimethalin = clomazone < imazapyr = imazapic < quinclorac. Therefore, two first herbicides presented superior environmental losses and/or straw sorption, and the lasts one were more recalcitrant and were more easily washable from ryegrass straw (Chapter 3). Based on these results, oxyfluorfen, pendimethalin and quinclorac efficacy was positively affected by ryegrass straw on soil surface in years that occur a rain delay after application (first year of study); in years that rain occur soon after

application, no influence of straw was reported (second year of study). Furthermore, the herbicides that potentially will potentially reduce efficacy, in case of rainfall delays, are clomazone and pendimethalin, although good efficacy have been seen in greenhouse conditions.

Key words: No-tillage. Straw quantity. Herbicide washoff.

Lista de Figuras

Figura 1	Relação entre a altura de corte e a massa seca de azevém remanescente no campo em duas safras agrícolas. Capão do Leão, RS, 2018.....	58
Figura 2	Gráfico que representa a tensão de água no solo (kPa) em dias após a aplicação dos herbicidas pré-emergentes. As flechas denotam os eventos de chuva e sua quantidade (mm) e o momento em que os herbicidas foram aplicados. Capão do Leão, RS, 2018.....	59
Figura 3	Representação das diferentes concentrações de corante FD&C Blue No. 1 para construção da curva curva-padrão de linearidade da relação entre a absorbância e concentração do corante na calda de pulverização. Capão do Leão, RS, 2018.....	61
Figura 4	Representação das diferentes concentrações de corante FD&C Blue No. 1 para construção da curva curva-padrão de linearidade da relação entre a absorbância e concentração do corante na calda de pulverização. Capão do Leão, RS, 2018.....	62
Figura 5	Curva-padrão da relação entre a absorbância e concentração do corante FD&C Blue No. 1 na calda de pulverização para o experimento de campo, safra 2016/2017. Capão do Leão, RS, 2018.....	62
Figura 6	Curva-padrão da relação entre a absorbância e concentração do corante FD&C Blue No. 1 na calda de pulverização para o experimento de campo, safra 2017/2018. Capão do Leão, RS, 2018.....	63
Figura 7	Placas de vidro distribuídas na parcela para a coleta dos herbicidas. Capão do Leão, RS, 2018.....	64

Figura 8	Vista geral do experimento após a semeadura da safra 2017/18. Capão do Leão, RS, 2018.....	65
Figura 9	Porcentagem de herbicida que atingiu o solo dos herbicidas imazapyr, imazapic e quinclorac em função da quantidade de palha (kg ha^{-1}) de azevém (<i>Lolium multiflorum</i>) sobre o solo em experimento de campo. Cada ponto na curva representa a média de 4 repetições de cada um dos três herbicidas. Capão do Leão, RS, 2018.....	68
Figura 10	Quantidade de calda de aplicação (L ha^{-1}) que chegou ao solo em função da quantidade de palha (kg ha^{-1}) de azevém (<i>Lolium multiflorum</i>) sobre o solo em experimento de campo. Cada curva representa a repetição de um mesmo experimento. Capão do Leão, RS, 2018.....	68
Figura 11	Sulco de semeadura do arroz aberto após a passagem da semeadora nos tratamentos com palha. Capão do Leão, RS, 2018.	81
Figura 12	Potes plásticos com placas de Petri sobre o solo e sob a palha para a quantificação da calda de pulverização que chegou na superfície do solo. Capão do Leão, RS, 2018.....	87
Figura 13	Curva-padrão da relação entre a absorbância e concentração do corante FD&C No. 1 na calda de pulverização utilizada para o experimento na casa de vegetação. Capão do Leão, RS, 2018.....	87
Figura 14	Ilustração da estrutura geral utilizada para avaliar a lixiviação de herbicidas na palha de azevém. Capão do Leão, RS, 2018.....	89
Figura 15	Estruturas para alocação da palha: canos de PVC de 0,1m de diâmetro com telado de arame fixado em uma das extremidades. Capão do Leão, RS, 2018.....	89
Figura 16	Estrutura apta a receber a chuva simulada. De baixo para cima: frascos âmbar de 1L; funis de vidro com bocal de 0,12m de diâmetro; canos de PVC de 0,1m de diâmetro com telado de arame; e a palha do azevém na superfície do telado. Capão do Leão, RS, 2018.....	90

Figura 17 Intercepção da calda de aplicação ($L\ ha^{-1}$) dos herbicidas em função da quantidade de palha ($kg\ ha^{-1}$) de azevém (*Lolium multiflorum*) sobre o solo em experimento de casa de vegetação. Capão do Leão, RS, 2018..... 92

Lista de Tabelas

Tabela 1	Mobilidade e sorção no solo de pesticidas ácidos ou básicos.....	34
Tabela 2	pH do solo influenciado pelo sistema de cultivo.....	35
Tabela 3	Influência de diferentes níveis de cobertura do solo na interceptação da calda de pulverização no momento da aplicação..	37
Tabela 4	Solubilidade em água (Sw), constante de partição octanol-água (Kow) e constante de equilíbrio de ionização (pKa) dos herbicidas citados na seção 2.3.....	40
Tabela 5	Tratamentos experimentais: quantidades de palha de azevém (<i>Lolium multiflorum</i>) e herbicidas pré-emergentes. Capão do Leão, RS, 2018.....	56
Tabela 6	Local e data das operações de semeadura, corte e dessecação do azevém, semeadura do arroz e aplicação dos herbicidas pré-emergentes. Capão do Leão, RS, 2018.....	57
Tabela 7	Precipitação pluvial no período das avaliações e respectivas datas nos diferentes locais e anos da condução do experimento. Capão do Leão, RS, 2018.....	60
Tabela 8	Datas das avaliações de controle e densidade de capim-arroz em dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas pré-emergentes. Capão do Leão, RS, 2018.....	65
Tabela 9	p-valor para as múltiplas avaliações de controle e densidade de capim-arroz nos dois locais e anos do experimento. Capão do Leão, RS, 2018.....	70
Tabela 10	p-valor para as avaliações de controle de capim-arroz na UFPel safra 2016/2017. Capão do Leão, RS, 2018.....	71

Tabela 11	Controle de capim-arroz (<i>Echinochloa</i> sp.) em dias após a aplicação (DAA) sob diferentes herbicidas pré-emergentes de arroz irrigado na UFPel, safra 2016/2017. Os dados representam a interação entre os herbicidas e as diferentes quantidades de palha de azevém (<i>Lolium multiflorum</i>) sobre o solo. Capão do leão, RS, 2018.....	71
Tabela 12	p-valor para as avaliações de controle de capim-arroz na Embrapa, safra 2016/2017. Capão do Leão, RS, 2018.....	74
Tabela 13	Controle de capim-arroz (<i>Echinochloa</i> sp.) em dias após a aplicação (DAA) sob diferentes herbicidas pré-emergentes de arroz irrigado na Embrapa, safra 2016/2017. Os dados representam a interação entre os herbicidas e as diferentes quantidades de palha de azevém (<i>Lolium multiflorum</i>) sobre o solo. Capão do leão, RS, 2018.....	74
Tabela 14	Médias da densidade de capim-arroz (plantas m ⁻²) em relação aos diferentes herbicidas, para a análise conjunta dos dados obtidos na área da Embrapa e UFPel (safra 2016/2017). Capão do Leão, RS, 2018.....	76
Tabela 15	p-valor para as avaliações de controle e densidade de capim-arroz na UFPel safra 2017/2018. Capão do Leão, RS, 2018.....	77
Tabela 16	Controle de capim-arroz (<i>Echinochloa</i> sp.) em dias após a aplicação (DAA) sob diferentes herbicidas pré-emergentes de arroz irrigado na UFPel, safra 2017/2018. Os dados representam a interação entre os herbicidas e as diferentes quantidades de palha de azevém (<i>Lolium multiflorum</i>) sobre o solo. Capão do leão, RS, 2018.....	77
Tabela 17	Densidade de capim-arroz (<i>Echinochloa</i> sp.) (plantas m ⁻²) sob diferentes herbicidas pré-emergentes de arroz irrigado na UFPel, safra 2017/2018. Os dados representam as médias da densidade para cada herbicida. Capão do leão, RS, 2018.....	78

Tabela 18	Densidade de capim-arroz (<i>Echinochloa</i> sp.) (plantas m ⁻²) nas diferentes quantidades de palha de azevém (<i>Lolium multiflorum</i>) na área da UFPel, safra 2017/2018. Os dados representam as médias da densidade para cada quantidade de palha. Capão do leão, RS, 2018.....	79
Tabela 19	Produtividade de grãos do arroz irrigado cultivar IRGA 424 RI combinada entre UFPel e Embrapa safra 2016/2017. Capão do leão, RS, 2018.....	80
Tabela 20	Produtividade de grãos do arroz irrigado cultivar IRGA 424 RI combinada entre as safras 2016/2017 e 2017/2018. Capão do leão, RS, 2018.....	80
Tabela 21	Equações das curvas-padrão geradas por cromatografia líquida de ultra-alta performance para estimativa das concentrações nas amostras.....	91
Tabela 22	p-valor para as múltiplas avaliações de controle de capim-arroz sob a ação dos fatores herbicidas pré-emergentes, quantidades de palha de azevém e períodos de chuva simulada após a aplicação dos herbicidas. Capão do Leão, RS, 2018.....	93
Tabela 23	Avaliação visual de controle (%) de capim-arroz (<i>Echinochloa</i> sp.) (9DAA ¹) sob diferentes herbicidas pré-emergentes, quantidades de palha de azevém e períodos de chuva simulada após a aplicação dos herbicidas. Capão do leão, RS, 2018.....	95
Tabela 24	Avaliação visual de controle (%) de capim-arroz (<i>Echinochloa</i> sp.) (16DAA ¹) sob diferentes herbicidas pré-emergentes, quantidades de palha de azevém e períodos de chuva simulada após a aplicação dos herbicidas. Capão do leão, RS, 2018.....	96
Tabela 25	Avaliação visual de controle (%) de capim-arroz (<i>Echinochloa</i> sp.) (24DAA ¹) sob diferentes herbicidas pré-emergentes, quantidades de palha de azevém e períodos de chuva simulada após a aplicação dos herbicidas. Capão do leão, RS, 2018.....	98

Tabela 26	Avaliação visual de controle (%) de capim-arroz (<i>Echinochloa</i> sp.) (31DAA ¹) sob diferentes herbicidas pré-emergentes, quantidades de palha de azevém e períodos de chuva simulada após a aplicação dos herbicidas. Capão do leão, RS, 2018.....	99
Tabela 27	Avaliação visual de controle (%) de capim-arroz (<i>Echinochloa</i> sp.) (38DAA ¹) sob diferentes herbicidas pré-emergentes, quantidades de palha de azevém e períodos de chuva simulada após a aplicação dos herbicidas. Capão do leão, RS, 2018.....	100
Tabela 28	Balanço de massas dos herbicidas entre a dose aplicada via pulverização, interceptada e transposta na palha de <i>Lolium multiflorum</i>	101
Tabela 29	Quantidade de herbicida (g/ha) detectado por cromatografia líquida de ultra-alta performance na água lixiviada da palha de <i>Lolium multiflorum</i>	102
Tabela 30	Lixiviação (%) de herbicidas na palha de <i>Lolium multiflorum</i> sob diferentes períodos de chuva simulada após a aplicação.....	102

Sumário

1 Introdução	21
2 CAPÍTULO I – Revisão de literatura: Dinâmica de herbicidas no sistema de semeadura direta	25
2.1 Introdução	25
2.2 Características do solo em sistema de semeadura direta e seu efeito na dinâmica de herbicidas	28
2.2.1 Umidade do solo	28
2.2.2 Temperatura do solo	30
2.2.3 Teor de matéria orgânica	31
2.2.4 pH do solo	33
2.3 Sorção e interceptação de herbicidas no solo e nas plantas de cobertura	36
2.4 Transporte	45
2.4.1 Volatilização	45
2.5 Transformação	47
2.5.1 Biodegradação	47
2.5.2 Fotólise	50
2.6 Considerações finais	52
3 CAPÍTULO II – Controle de <i>Echinochloa</i> sp. com herbicidas pré-emergentes no sistema de semeadura direta de arroz irrigado	54
3.1 Introdução	54
3.2 Material e métodos	55
3.2.1 Preparo das áreas, cultivo do azevém e estabelecimento dos níveis de palha	57
3.2.2 Monitoramento da umidade do solo	59
3.2.3 Aplicação dos herbicidas pré-emergentes e interceptação da calda de aplicação e dos herbicidas pela palha do azevém	60
3.2.4 Cultivo do arroz	64
3.2.5 Variáveis analisadas e análise estatística	65
3.3 Resultados e discussão	67

3.3.1 Interceptação da calda de aplicação e dos herbicidas pela palha no momento da aplicação	67
3.3.2 Controle e densidade de capim-arroz	69
3.3.3 Produtividade de grãos do arroz	80
3.4 Conclusões	82
4 CAPÍTULO III – Lixiviação de herbicidas na palha de <i>Lolium multiflorum</i> sob chuva simulada e resposta biológica de <i>Echinochloa</i> sp.....	83
4.1 Introdução	83
4.2 Material e métodos	84
4.2.1 Estudo I – Resposta de capim-arroz (<i>Echinochloa</i> sp.) a herbicidas pré-emergentes, diferentes quantidades de palha de azevém e períodos de chuva simulada após a aplicação.....	86
4.2.2 Estudo II – Lixiviação de herbicidas pré-emergentes na palha de azevém (<i>Lolium multiflorum</i>) sob diferentes períodos de chuva simulada após a aplicação	88
4.3 Resultados e discussão	92
4.3.1 Estudo I – Resposta de capim-arroz (<i>Echinochloa</i> sp.) a herbicidas pré-emergentes, diferentes quantidades de palha de azevém e períodos de chuva simulada após a aplicação.....	92
4.3.2 Estudo II – Lixiviação de herbicidas pré-emergentes na palha de azevém (<i>Lolium multiflorum</i>) sob diferentes períodos de chuva simulada após a aplicação	101
4.4 Conclusões	105
5 Conclusões gerais	106
Referências	108
VITA.....	127

1 Introdução

O arroz (*Oryza sativa*) é a base da alimentação para muitas populações (NEWBIGGING; PALIWODA; CHRIS LE, 2015) e é o segundo cereal mais produzido no mundo (FAO, 2015). A cultura do arroz é prejudicada por diversos fatores, dentre os quais a interferência das plantas daninhas merece destaque, visto estas possuem o maior potencial em causar perdas na cultura (OERKE, E. C. 2006), impactando a produtividade de grãos e a produção de alimentos. O uso de herbicidas constitui um dos principais métodos de controle de plantas daninhas em áreas de cultivo de arroz, devido a eficiência técnica e viabilidade econômica desse manejo. A utilização de herbicidas depende das características físico-químicas da molécula, das culturas, plantas daninhas alvo, doses, época de aplicação e tecnologia, entre outros.

Os herbicidas podem ser aplicados em pré ou pós-emergência das plantas daninhas, sendo que a modalidade de pré-emergência tem como alvo o solo para que os herbicidas exerçam ação sobre o banco de sementes. Quando aplicados em pré-emergência das plantas daninhas e da cultura, podem aumentar o período anterior à interferência das infestantes sobre a cultura (KNEZEVIC et al., 2013) e auxiliar no manejo da resistência aos herbicidas através da rotação de mecanismos de ação. Pode-se dizer ainda que as plantas daninhas que por ventura consigam emergir após a aplicação dos pré-emergentes serão mais facilmente controladas pelos herbicidas utilizados em pós-emergência, pois encontrar-se-ão em menor porte e número.

Os herbicidas pré-emergentes requerem que todo ou a maior parte do produto tenha contato direto com o solo e seja difundido no perfil para exercer sua função no banco de sementes. No caso do arroz irrigado cultivado em sistema convencional, as operações de preparo e nivelamento do solo propiciam condições adequadas para a ação dos herbicidas pré-emergentes, ou seja, solo destorroado e sem a presença de

resíduos de culturas antecessoras que possam interferir na chegada do herbicida ao solo, bem como, modificar as condições de temperatura e umidade.

Tem-se buscado a adoção do sistema de semeadura direta (SD) para a cultura do arroz irrigado visando a redução dos custos operacionais referentes ao preparo do solo (combustível e maquinário), redução do impacto sobre a sua qualidade e também a supressão de plantas daninhas pela presença de cobertura com resíduos de culturas antecessoras. Entretanto, sob SD, a palha presente na superfície modifica a dinâmica dos herbicidas como um todo, seja por: (i) constituir uma barreira à chegada da calda de pulverização ao solo e diminuir a quantidade de herbicida disponível à absorção pelas plantas daninhas em emergência (BANKS; ROBINSON, 1982, 1986; CHAUHAN, 2012; CRUTCHFIELD; WICKS; BURNSIDE, 1986; GHADIRI; SHEA; WICKS, 1984; LOCKE, REDDY, ZABLOTOWICS, 2002; ROSSI et al., 2013); (ii) modificar a umidade do solo por atenuar a perda de água à atmosfera (CHEN et al., 2007; RAMAKRISHNA et al., 2006); (iii) diminuir as flutuações de temperatura (MONTENEGRO et al., 2013); (iv) modificar a biomassa microbiana (ZHANG et al., 2012), desta forma alterando o padrão de distribuição e degradação do herbicida no perfil do solo e a emergência de plantas daninhas.

Os herbicidas quando atingem a superfície do solo necessitam ser incorporados para agir no banco de sementes. Do mesmo modo, quando atingem a superfície dos resíduos, devem ser lixiviados até o solo. Nas duas situações a inserção do herbicida no sistema deve ser de tal maneira a permanecerem protegidos dos processos de perda para o ambiente. Os herbicidas na superfície do solo e os que ficam retidos na palha podem tornar-se sujeitos aos fenômenos de volatilização (THELEN; KELLS; PENNER, 1988), que pode ser maior em SD, e fotólise (LOCKE; BRYSON, 1997). Nesse sentido, a chuva assume importante papel na incorporação do herbicida no solo (SAVAGE; JORDAN, 1980) ou na lavagem do herbicida na palha para que este atinja o solo (DANG et al., 2016; PETERSEN; SHEA; WICKS, 1988); além disso, o tempo entre a aplicação do herbicida e a primeira chuva está estreitamente relacionado às perdas do herbicida (LEWIS et al., 2016).

Alguns estudos têm abordado essa problemática visando estabelecer relação entre a palha sobre o solo e a dinâmica de herbicidas pré-emergentes. Exemplo disso ocorre em lavouras de cana-de-açúcar, onde comumente há quantidades

significativas de resíduos em superfície (BEATRIZ et al., 2013; CARBONARI et al., 2016; CORREIA; CAMILO; SANTOS, 2013; SELIM; NAQUIN, 2011; SELIM; NAQUIN; LIAO, 2012). Também pode ser citada a sucessão trigo-soja (BANKS; ROBINSON, 1986), o milho em sucessão a aveia (ALLETTO et al., 2012) e a dinâmica de herbicidas na palha do milho (ASLAM et al., 2013). Esses trabalhos refletem a crescente mudança do sistema de cultivo convencional (CC) para o SD ou cultivo mínimo, onde os resíduos em superfície passarão a ser cada vez mais presentes.

Na cultura do arroz irrigado, embora haja potencial de aumento da utilização do SD, ainda é escassa a literatura que trata da interação entre herbicidas pré-emergentes, palha e controle de plantas daninhas. Estudos que abordem essa interação são fundamentais no sentido de que existe potencial de aumento na utilização do SD no Rio Grande do Sul (RS) e, também, que o sistema de cultivo mínimo é o mais utilizado nesse Estado – 53,9% da área (IRGA, 2016) – e também pode apresentar resíduos vegetais em superfície, embora estes sejam em menor volume. Além disso, os herbicidas utilizados na cultura do arroz apresentam características físico-químicas diferentes dos trabalhos já realizados e, portanto, a dinâmica pode ser distinta quando se utiliza outro sistema de cultivo que não o convencional.

O sistema de cultivo mínimo e SD de arroz irrigado utiliza o azevém (*Lolium multiflorum*) como a principal cultura de cobertura em sucessão no RS (BUNDT et al., 2015), devido à melhor adaptabilidade ao ambiente úmido dos solos de várzea (FERREIRA et al., 2015), e pouco se sabe sobre as transformações no sistema (umidade e temperatura do solo) advindas da presença dessa cultura e sua interação com os herbicidas. Além dessas transformações no solo, a sorção dos herbicidas na palha depende da espécie utilizada como planta de cobertura (ALLETTO et al., 2010) pois há variação na composição química desses resíduos conforme sua origem (ROVIRA; VALLEJO, 2002), não havendo estudos que avaliaram a dinâmica de herbicidas na palha de azevém como planta de cobertura. Os trabalhos que avaliaram a dinâmica de herbicidas foram construídos em ambiente de terras altas, mais drenado que em terras baixas onde o arroz irrigado é cultivado. Nesse último caso, as características de solo como a presença de horizonte B textural (camada de solo argilosa presente em torno de 20cm de profundidade nos Planossolos e Gleissolos) e

o relevo plano impedem a drenagem eficiente, situação que pode ser potencializada com a presença de plantas de cobertura.

As áreas de cultivo de arroz irrigado apresentam uma extensa flora infestante, sendo o gênero *Echinochloa* um dos mais importantes em diversas partes do mundo. Alguns trabalhos relatam a resistência de capim-arroz a herbicidas comumente utilizados em arroz irrigado como propanil (BALTAZAR; SMITH, 1994), quinclorac (MALIK; BURGOS; TALBERT, 2010), clomazone (NORSWORTHY et al., 2009) e inibidores da enzima acetolactato sintase como imazethapyr, penoxsulam e bispyribac-sodium (RIAR et al., 2012). Isso reforça a importância de métodos alternativos de controle, como também da utilização de herbicidas com diferentes mecanismos de ação para controle dessa e de outras plantas daninhas.

Em vista do exposto, os objetivos desse trabalho foram: (i) realizar uma revisão de literatura sobre a dinâmica de herbicidas no sistema de semeadura direta e avaliar as lacunas existentes no ambiente de terras baixas (Capítulo 1); (ii) avaliar, a campo, o controle de *Echinochloa* sp. com herbicidas comumente utilizados no arroz irrigado (clomazone, imazapyr+imazapic, oxyfluorfen, pendimethalin e quinclorac) aplicados sobre diferentes quantidades de palha de azevém (0, 1,5, 3 e 4,5t ha⁻¹) (Capítulo 2); (iii) e avaliar a resposta biológica de *Echinochloa* sp. em casa de vegetação sob a ação dos fatores: herbicidas pré-emergentes, quantidades de palha de azevém e períodos de chuva simulada após a aplicação dos herbicidas (Estudo I) e a lixiviação desses herbicidas na palha de azevém por meio de chuva simulada em diferentes períodos após a aplicação (Estudo II) (Capítulo 3).

2 CAPÍTULO I – Revisão de literatura: Dinâmica de herbicidas no sistema de semeadura direta

2.1 Introdução

A intensificação da agricultura a partir de 1960, com o início da revolução verde, aumentou a produtividade das culturas pela introdução de cultivares altamente produtivas, fertilizantes, irrigação, pesticidas e transferência de tecnologia. Entretanto, a entrada de insumos nos agroecossistemas também aumentou, gerando preocupação, principalmente em relação ao ambiente. Tudo isso, deu origem a uma segunda revolução verde, com atenção voltada agora à conservação dos recursos naturais e direcionamento à uma agricultura sustentável.

O sistema de semeadura direta (SD) faz parte dessa segunda revolução verde por diversos motivos, sendo a prática de semeadura de culturas em solo com constante cobertura vegetal e com o mínimo de distúrbio, apenas o suficiente para a deposição das sementes e sua cobertura (DERPSCH et al., 2011). Os principais benefícios advindos do não revolvimento do solo e da presença de plantas de cobertura são a prevenção da erosão do solo pela proteção contra o impacto das gotas de chuva (CARDOSO et al., 2012; VAEZI; AHMADI; CERDÀ, 2017) e pelo aumento da agregação do solo pela presença de raízes (LI et al., 2017), melhoria ou manutenção dos atributos de fertilidade do solo e estímulo à atividade biológica (BALOTA et al., 2014), sequestro de carbono (ISLAM; REEDER, 2014; MANGALASSERY et al., 2015) e, também, a supressão da emergência de plantas daninhas (BRUST; CLAUPEIN; GERHARDS, 2014).

Esses benefícios refletem a utilização do SD ao redor do mundo: do círculo ártico aos 50° de latitude Sul, do nível do mar a 3000 m de altitude, de condições com baixa (250 mm) a alta (2000) precipitação pluvial anual, de pequenas a grandes áreas de cultivo e diversos tipos de solo (DERPSCH et al., 2010). Estima-se que a área cultivada mundialmente em sistemas conservacionistas cubra 12,5% da área agricultável (179,5 milhões ha), sendo a América do Sul o continente com a maior área

– 69,9 milhões ha (KASSAM; FRIEDRICH; DERPSCHE, 2017) e o Brasil com a segunda maior área no mundo – 31,8 milhões ha (KASSAM et al., 2015).

É de se esperar que em todos os cenários haja a presença de plantas daninhas e que, em diversas situações, as plantas de cobertura utilizadas no sistema não sejam capazes de suprimir totalmente a emergência dessas plantas daninhas. Com isso, há a dependência do uso de herbicidas que previnam a emergência das infestantes, surgindo a necessidade de se entender a dinâmica desses herbicidas num sistema onde há a presença de cobertura morta sobre o solo.

Os herbicidas que suprimem a emergência de plantas daninhas são chamados de pré-emergentes e permanecem por determinado período sorvidos nos colóides e na matéria orgânica do solo (MOS), sendo aplicados antes da emergência das plantas daninhas e culturas. No SD, havendo cobertura morta sobre o solo, pode haver interceptação do herbicida pela palha antes que chegue ao solo, além de mudanças no comportamento ambiental do herbicida pelas particularidades do sistema.

A interceptação do herbicida na palha está diretamente relacionada com a quantidade de resíduos sobre o solo, influenciando assim a quantidade de solo descoberto que recebe diretamente a calda de pulverização. Como exemplo, temos a interceptação de 90% do herbicida aplicado sobre uma área com 4.480kg ha⁻¹ de palha de trigo, ou seja, apenas 10% do aplicado chegou ao solo (BANKS; ROBINSON, 1986). Essa situação pode ocorrer no contexto de sistemas agrícolas onde não há pastejo das culturas de cobertura, as quais atingem elevadas quantidades de resíduos na superfície do solo.

Além dos benefícios ao solo e ambiente, a semeadura de culturas em áreas com resíduos de cultivos antecessores também causa outras mudanças no sistema, como na umidade do solo (CHEN et al., 2007; RAMAKRISHNA et al., 2006), temperatura (MONTENEGRO et al., 2013) e penetração de radiação solar. Esses são fatores chave que governam a emergência de plantas daninhas – pois mudam a disponibilidade de recursos e condições do meio (RADOSEVICH; HOLT; GHERSA, 2007) – e o comportamento dos herbicidas, uma vez que temperatura e umidade influenciam diretamente a degradação de herbicidas no solo (BENTO et al., 2016; DONG; SUN, 2016; LONG; LI; WU, 2014) e por consequência sua persistência no ambiente.

O herbicida após atingir determinada superfície pode ter vários destinos, como a absorção pelas plantas que o interceptaram, sorção no solo ou palhada, lixiviação, escoamento superficial com a água ou com os colóides do solo erodido, sendo o objetivo final, o controle das plantas daninhas. Para isso, deve-se conhecer como cada herbicida se comporta no ambiente para uma melhor predição dos possíveis destinos, bem como alocar os herbicidas de forma que menos perdas ocorram, direcionando o herbicida às plantas daninhas e, evitando assim, a contaminação de ambientes não-alvo.

O SD possui variações de acordo com a região e as culturas adaptadas a essa região, havendo diferentes combinações entre cultura antecessora e cultura semeada. Nesse sentido, dependendo da cultura, haverá o uso de herbicidas com características físico-químicas distintas. Assim, combinações específicas entre cultura e herbicida resultam em comportamentos diferentes. A dinâmica e o destino dos herbicidas muda, portanto, de acordo com: mudanças no solo advindas da presença de cobertura morta, manejo dado a planta de cobertura, quantidade de resíduos na superfície do solo entre outras. Além disso, intensidade luminosa, velocidade do vento e regime pluviométrico após a aplicação, assim como as características físico-químicas dos herbicidas utilizados devem ser consideradas no SD.

A importância de se entender a dinâmica de herbicidas nos SD aumenta à medida que aumentam as áreas que empregam esse sistema. Além disso, cresce a complexidade do sistema devido a presença de plantas daninhas resistentes e a necessidade de lançar mão de herbicidas com diferentes características físico-químicas. Diante do exposto, o objetivo desta revisão de literatura é explanar os principais fatores que influenciam a dinâmica de herbicidas em sistemas de semeadura direta.

2.2 Características do solo em sistema de semeadura direta e seu efeito na dinâmica de herbicidas

2.2.1 Umidade do solo

A infiltração de água no solo aumenta com a presença de plantas de cobertura (ALMEIDA et al., 2018) e também a perda de água do solo por evaporação é diminuída devido à barreira física exercida pela palhada (KADER et al., 2017). A degradação de herbicidas é fortemente influenciada pela umidade do solo (KAH; BEULKE; BROWN, 2007), uma vez que as bactérias responsáveis pela degradação das moléculas exercem atividade de acordo com a umidade disponível. Além disso, a degradação de herbicidas no solo, necessita que o produto esteja na solução do solo. A disponibilidade dos herbicidas na solução é maior quanto maior a umidade do solo (HARPER, 1994; LONG; LI; WU, 2014).

A influência de plantas de cobertura no conteúdo de água no solo ocorre principalmente nos primeiros centímetros do perfil, decrescendo em profundidades maiores (KADER et al., 2017). O SD, durante toda a estação de crescimento de uma cultura, pode resultar em maior conteúdo de água no solo até a profundidade de 60 cm no perfil, produzindo maior reserva de água (BLEVINS et al., 1971; TERAVEST et al., 2015). A umidade do solo varia de acordo com a quantidade de resíduos em superfície e também com a porcentagem de solo coberto (KALMÁR et al., 2013). Por exemplo, a evaporação cumulativa total de solo coberto com 4 t ha⁻¹ – 70% da superfície – de resíduos pode ser até 40% menor em relação ao solo nu (MAHDAVI et al., 2017). Dessa maneira, a degradação de herbicidas pode ser influenciada em função das variações no conteúdo de água do solo, causadas pela presença de plantas de cobertura.

A umidade do solo aumenta a taxa de degradação do herbicida S-metolachlor seguindo a ordem de 80 > 60 > 40 > 20% de conteúdo de água no solo; nesse estudo, a meia-vida do herbicida foi de 39,4 dias (d) na umidade de 20% e 23,4d na umidade de 80% (LONG; LI; WU, 2014). A meia-vida de atrazine foi três a quatro vezes menor em três tipos de solo quando se aumentou a umidade de 5 para 20% (DONG; SUN, 2016). Isso pode ser devido à maior atividade microbiana e a maior partição do herbicida na fase aquosa, tornando-se disponível à degradação na solução do solo.

Em outro estudo, a quantidade de pesticida degradado no sistema biobed (uma mistura de palha, turfa e solo colocada em uma cava em torno de 60 cm de profundidade utilizada para o tratamento de efluentes de agrotóxicos) foi maior quando utilizou-se a umidade de 60 e 90% da capacidade de campo (CC) comparado com o tratamento à 20% da CC (CASTILLO; TORSTENSSON, 2007). O herbicida hexazinone apresentou meia-vida de 125,9, 33 e 27,6d em umidades de 4, 10 e 18%, respectivamente e o simazine, de forma semelhante, exibiu meia-vida de 572,1, 23,1 e 19,7d na mesma ordem de regimes de umidade do hexazinone (GARCÍA-VALCÁRCEL; TADEO, 1999). A degradação do glyphosate também é influenciada pela umidade do solo, havendo degradação 2,9 e 3,6 vezes maior num solo com 60% da CC e saturado, respectivamente, em comparação ao tratamento com 20% da CC (BENTO et al., 2016). Em situações bastante contrastantes, a meia-vida do alachlor variou de 15,7 a 83,1d num solo com umidade igual à capacidade de campo para 82,8 a 281,4d na umidade de ponto de murcha permanente (WALKER; MOON; WELSH, 1992). A degradação do isoxaflutole também é mais rápida em solo mais úmido (TAYLOR-LOVELL; SIMS; WAX, 2002).

Em solos mal drenados, a atenuação da perda de umidade à atmosfera pela presença de plantas de cobertura pode causar um retardo na degradação de herbicidas. Isso é possível de ocorrer em virtude que ambientes com predomínio de condição saturada apresentam fauna microbiana anaeróbica, que promovem degradação mais lenta quando comparada ao metabolismo aeróbico. Mesmo não havendo literatura sobre a degradação de herbicidas em solos mal drenados no SD, pode-se inferir que a degradação é prejudicada na presença de cobertura. Nesse sentido, poderá ocorrer até mesmo problemas de *carryover* (efeito fitotóxico de um herbicida numa cultura resultante do residual do herbicida aplicado durante a estação de crescimento anterior) pela menor degradação do herbicida.

Tais resultados sugerem que há maior degradação de herbicidas no SD, porém, além da umidade do solo, diversos outros fatores influenciam a dissipação desses compostos. A sorção dos herbicidas na fase sólida do solo pode ser maior em SD devido ao maior conteúdo de carbono orgânico (CO), impedindo que ocorra a degradação (ALLETTO et al., 2013; ZABLOTOWICS et al., 2000). Assim, o impacto da maior umidade do solo nos SD sobre a dinâmica de herbicidas pode ser dado pelo

maior estímulo à atividade microbiana, havendo que se considerar outras mudanças no solo providas da presença de plantas de cobertura num longo prazo.

2.2.2 Temperatura do solo

A temperatura do solo varia conforme a quantidade de radiação solar que o atinge. Os resíduos de plantas de cobertura refletem a radiação que atingiria o solo diminuindo a evaporação e, por consequência, aumentando o conteúdo de água no solo, fazendo com que mais energia seja necessária para elevar a temperatura do solo (KOSKINEN; MCWHORTER, 1986). De maneira semelhante à umidade, as diferenças de temperatura do solo entre o SD e CC ocorrem nos primeiros centímetros do perfil do solo (KADER et al., 2017; MAHDAVI et al., 2017; ZHANG et al., 2009).

A mudança na temperatura entre solo nu e com presença de plantas de cobertura pode ocorrer desde variações discretas de 1 a 2°C (DRURY et al., 1998) até 7°C nos primeiros 5 cm de profundidade do solo; e de 8°C a 1 cm com cobertura do solo de 70% - 27,85°C no solo coberto e 35,85°C no solo nu (MAHDAVI et al., 2017). Até 10°C de diferenças a 5cm nos horários mais quentes do dia (de 32°C no solo coberto para 42°C no solo nu), havendo pouca diferença entre os sistemas nos horários relativamente mais frios (BENNETT; MATHIAS; LUNDBERG, 1972; LAL, 1974). Nesses estudos houve sempre redução na temperatura do solo quando o mesmo estava coberto por resíduos de culturas. Em outro estudo, não houveram diferenças na temperatura do solo entre o CC e SD (ALVAREZ; SANTANATOGLIA; GARCÍA, 1995).

A temperatura do solo é um dos fatores primordiais na degradação de herbicidas (BENTO et al., 2016; ZIMDHAL; CLARK, 1982), uma vez que a velocidade das reações químicas e os processos microbianos são dependentes dela (KOSKINEN; MCWHORTER, 1986; LONG; LI; WU, 2014). A degradação de alachlor, metolachlor e propachlor foi sempre maior em solo na temperatura de 30°C quando comparada às temperaturas de 10 e 20°C em solo arenoso e argiloso (ZIMDHAL; CLARK, 1982). Em outro estudo, o glyphosate foi degradado 8,4 vezes mais rápido na temperatura de 30°C em relação a 5°C (BENTO et al., 2016), havendo maior pronunciamento dessa diferença em condições de suficiente umidade do solo (60%

da capacidade de campo) e podendo persistir 30 vezes mais no solo frio (5°C) e seco (20% da capacidade de campo). Já para herbicidas como o S—metolachlor, a meia-vida pode chegar a 23,7 dias quando a 35°C, 26,3 dias a 25°C e 64,8 dias a 10°C (LONG; LI; WU, 2014). Para o isoxaflutole, a meia-vida encontrada foi de 13,9, 3,3, 1,3 e 0,8d nas temperaturas de 5, 15, 25 e 35°C, respectivamente (TAYLOR-LOVELL; SIMS; WAX, 2002).

Os estudos realizados até o momento avaliam o efeito de temperaturas contrastantes no comportamento dos herbicidas, não havendo trabalhos com variações discretas na temperatura do solo, como pode ocorrer se comparar o SD e CC. Por outro lado, mudanças consideráveis (10°C ou mais) podem afetar significativamente o comportamento dos herbicidas. No SD, a máxima variação que se observa está em torno de 10°C, mudando com a porcentagem de solo coberta por resíduos e o clima local.

De maneira geral, percebe-se que mesmo havendo temperaturas mais baixas no SD ainda existem condições suficientes para que o metabolismo microbiano haja na degradação dos herbicidas. Inclusive, temperaturas mais amenas podem causar aumento na biomassa microbiana devido ao menor quociente metabólico (ALVAREZ; SANTANATOGLIA; GARCÍA, 1995). A temperatura, junto com o maior teor de CO e conteúdo de água sob SD, pode explicar a maior biomassa microbiana nesse sistema (BALOTA et al., 2003).

Além disso, o efeito da menor temperatura do solo deve ser contrabalanceado com o maior conteúdo de água, ou seja, pode haver ação compensatória da maior umidade do solo em relação à menor temperatura no que diz respeito à degradação dos herbicidas. Exemplo disso é a maior degradação de glyphosate em condições de menor temperatura, mas adequada umidade, em relação ao solo quente, porém mais seco (BENTO et al., 2016).

2.2.3 Teor de matéria orgânica

A MOS é um material complexo que naturalmente ocorre no solo e exerce importante papel na dinâmica de pesticidas (SIMPSON; SIMPSON, 2017), sendo os resíduos de plantas a principal forma de entrada de recursos no sistema para sua

formação (KÖGEL-KNABNER, 2002). O SD apresenta, por conceito, a manutenção constante de resíduos de plantas (KASSAM et al., 2015), contribuindo para o aumento do teor de MOS (PRASAD et al., 2016) ou manutenção dos teores, uma vez que as operações de revolvimento do solo aceleram a mineralização da MOS (KABIRI; RAIESI; GHAZAVI, 2016; ZUBER et al., 2017).

A mudança no teor de MOS do SD em relação ao sistema convencional depende de diversos fatores, entre os quais estão a duração do sistema sob SD, o clima (KIBET; BLANCO-CANQUI, JASA, 2016), o tipo de culturas em rotação (AZIZ; MAHMOOD; ISLAM, 2013) e a quantidade de resíduos na superfície do solo (ABDULLAH, 2014). Tais mudanças decrescem quanto maior a profundidade no perfil do solo (ŠIMON et al., 2009). Diante da diversidade de resultados, foi realizada uma meta-análise reunindo 122 trabalhos que examinaram o efeito da rotação de culturas no acúmulo de carbono no solo, chegando-se a conclusão de que há 8,5% mais C no solo quando é introduzida uma cultura de cobertura no sistema de rotação (MCDANIEL; TIEMANN; GRANDY, 2014); considerando o fator de conversão 2 proposto por Pribyl (2010), mais atualizado que o clássico 1,724 de Van Bemmelen (1890), isso corresponde a 17% mais MOS.

O teor de MOS é fator fundamental na sorção de diversos herbicidas no solo, principalmente pelo mecanismo de partição hidrofóbica de herbicidas neutros – não ionizáveis (SHEA, 1989). Nesse sentido, a MOS ganha mais importância em virtude de que grande parte dos herbicidas com ação de solo pertencem a classe dos neutros, como as cloroacetamidas, dinitroanilinas, isoxaflutole, clomazone, entre outros (SENSEMAN, 2007). Além disso, mesmo os herbicidas ionizáveis apresentam sorção associada ao teor de MOS (HARPER, 1994), já que outras características importantes na sorção de herbicidas, como a capacidade de troca de cátions (CTC), estão associadas à presença de MOS (GRUBA; MULDER, 2015).

A maior adsorção de alguns herbicidas sob sistema de cultivo mínimo (LARSBO et al., 2009) ou SD (LOCKE; GASTON; ZABLOTOWICS, 1997) pode competir com os processos de degradação, aumentando a persistência no solo. Por outro lado, o maior teor de MOS pode estimular os microrganismos (BALOTA et al., 2003) do solo e aumentar a velocidade de degradação (GASTON; BOQUET; BOSCH,

2003). Dessa maneira, as duas situações devem ser consideradas na comparação entre SD e CC.

2.2.4 pH do solo

O pH do solo é uma medida da atividade dos íons hidrogênio (H^+) na solução do solo. O valor do pH é o inverso da atividade dos íons H^+ , ou seja, quanto maior o pH, menor é a atividade desses íons ou menos ácido é o solo (nesse caso, acidez ativa). A fase sólida do solo é formada por partículas de diferentes tamanhos, dentre os quais as argilas ($< 2\mu$) e os colóides argilosos ($< 1\mu$) são as frações responsáveis pela retenção de água e nutrientes. Com isso, herbicidas e outros compostos podem ficar retidos nas cargas dos minerais presentes no solo. A carga eletrônica líquida na superfície desses minerais é negativa e dependente do pH do solo. Sendo assim, quanto menor o pH, menor será a quantidade de cargas negativas expostas na superfície dos minerais, pois as mesmas estarão ocupadas pelos íons H^+ . Portanto, a acidez do solo deve ser corrigida (normalmente se utiliza o carbonato de cálcio – $CaCO_3$) em virtude de que em valores de pH muito baixos tem início a imobilização de nutrientes essenciais como o fósforo e o aparecimento de elementos tóxicos, como o Al^{+3} .

Alguns herbicidas são classificados como ionizáveis por sua molécula ter o comportamento de perder ou ganhar um próton, caracterizando-os como ácidos fracos ou bases fracas, respectivamente (HARPER, 1994). Os herbicidas ionizáveis, no entanto, apresentam uma propriedade chamada de constante de dissociação do ácido ou da base (pK_a ou pK_b), que se refere ao pH do meio onde 50% das moléculas estão associadas (OH) e 50% dissociadas (O^-). Portanto, de acordo com o pH do solo e o pK_a dos herbicidas, irão predominar diferentes formas moleculares.

Para os herbicidas ácidos fracos, quanto maior o pH do solo em relação ao seu pK_a , haverá a predominância de formas aniônicas, pois existirão menos H na solução do solo para tornar o herbicida associado. Já em pH's mais ácidos, maior será a concentração de herbicidas na forma associada. Dessa maneira, a sorção será menor quanto maior o pH do solo devido a repulsão do herbicida pelas cargas negativas das argilas. Por outro lado, maior sorção é esperada em pH mais baixo. Para herbicidas

bases fracas, quanto menor o pH do solo em relação ao seu pK_b , maior predominância da forma catiônica, portanto aumentando a sorção na superfície negativa das argilas. Para fins de compreensão geral pode-se observar a tabela 1.

Tabela 1 – Mobilidade e sorção no solo de pesticidas ácidos ou básicos¹.

Valor de pK_a ou pK_b	Espécie predominante do pesticida numa faixa normal de pH do solo (5 – 8)	Consequências ambientais
$pK_a < 3$	X^- (ânion)	Altamente móvel no solo; menos móvel em condições altamente ácidas
$pK_a > 10$	XH (neutro)	Se comporta como material não-iônico exceto sob condições extremamente alcalinas
pK_a 3-10	Proporção X/XH em função do pH do solo	Se o valor do pH é próximo do pK_a , a mobilidade é dependente do pH.
$pK_b < 4$	$(XH)^+$ ou X^+ (cátion)	Bastante imóvel (sorção nas argilas)
pK_b 4-11	Proporção $(XH)^+/X$ ou $X^+/X(OH)$ em função do pH do solo	Se o valor do pH é próximo do pK_b , a mobilidade é dependente do pH.
$pK_b > 11$	X ou X(OH) (neutro)	Se comporta como não-iônico, exceto sob condições extremamente ácidas

¹ Adaptado de Wauchope et al. (2002).

Os solos sob SD não são revolvidos quando há a aplicação de calcário para a correção da acidez, fazendo com que em muitas situações o pH do solo nesse sistema seja mais ácido (Tabela 2) (CIOTTA et al., 2002). Além disso, a aplicação de fertilizantes nitrogenados sem que haja a incorporação dos mesmos, pode acidificar o solo nas camadas mais superficiais (BLEVINS et al., 1983), tornando o pH semelhante na camada de 15-20cm entre CC e SD (LIMOUSIN; TESSIER, 2007). Outras fontes de variação do pH são a mineralização da MOS, nitrificação que ocorre na adição de fertilizantes amoniacais e exsudatos radiculares (LIMOUSIN; TESSIER, 2007). Ainda, a acidificação do solo pode não ocorrer sob SD dependendo da lixiviação de bases devido a menor precipitação pluvial, menor aplicação de fertilizantes com reação ácida e poder intrínseco do solo em tamponar a acidez (CIOTTA et al., 2002). Em outras situações, mesmo sob longos períodos de semeadura direta, o pH do solo pode inclusive ser menor; como exemplo, o pH do solo em 10 anos de SD era 5, ao passo que sob CC, o pH foi 4,4 (LAVORENTI et al., 2003).

Tabela 2 – pH do solo influenciado pelo sistema de cultivo.

Sistema de cultivo ¹	pH	Profundidade do solo (cm)	Período de experimento (anos)	Referência
CC	6,02	0-1	32	LIMOUSIN; TESSIER, (2007)
SD	5,31			
CC	6,07	1-3		
SD	5,56			
CC	6,42	3-5		
SD	5,57			
CC	6,28	5-10		
SD	5,78			
CC	6,39	10-15		
SD	6,12			
CC	6,09	15-20		
SD	6,4			
CC	5	0-5	21	CIOTTA et al. (2002)
SD	4,6			
CC	4,9	0-8	6	SLACK; BLEVINS; RIECK (1978)
SD	4,3			
CC	6,3			
SD	6,2			
CC	5,66	0-5	2	MAHÍA et al. (2007)
SD	5,38			

¹ Sistema de cultivo convencional (CC) e semeadura direta (SD).

Devido às pequenas diferenças nos valores de pH do solo entre o sistema convencional e direto (Tabela 2), talvez o pH não seja fator preponderante na dinâmica de herbicidas comparando os dois sistemas de cultivo, mesmo para herbicidas ácidos e bases fracas, cuja adsorção no solo é sensível ao pH. Além disso, há a possibilidade de correção da acidez com calagem sem incorporação até mesmo a 60cm de profundidade (CAIRES; BANZATTO; FONSECA, 2000; RENHEIMER et al., 2018) por dois fatores: (i) em sistema direto há a formação de canais pelas raízes em decomposição e macrofauna do solo, que permitem o movimento vertical descendente do calcário; (ii) a degradação dos resíduos na superfície do solo libera ácidos orgânicos de baixo peso molecular que se ligam ao Ca e Mg na superfície do solo e os levam para profundidades maiores, diminuindo a atividade do Al (RENHEIMER et al., 2018).

2.3 Sorção e interceptação de herbicidas no solo e nas plantas de cobertura

A sorção tanto no solo quanto na palha é um dos principais processos que governam a dinâmica de herbicidas. A sorção exerce função no sentido de indisponibilizar as moléculas para quaisquer processos de dissipação (degradação microbiana), transformação (volatilização e fotodecomposição) e transporte (lixiviação e escoamento superficial) no meio ambiente (ALLETTO et al., 2012), além de influenciar a eficiência dos herbicidas no controle de plantas daninhas (MILLS; WITT; BARRETT, 1989). Além da sorção, a interceptação pelos resíduos na superfície do solo pode afetar a dinâmica de herbicidas, uma vez que os herbicidas na superfície da palha estarão suscetíveis aos processos de fotodecomposição (CHAUHAN; GILL; PRESTON, 2006), volatilização e degradação microbiana (ASLAM et al., 2015) enquanto não forem carregados até o solo.

A interceptação dos herbicidas está intimamente relacionada à quantidade de resíduos na superfície do solo (ALLETTO et al., 2010). O SD apresenta, por vezes, uma grande proporção de solo coberto por resíduos de plantas de cobertura, formando uma barreira física que separa o herbicida aplicado do solo, impedindo a calda de pulverização chegar ao solo. A quantidade de palha e, por sua vez, a porcentagem de solo coberto varia conforme a cultura, sendo de aproximadamente 20t ha⁻¹ na cultura da cana de açúcar (CARBONARI et al., 2016), 7,6t ha⁻¹ de milho e lablab (ASLAM et al., 2015), 2,8t ha⁻¹ de trigo (JONES; BANKS; RADCLIFFE, 1990); entre outros (Tabela 3).

O processo de interceptação também depende da área superficial específica da palhada na superfície do solo; por exemplo, 1t ha⁻¹ de palha de cana de açúcar foi responsável por interceptar 50% da calda de pulverização (ROSSI et al., 2013), ao passo que 3,4t ha⁻¹ de palha de trigo foram necessárias para interceptar uma quantidade próxima a essa (CRUTCHFIELD; WICKS; BURNSIDE, 1986) (Tabela 3). Em virtude disso, pode-se inferir que a massa de resíduos na superfície do solo não é a forma mais adequada para avaliação da interceptação de herbicidas, embora a maioria dos trabalhos até então publicados têm essa forma de representação.

Tabela 3 – Influência de diferentes níveis de cobertura do solo na interceptação da calda de pulverização no momento da aplicação.

Quantidade de palha (t ha ⁻¹) ou cobertura do solo (%)	Calda de pulverização interceptada (%)	Planta de cobertura	Referência
3 (90) ¹	60	<i>Triticum aestivum</i>	GHADIRI; SHEA; WICKS, 1984
0,84	16		
1,68	43		
3,36	69		
6,72	89		
4,5	85	<i>Avena strigosa</i>	FORNAROLLI et al., 1998
9			
7,6	56	<i>Zea mays</i> + <i>Dolichos lablab</i>	ASLAM et al., 2015
1,7	14,4	<i>T. aestivum</i>	CRUTCHFIELD; WICKS; BURNSIDE, 1986
3,4	55,4		
5,1	53,01		
6,8	83,1		
3,4 (48)	51,36	<i>Z. mays</i>	JOHNSON; WYSE; LUESCHEN, 1989
6,7 (65)	69,55		
10,1 (77)	82,39		
2,25	65	<i>T. aestivum</i>	BANKS; ROBINSON, 1982
4,5	85		
9	99		
1	50		
2,5	75	<i>Saccharum officinarum</i>	ROSSI et al., 2013
5	90		
7,5	97		
10	99,4		
15	99,5		
2,24	68	<i>T. aestivum</i>	BANKS; ROBINSON, 1982
4,48	92		
6,72	99		

¹ valores entre parênteses indicam cobertura do solo em porcentagem

Percebe-se que grande parte dos herbicidas são interceptados pela palha em superfície, tornando-os dependentes de outros fatores para que não haja perda na eficiência do produto e/ou necessidade de aumento de dose. Um dos fatores é a chuva, que passa a exercer o papel de carreador do herbicida até o solo, sendo mais ou menos eficiente nesse processo dependendo da força com que as moléculas são sorvidas na palha, do tempo entre a aplicação do herbicida e a primeira chuva além do volume e intensidade da chuva.

A aplicação de herbicidas com ação de solo sobre a palhada normalmente ocorre após a aplicação de herbicidas pós-emergentes de ação total que formam a

cobertura morta (operação conhecida como dessecação), como paraquat e glyphosate. As condições climáticas e o intervalo entre essas operações determinam a composição química da palhada que recebe o herbicida residual. Os resíduos têm diferentes componentes (lignina, celulose, hemicelulose, fração solúvel em água e outros) e propriedades (polaridade, hidrofobicidade e aromaticidade) que conferem distinto padrão de sorção dependendo do tipo de resíduos e grau de decomposição (CASSIGNEUL et al., 2015) e da interação destes com as características físico-químicas dos herbicidas (ASLAM et al., 2013; CASSIGNEUL et al., 2015).

A degradação microbiana modifica a composição dos resíduos na superfície do solo e, à medida que a decomposição avança, aumenta o grau de hidrofobicidade e aromaticidade e diminui a polaridade dos resíduos de *A. strigosa* (Poaceae) *Brassica rapa* L. var. oleífera (Brassicaceae), *Trifolium pratense* (Fabaceae) e *Phacelia tanacetifolia* (Hydrophyllaceae) (CASSIGNEUL et al., 2015). Comportamento semelhante foi obtido para resíduos de milho decompostos de 0 a 98d em condições de laboratório e de 150 a 300d em condições de campo (ASLAM et al., 2013). Além dessas mudanças, há o aumento da área superficial específica dos resíduos, podendo haver maior quantidade de sítios potenciais para adsorção de herbicidas (BENOIT et al., 2008).

No estudo de Cassigneul et al. (2015), a sorção (medida K_d – coeficiente de partição entre herbicida e água em métodos específicos de determinação) de *S*-metolachlor e glyphosate foi 1,6 e 4,7 vezes maior, respectivamente, comparando o K_d de 0 a 56 dias de decomposição dos resíduos. No trabalho de Aslam et al. (2013), a sorção de *S*-metolachlor aumentou durante o processo de decomposição, mas sendo observado diferenças na sorção de glyphosate nos resíduos de milho em função do tempo de decomposição. Outros estudos também avaliaram o comportamento de glyphosate em resíduos de milho e encontraram baixa sorção, atribuindo a baixa afinidade por celulose e hemicelulose (ACCINELLI et al., 2005), ao seu caráter iônico (ASLAM et al., 2015) e a alta solubilidade desse herbicida (ASLAM et al., 2015; RAMPOLDI; HANG; BARRIUSO, 2011). O coeficiente de Freundlich (K_f) é semelhante ao K_d , porém medindo a sorção numa faixa de concentração dos herbicidas, pressupondo que a sorção seja independente da concentração. Para o herbicida cyanazine o K_f aumentou 17,4% nos resíduos de azevém coletados 44d em

relação aos 12d após a aplicação de paraquate, atribuindo-se às alterações decorrentes da desintegração física dos resíduos, aumentando a área superficial para adsorção dos resíduos mais envelhecidos (REDDY; LOCKE; GASTON, 1997). Já para a palha de *Vicia villosa* e *Secale cereale* o K_d de Chlorimuron-ethyl encontrado foi 63,6 e 42,1% maior, respectivamente, quando os resíduos foram envelhecidos de 0 a 44 dias (REDDY et al., 1995).

De acordo com os estudos supracitados, pode-se fazer uma relação com as características físico-químicas dos herbicidas, existindo diversos parâmetros que governam a dinâmica das moléculas (Tabela 4). A constante de partição octanol-água (K_{ow}) mede o grau de lipofilicidade/hidrofobicidade da molécula e pode dar um indício de adsorção a compostos orgânicos e solo (BEDMAR et al., 2011), havendo maior afinidade quanto maior o valor. Além do K_{ow} , a solubilidade em água (S_w) pode ser relacionada com a afinidade dos herbicidas na palhada, mas em diferentes caminhos, ou seja, quanto maior a S_w , menor é a probabilidade de sorção (MARBLE, 2015; POTTER et al., 2011).

A sorção foi influenciada pelo tempo de decomposição dos resíduos quando utilizou-se herbicidas medianamente lipofílicos e relativamente pouco solúveis (*S*-metolachlor, cyanazine e chlorimuron-ethyl). Avaliando-se glyphosate, altamente hidrofílico e solúvel em água, não houveram diferenças na sorção conforme o grau de decomposição da palha das culturas; nessa mesma linha, o K_d do herbicida metribuzin na palha de cana-de-açúcar não foi influenciado pelo tempo de decomposição desses resíduos, que variaram de 1 a 217d contando-se a partir da colheita da cana (SELIM; NAQUIN, 2011). A injúria de acetochlor em *Sorghum bicolor* foi maior que a de *S*-metolachlor e alachlor quando os três herbicidas foram aplicados sobre 6,72t ha⁻¹ de palha de trigo e aplicada lâmina de irrigação de 13mm (BANKS; ROBINSON, 1986); observa-se que o K_{ow} de acetochlor é a metade de *S*-metolachlor e alachlor (Tabela 4), podendo ter ocorrido menor adsorção de acetochlor na palha.

Tabela 4 – Solubilidade em água (S_w), constante de partição octanol-água (K_{ow}) e constante de equilíbrio de ionização (pK_a) dos herbicidas citados na seção 2.3.

Herbicida ¹	S_w (mg L ⁻¹)	K_{ow}	pK_a
Acetochlor	223 (25°C)	300	NI ²
Acifluorfen	120 (23 a 25°C)	15,6 (pH 5), < 10 (pH 7)	pK_a 3,86
Alachlor	200 (20°C)	794	NI
Ametryn	200 (pH 7,1, 22°C)	427 (pH 7, 25°C)	4,1
Atrazine	33 (pH 7, 22°C)	481	1,7
Bentazon	500 (20°C)	0,35	3,3
Chlorimuron-ethyl	11 (pH 5), 450 (pH 6,5)	320 (pH 5), 2,3 (pH 7)	4,2
Clomazone	1100 (25°C)	350	NI
Clopyralid	1000 (25°C) (ácido)	-1,85 (pH 5), -2,63 (pH7)	2,3
Cyanazine	171 (25°C)	127	1,6
Dicamba	4500 (25°C)	-0,54	1,87
Diclosulam	117 (pH 5, 20°C)	26,3 (pH 5), 0,89 (pH 7)	4,09
Diketonitrile	326 (pH 5,5)	2,5	1,1 ³
Diuron	42 (25°C)	589	NI
Fluometuron	110 (22°C)	242 (25°C)	NI
Glyphosate	15700 (pH 7, 25°C) (ácido)	6×10^{-4} a $1,7 \times 10^{-3}$	2,6; 5,6; 10,3
Hexazinone ⁴	33000 (25°C)	15 ²	NI
Imazapyr	11272 (pH 7, 25°C)	1,3	1,9; 3,6; 11
Imazaquin	60 (25°C) (forma ácida)	2,2	3,8
Isoxaflutole	6,2 (pH 5,5)	208,9	NI
Metribuzin	1100 (20°C)	44,7	1
Norflurazon	28 (25°C)	2,45 (25°C)	NI
Pendimethalin	0,275 (25°C)	152000	NI
S-metolachlor	488 (20°C)	794 (25°C)	NI
Sulfentrazone	110 (pH 6) 780 (pH 7)	9,8 (pH 7)	6,56
Tebuthiuron	2570 (20°C)	671	NI
Trifluralin	0,3 (25°C)	118000 (25°C)	NI

¹ Senseman (2007); ² NI = não ionizável; ³ Alletto et al. (2012); ⁴ Ganapathy (1996)

A sorção dos herbicidas na palha pode ser comparada a sorção no solo e diversos estudos demonstram maiores coeficientes de sorção na palha em relação ao solo. A sorção de atrazine foi 10 vezes maior nos resíduos de cana-de-açúcar em relação ao solo do estudo (SELIM; ZHU, 2005; ZHU; SELIM, 2001), embora haja

dessorção de 63,67% do aplicado (SELIM; ZHU, 2005). O K_d de metribuzim na palha de cana-de-açúcar foi de 11,29mL g⁻¹ e de 1,25mL g⁻¹ no solo (SELIM; NAQUIN, 2011). Em amostras de solo, resíduos de milho e aveia, o K_d de isoxaflutole foi 2,53 (K_d médio do solo para 8 tipos de cultivo), 44,7 e 16,8L kg⁻¹, respectivamente (ALLETTO et al., 2012). Nesse mesmo estudo foi avaliado o K_d do diketonitrile – derivado da hidrólise do isoxaflutole (TAYLOR-LOVELL; SIMS; WAX, 2002) – no solo, encontrando-se K_d médio de 0,1L kg⁻¹; com base nesses resultados, vale ressaltar que a S_w do diketonitrile é 52 vezes maior que a do isoxaflutole, e o log K_{ow} , 5,8 vezes menor (Tabela 4). Boyd, Xiangcan e Lee (1990) encontraram que a sorção de compostos não iônicos (benzene, ethyl-benzene e 1,2,3-trichlorobenzene) na palha de milho foi 35 a 60 vezes maior que na superfície do solo com 1,9% de MO e a absorção foi inversamente relacionada à S_w . Embora esses compostos não sejam herbicidas, pode ser feita alusão ao comportamento de herbicidas não iônicos quando associados à palha. Na palha de *A. strigosa* (3.700kg ha⁻¹), todo o imazaquin e sulfentrazone, metade do metribuzin e praticamente nada de pendimethalin foram lixiviados com 48mm de chuva 24h após a aplicação (RODRIGUES; LIMA; YADA, 2000), podendo-se relacionar novamente com a S_w e o K_{ow} desses herbicidas.

Por outro lado, o K_f de glyphosate nos resíduos de milho e soja foi de 4,17 e 4,7L kg⁻¹ com quase totalidade sendo dessorvido (RAMPOLDI; HANG; BARRIUSO, 2011), onde no solo o K_d do glyphosate pode chegar a 1.173L kg⁻¹ (MUNIRA; FARENHORST; AKINREMI, 2018) e apresentar dessorção muito baixa (ORTIZ et al., 2017). Vale lembrar que o glyphosate deve ser tratado de forma específica, uma vez que a adsorção no solo é dada por mecanismo de troca de ligantes, adsorvendo-se nos óxidos de Fe e Al onde o fosfato seria adsorvido (BORGGAARD; GIMSING, 2008).

A interceptação e sorção dos herbicidas na palha é considerável, havendo de ser contornadas para não haver decréscimo no controle de plantas daninhas. A chuva é o principal evento para carrear os herbicidas até o solo e evitar esse problema (DANG et al., 2016). Diversos estudos têm avaliado o efeito da chuva em remover os herbicidas da palha com diferentes frequências, intensidades (ASLAM et al., 2015) e volumes de chuva (ARALDI et al., 2015). O potencial da chuva em lixiviar os herbicidas está relacionado a dessorção dos herbicidas na palha. Assim como a sorção, lixiviação na palha pode ser relacionada a S_w dos herbicidas, sendo que os mais

solúveis são mais rapidamente e mais facilmente removidos da palha (DANG et al., 2016). Por exemplo, a dessorção do isoxaflutole foi de apenas 50% na palha de milho, mas quase todo o seu metabólito diketonitrile foi dessorvido, provavelmente por ser mais solúvel em água (ALLETTO et al., 2012).

A quantidade de chuva para lixiviar 90% dos herbicidas atrazine, clomazone, diuron, hexazinone e metribuzin, em 10t h⁻¹ de palha de cana-de-açúcar, foi de 42,37, 34,96, 23,36, 17,92 e 13,35mm, respectivamente (ARALDI et al., 2015). Paralelamente, a solubilidade desses herbicidas aumenta na ordem diuron > clomazone = metribuzin > hexazinone, e o K_{ow} na ordem hexazinone > metribuzin > clomazone > diuron, evidenciando que um só parâmetro não é suficiente para explicar o comportamento dos compostos. Nesse mesmo estudo, nenhum traço de pendimethalin foi encontrado na água que transpôs a palha mesmo após 100mm de chuva simulada. Resultados semelhantes foram obtidos na recuperação de pendimethalin nos resíduos de *V. villosa* e *T. aestivum*, que foi de apenas 1% mesmo após três chuvas simuladas de 20mm cada (GASTON; BOQUET; BOSCH, 2003). Nesse mesmo estudo os autores ressaltam que 99% do pendimethalin poderiam ter ficado distribuídos entre a sorção na palha, volatilização e fotólise. No caso do fluometuron, de 20 a 32% foi recuperado após três chuvas de 20mm (GASTON; BOQUET; BOSCH, 2001).

O tempo entre a aplicação e a primeira chuva também é fator importante, tanto para evitar as perdas de eficiência do herbicida quanto para os riscos de contaminação de locais não-alvo, caso ocorram chuvas intensas. Com o passar do tempo entre a aplicação e a chuva, a lixiviação dos herbicidas na palha torna-se mais difícil e os mesmos podem estar sujeitos aos processos de volatilização e fotólise.

A maior parte dos herbicidas é lixiviada nas primeiras precipitações e a taxa de lixiviação decresce nas próximas chuvas (DANG et al., 2016). Obviamente, menos herbicida estará disponível à lixiviação, mas também há incremento na força de sorção nos resíduos conforme o tempo passa (GASTON; BOQUET; BOSCH, 2001). Grandes proporções do herbicida podem ser lavadas da palha mesmo sob longos períodos sem chuva (GHADIRI; SHEA; WICKS, 1984), porém esse é o caso de herbicidas não voláteis e não fotodecomponíveis. Por exemplo, o controle de *Ipomoea hederifolia* e *I. quamoclit* com sulfentrazone não foi afetado mesmo 90 dias sem chuvas após a

aplicação sobre $10t\ ha^{-1}$ de palha (CORREIA; CAMILO; SANTOS, 2013), podendo-se associar ao fato de não ser suscetível à fotodecomposição e volatilização (SENSEMAN, 2007). A meia-vida de trifluralin e pendimethalin aplicados na superfície do solo pode ser de 2 e de 4 a 6 dias, respectivamente, dependendo do solo (SAVAGE; JORDAN, 1980). Portanto, herbicidas com alta pressão de vapor (altamente voláteis), como nesse caso, necessitam de chuvas tão logo quanto forem aplicados.

Além das características físico-químicas dos herbicidas, é sugerido que a formulação pode influenciar a transposição do herbicida na palha. A passagem do herbicida alachlor pela palha de milho foi de duas a três vezes maior sob formulação granulada quando comparada às formulações microencapsulada ou líquida, proporcionando melhor controle de plantas daninhas no SD (JOHNSON; WYSE; LUESCHEN, 1989). Mesmo assim, o efeito da formulação desapareceu após a ocorrência de chuvas, demonstrando haver influência da formulação na transposição dos herbicidas na palha, mas não na sorção. No trabalho de Petersen, Shea e Wicks (1988) também não foram observadas diferenças entre as formulações concentrado emulsionável e microencapsulada na lixiviação dos herbicidas metolachlor, alachlor e acetochlor. Formulações mais solúveis e microencapsuladas podem permitir maior transposição de herbicidas na palha (PRICE; KELTON, 2016), entretanto, não há indícios de que diminuam a sorção nos resíduos. Uma possibilidade é a de que formulações microencapsuladas confirmem menor volatilização até que a chuva ocorra e faça a transposição do herbicida na palha. Em vista da interceptação dos herbicidas pela palha, formulações menos voláteis como suspensão encapsulada de clomazone (clomazone CS), formulação microencapsulada, baseada em água, de pendimethalin (Prowl® H₂O) são mais indicadas para aplicação no SD.

O herbicida passa a interagir com o solo após transpor a camada de palha. Nesse caso, as mudanças no solo advindas da adoção do SD podem ter efeito na sorção dos herbicidas no solo. Entre temperatura, pH, teor de umidade e MOS, talvez a última tenha o maior efeito. Embora temperatura e umidade sejam primordiais na dinâmica de herbicidas, ocorrem variações no decorrer da estação de crescimento de uma cultura, podendo haver períodos mais quentes e úmidos e vice-versa; no caso do pH, pode haver sorção dos herbicidas diferenciada de acordo com a sua faixa no

solo, mas são poucos os casos em que a mudança no pH do solo em decorrência da utilização do CC ou SD modificou a sorção de herbicidas (SHANG; ARSHAD, 1998). Já o teor de MOS é o parâmetro mais frequentemente associado às mudanças na sorção de herbicidas quando se utilizam diferentes sistemas de cultivo.

Extensa revisão de literatura foi realizada por Alletto et al. (2010) comparando diferentes parâmetros relacionados a sorção (K_d , K_f e K_{oc}) de herbicidas no solo entre o CC (<30% da superfície do solo com plantas de cobertura) e conservacionista (>30% de solo coberto). Na maior parte dos trabalhos a sorção dos herbicidas foi correlacionada com o conteúdo de CO. Na profundidade de 0 a 10cm o teor de CO foi 49,3% maior sob semeadura direta em relação ao CC, estando de acordo com o apresentado pela meta-análise de McDaniel, Tiemann e Grandy (2014) e refletindo em maior adsorção da maioria dos herbicidas analisados, principalmente para os não iônicos (acetochlor, alachlor, metolachlor e norflurazon).

Os herbicidas chlorimuron-ethyl e sulfentrazone mesmo sendo não iônicos apresentaram maior adsorção no solo quanto maior o conteúdo de CO. Esse fato pode ser parcialmente explicado pela correlação positiva entre o CO e a CTC do solo (GRUBA; MULDER, 2015). Dessa forma, quanto maior o CO, maior a CTC e possivelmente maior é a adsorção de chlorimuron e sulfentrazone (KERR; STHALMAN; DILLE, 2004; REN; TENG; ZHOU, 2014). Acifluorfen, atrazine e bentazon não apresentaram mudanças na sorção possivelmente por que também o CO mudou pouco nos seus respectivos estudos.

A falta de relação entre CO e a sorção do diclosulam pode estar relacionada a sua maior S_w e menor K_{ow} , não sendo a prática de cultivo um fator de maior significância; nesse caso, é importante ressaltar a equação da correlação negativa da S_w e positiva do K_{ow} com o K_{oc} (WAUCHOPE et al., 2002) apresentada pela equação de Gao, Govind e Tabak (1996) [$\log(K_{oc}) = 0.4057 \log(K_{ow}) - 0.4155 \log(S_w) + 2.3739$], o que também pode explicar o comportamento do diclosulam. De maneira semelhante, a sorção de imazapyr (altamente solúvel e de baixa lipofilicidade – Tabela 4) mesmo sendo baixa, foi apenas detectada sob semeadura direta, não havendo detecção de herbicida sob CC; nessa situação, a correlação foi positiva com o conteúdo de argila e CTC, negativamente correlacionada com o pH e independente do CO do solo (PORFIRI et al., 2015).

Em vista do exposto, torna-se difícil prever se haverá prejuízo no controle de plantas daninhas quando os herbicidas são aplicados sobre a cobertura morta, porém, algumas considerações podem ser feitas: (i) normalmente a sorção de herbicidas aumenta conforme o grau de decomposição da palha para herbicidas lipofílicos, não iônicos e pouco solúveis em água; (ii) considerando o tempo de envelhecimento da palha nos trabalhos publicados, acredita-se não haver tanta influência desse fator no controle de plantas daninhas, uma vez que os agricultores buscam semear as culturas tão logo quanto as condições permitam, em torno de 30 dias ou menos após a dessecação das plantas de cobertura; (iii) em condições de campo, a desorção dos herbicidas na palha pela chuva parece ser o fator chave de haverem poucos relatos no decréscimo de controle de plantas daninhas, apesar da considerável interceptação da calda pulverizada e da alta sorção dos herbicidas na palha se comparada ao solo; (iv) pode haver decréscimo de controle no caso de herbicidas suscetíveis à volatilização e fotólise e quando o período entre a aplicação e a primeira chuva for maior que a meia-vida desses herbicidas na palha; (v) herbicidas que não tem o conteúdo de CO como fator preponderante da adsorção no solo terão sorção menos afetada em SD.

2.4 Transporte

2.4.1 Volatilização

A volatilização é o processo de passagem de uma substância para a fase de vapor e está estreitamente relacionada às características físico-químicas dos herbicidas (S_w e pressão de vapor) e às condições do meio em que estão, como temperatura, velocidade do vento e umidade. A volatilização é favorecida em condições de alta temperatura devido as substâncias tenderem à fase de vapor; o vento na interface líquido-ar pode carregar junto consigo as moléculas e, quanto maior a velocidade, maior é a volatilização; quanto maior a umidade do solo, maior é a disponibilidade de moléculas, podendo aumentar as chances de volatilização (BEDOS et al., 2002).

No caso do SD, os herbicidas retidos na palha estão propensos à volatilização devido à que estão expostos a temperaturas maiores em relação a quando são

incorporados no solo ou quando passam a camada de palha pela ação da chuva. Por exemplo, a injúria de plantas de *Abutilon theophrasti* por clomazone quando aplicado em pré-plantio incorporado foi de 27%, de 57% no solo nu sem incorporação e de 97% quando aplicado sobre palha de milho (62% de cobertura do solo) (THELEN; KELLS; PENNER, 1988); os autores atribuem esse comportamento à maior área superficial exposta à volatilização do herbicida sobre a palha e a maior umidade do solo, que disponibiliza mais herbicida para ser volatilizado. Similarmente, a volatilização de S-metolachlor medida 3d após a aplicação foi de 6 e 10% no solo nu ou coberto com palha de milho, respectivamente (entre 40 e 55% de solo coberto) (BEDOS et al., 2017); os autores atribuíram três causas a esse comportamento: 1) maior adsorção do herbicida na palha em relação ao solo; 2) a palha apresenta uma superfície de troca com o ar maior que a do solo; 3) o solo com palha apresentou maior conteúdo de água em relação ao solo nu, o que pode ter disponibilizado mais herbicida.

Além disso, o solo coberto apresenta menor evaporação (MAHDAVI et al., 2017) e menor temperatura (KADER et al., 2017), diminuindo as chances de volatilização após o herbicida ter transposto a palha, havendo também o efeito da formulação. Por exemplo, a volatilização de metolachlor foi de 22% em solo coberto e de 32% sob CC (WEBER; TAYLOR; WILKERSON, 2006) que, segundo Alletto et al., (2010) isso foi devido ao maior conteúdo de água no solo coberto, diminuindo a temperatura e, portanto, acarretando menor volatilização; nesse caso é importante ressaltar o balanço entre umidade e temperatura no solo, uma vez que a maior umidade pode potencializar a volatilização por disponibilizar mais herbicida na solução do solo (BEDOS et al., 2000).

A volatilização de atrazine foi maior quando aplicado sobre palha de milho e centeio, mas foi drasticamente menor em relação ao solo nu após uma irrigação de 10mm – no solo nu, 4% de volatilização a 25°C e 9% a 35°C; no solo coberto, 2% a 25°C e 6% a 35°C; além disso, a formulação de atrazine em cápsulas de amido diminuiu próximo a 100% a volatilização nas mesmas condições supracitadas (GISH; SADEGHI; WIENHOLD, 1995). Nessa linha, a volatilização de alachlor nas formulações comercial e cápsulas de amido foi de 14% em solo nu; já no solo coberto com palha, foi de 9% na formulação comercial e 4% sob cápsulas de amido (WIENHOLD; GISH, 1994). Deve-se ressaltar nesse estudo que a formulação

comercial permaneceu mais de 60% associada à palha, enquanto menos de 5% da formulação em cápsulas de amido.

Assim, o impacto do método de cultivo sobre a volatilização de herbicidas deve ser avaliado sob dois cenários: o primeiro é quando o herbicida é interceptado pela palha, estando sujeito a altas temperaturas e à incidência do vento; o segundo cenário é quando o herbicida transpõe a palha, tornando-se de certa maneira protegido da volatilização pela menor temperatura e menor incidência do vento. Nas situações em que a cobertura do solo não é 100%, a palha pode causar o efeito reverso, uma vez que a maior umidade do solo disponibiliza mais herbicida, causando maior volatilização (THELEN; KELLS; PENNER, 1988).

Atualmente, tem-se evoluído para a síntese de formulações de herbicidas que diminuam o potencial de deriva por volatilização (JOSEPH; SANDERS; MARSHALL, 2017; SOSNOSKIE et al., 2015) e melhoram a eficiência agrônômica. Exemplo disso são as formulações microencapsulada de clomazone e pendimethalin e o sal colina de 2,4-D.

2.5 Transformação

2.5.1 Biodegradação

A biodegradação é um dos fenômenos mais importantes na degradação de herbicidas (FENNER et al., 2013). Esse processo depende de diversos fatores, como umidade, temperatura, quantidade e abundância de microrganismos, e competição com os mecanismos de sorção, cujas variações são interconectadas e afetadas pelo sistema de cultivo (ALLETTO et al., 2013; BENTO et al., 2016; DONG; SUN, 2016; LONG; LI; WU, 2014). Como mencionado anteriormente, sob SD normalmente é maior a umidade do solo, teor de MOS e atividade microbiana, sendo menores as flutuações de temperatura. O balanço entre essas variantes produzirá maior ou menor velocidade de biodegradação.

A revisão de literatura feita por Alletto et al. (2010) abordou largamente a degradação de herbicidas de acordo com os sistemas de cultivo. Os autores destacaram haver situações altamente contrastantes na degradação de herbicidas,

por vezes sendo mais rápida, equivalente ou mais lenta sob sistemas conservacionistas e CC.

A degradação mais rápida sob SD frequentemente é relacionada a maior atividade microbiana no solo com plantas de cobertura, dependendo também do tipo de planta de cobertura. Nesse sentido, quantidades ínfimas de fluometuron foram recuperadas após 60d de incubação no solo sob SD com vegetação nativa ($0,82\text{t ha}^{-1}$) e trigo ($5,62\text{t ha}^{-1}$), ao passo que utilizando *V. villosa* ($2,42\text{t ha}^{-1}$) foi encontrado 36% do herbicida aplicado (GASTON et al., 1986); ainda nesse trabalho, a meia-vida do fluometuron foi 113% menor sob SD (15d) em comparação ao CC (32d) para qualquer planta de cobertura, indo de acordo com a maior atividade e biomassa microbiana. Similarmente, a meia-vida de pendimethalin foi 44% maior sob CC do que em SD nas mesmas configurações do experimento supracitado (GASTON; BOQUET; BOSCH, 2003). Num solo sob 10 anos de SD, a meia-vida do diclosulam foi de 67d e de 87d sob CC (LAVORENTI et al., 2003), concordando com a maior atividade microbiana no primeiro sistema. Em quatro anos de estudo, a persistência de alachlor e cyanazine foi duas vezes maior sob CC em comparação ao SD (SADEGHI; ISENSEE, 1997).

A menor degradação é normalmente relacionada à competição entre os processos de retenção e degradação, sendo que a maior sorção de herbicidas devido ao aumento no teor de MOS pode indisponibilizar as moléculas para os processos de degradação. A quantidade de $^{14}\text{CO}_2$ evoluído em relação à mineralização de sulfentrazone foi de 2,1% sob CC mas apenas de 1,7% sob SD, atribuindo-se a maior sorção do herbicida nesse sistema (REDDY; LOCKE, 1998). A degradação de 2,4-D foi de 78 a 82% em comparação a 28 a 40% e de fluometuron 48 a 60% contra 5 a 17% no solo em relação a palha, respectivamente (ZABLOTOWICS; LOCKE; SMEDA, 1998); mesmo sendo maior a flora (100 vezes) e atividade microbiana (6 vezes) na palha em relação ao solo, a menor degradação na palha foi devido a maior sorção em relação ao solo, indisponibilizando os herbicidas para a degradação. Dada essa competição, Alletto et al. (2013) propuseram uma relação entre biomassa microbiana e K_d (BM K_d^{-1}), cuja correlação com a mineralização do herbicida *S*-metolachlor foi maior quando se correlacionou a mineralização apenas com a biomassa microbiana; inclusive nesse estudo, a mineralização foi negativamente correlacionada com o K_d e conteúdo de CO, evidenciando a competição entre sorção e degradação. Em

contrapartida, a degradação de fluometuron foi maior no solo sob SD com resíduos de azevém na superfície do solo, sendo atribuído à maior atividade microbiana e enzimática no solo (ZABLOTOWICS; LOCKE; GASTON, 2007); vale ressaltar nesse estudo que a palha na superfície do solo não influenciou o K_d do herbicida, portanto não havendo competição entre sorção e degradação mesmo havendo 127% mais CO em relação ao CC sem palha. Por outro lado, em outro estudo a degradação de fluometuron foi maior sob CC ($t_{1/2} = 9,2d$) em relação ao SD ($t_{1/2} = 19,8d$) a 2cm de profundidade no solo, havendo nesse caso maior influência da sorção (K_f CC = 1,88 e K_f SD = 7,12) em relação a biomassa e atividade microbiana (ZABLOTOWICS et al., 2000).

A diferenças entre os estudos de Alletto et al. (2013) e Zablotowics, Locke e Gaston (2007) podem residir nas características físico-químicas dos herbicidas em questão. Enquanto o *S*-metolachlor possui $\log K_{ow} = 2,89$ e $K_{oc} = 200mL g^{-1}$, o fluometuron tem $K_{ow} = 2,38$ e $K_{oc} = 100mL g^{-1}$; portanto, herbicidas com menor resposta da sorção ao CO do solo tenham menor influência da competição entre degradação e sorção, sendo degradados mais rapidamente em função da maior atividade microbiana ainda que o CO do solo seja maior; a mesma relação pode ser feita para o estudo de Lavorenti et al. (2003), onde a degradação de diclosulam (herbicida polar, com $\log K_{ow} = 1,42$ e $K_{oc} = 90mL g^{-1}$) foi maior mesmo havendo 55% mais CO no SD em relação ao CC. Obviamente, tal observação deve ser tomada como um indício, uma vez que cada experimento possui condições específicas.

A causa da menor degradação de herbicidas sob SD também pode ser porque a maior disponibilidade de CO pode desviar o uso dos herbicidas como fonte de carbono para os microrganismos (LOCKE; HARPER, 1991). Ainda, os herbicidas podem formar resíduos ligados com as plantas de cobertura, diminuindo a disponibilidade à biodegradação. Por exemplo, os resíduos ligados de Glyphosate compreenderam $59,7\% \pm 2,8\%$ da dose aplicada nos resíduos de *S. alba* e $27,2 \pm 0,8\%$ na palha de *Vicia sativa*, *Lolium hybridum* e *V. sativa* + *A. sativa*, enquanto que no solo apenas $9 \pm 1,1\%$ (CASSIGNEUL et al., 2016); isso se refletiu em degradação mais rápida no solo ($t_{1/2}$ no solo = 20d; $t_{1/2}$ nas plantas de cobertura = 28 a 47d). Resultados semelhantes foram obtidos com glyphosate em plantas verdes de *Brassica napus* (MAMY; BARRIUSO; GABRIELLE, 2016): foi realizada uma aplicação simulada de

glyphosate como se fosse em uma operação de dessecação de *B. napus* no estágio de 4 folhas e quantificada a dinâmica do herbicida no solo em comparação às folhas da planta; concluiu-se que a absorção do glyphosate pelas folhas de *B. napus* protege o herbicida da degradação, formando-se o dobro de resíduos ligados e aumentando a meia-vida quatro vezes em relação a aplicação direta no solo nu.

As condições climáticas também influenciam a biodegradação de herbicidas diretamente nos resíduos das plantas. A degradação de *S*-metolachlor na palha foi maior num regime de chuva leve e frequente (6mm h⁻¹, 2mm duas vezes por semana, $t_{1/2} = 32d \pm 11$) em relação ao regime de chuva intensa e infrequente (20mm h⁻¹, 8mm duas vezes por mês, $t_{1/2} = 49d \pm 14$) (ASLAM et al., 2015); tal resultado ocorreu devido à manutenção da umidade no regime frequente e de baixa intensidade, diminuindo os intervalos de baixa umidade e potencializando a degradação microbiana. Portanto, pode ser maior a degradação de herbicidas em situações semelhantes.

A complexidade dos fatores envolvidos na biodegradação de herbicidas sob SD em comparação ao CC leva a conclusões distintas em cada situação, não havendo resultados consistentes para afirmar se a biodegradação é maior ou menor. Talvez os estudos devam se aprofundar em descobrir quais populações microbianas especificamente se desenvolvem quando se utilizam diferentes tipos de plantas de cobertura, acoplando isso à degradação preferencial de um ou outro herbicida.

2.5.2 Fotólise

A fotólise é a quebra de ligações químicas por ação da luz, ocorrendo quando a energia das ligações químicas é inferior à energia incidente sobre determinada ligação (SCHWARZENBACH; GSCHWEND; IMBODEN, 2003). Os herbicidas quando aplicados diretamente sobre o solo ou na palha, ao não serem incorporados, estão sujeitos ao processo de fotólise dependendo da sensibilidade das moléculas a esse processo (GASTON; BOQUET; BOSCH, 2003). A fotólise pode ser direta, quando a própria molécula absorve energia (importante somente para compostos que absorvem luz no espectro solar – $\lambda > 290\text{nm}$), ou indireta, quando um sensibilizador (matéria orgânica dissolvida, oxigênio singleto, radical hidroxila, peróxido de hidrogênio,

ozônio) recebe energia e a transfere para outra molécula (SCHWARZENBACH; GSCHWEND; IMBODEN, 2003).

Os herbicidas podem ser fotodegradados direta ou indiretamente e pelo menos 83 ingredientes ativos são potencialmente fotodegradáveis (REMUCAL, 2014). Desses, diversos são aplicados sobre o solo e, no caso do SD, sobre a palha. Grupos químicos como cloroacetamidas (ex.: alachlor, *S*-metolachlor), dinitroanilinas (pendimethalin, trifluralin), imidazolinonas (imazethapyr), sulfonilureas (chlorimuron-ethyl), triazinas (atrazine) e triazinonas (metribuzin) estão nessa lista.

A fotólise de herbicidas aplicados na superfície do solo por falta de incorporação é documentada, porém a energia da luz visível (> 400nm) não é suficiente para degradar algumas moléculas. No caso de imazaquin e imazethapyr aplicados na superfície do solo, a fotólise em solo úmido e de textura grosseira foi de 50% após exposição à luz ultravioleta (< 400nm) possivelmente pela maior disponibilidade do herbicida, porém não havendo fotólise sob incidência de luz visível (CURRAN et al., 1992). No caso de trifluralin, além de ser bastante volátil, a fotólise aumenta conforme o aumento de MOS, provavelmente por fotólise indireta (DIMOU; SAKKAS; ALBANIS, 2004); tal fato pode potencializar a fotodegradação desse herbicida em SD devido ao maior teor de MOS. O pendimethalin também é suscetível à fotólise na superfície do solo sob luz solar, onde no experimento de Dureja e Walia (1989) 22% do herbicida foi fotolizado durante um mês de exposição. A fotodecomposição de pendimethalin e trifluralin foi de 9,9 e 18,4%, respectivamente, após 7d de exposição à luz solar (PAROCHETTI; DEC, 1978); vale ressaltar que a meia-vida de trfluralin e pendimethalin na superfície do solo pode ser tão curta quanto 2 e 5d, respectivamente (SAVAGE; JORDAN, 1980) e, portanto, outros mecanismos de dissipação podem prevalecer em relação à fotólise. No estudo de Savage e Jordan (1980), o sombreamento do solo diminuiu as perdas de pendimethalin de 70 para 5% em relação à exposição solar por 7d.

O conhecimento da suscetibilidade das moléculas à fotólise é importante no sentido de selecionar o herbicida correto para cada situação. Embora a grande maioria dos trabalhos cite a possibilidade de fotodegradação dos herbicidas quando interceptados pelos resíduos na superfície do solo, não há estudos que avaliem diretamente a fotodegradação em sistemas de semeadura direta.

2.6 Considerações finais

A utilização do SD traz diversos benefícios ao ambiente, principalmente no que concerne à proteção do solo contra a erosão, melhoria nos atributos físico-químicos, controle de plantas daninhas e sequestro de dióxido de carbono. Em contrapartida, há a necessidade da utilização de herbicidas para a formação da cobertura morta das plantas de cobertura. A cobertura morta muitas vezes não é suficiente para controlar fluxos seguidos de emergência de plantas daninhas. Em virtude disso, é preciso o uso de herbicidas com ação de solo, que tem sua dinâmica ambiental modificada pelas condições do sistema de semeadura direta. Diante disso, essa revisão de literatura destacou seis principais conclusões:

1) Entre as principais condições do solo modificadas com a introdução do sistema de semeadura direta, temperatura, umidade, pH e matéria orgânica, esta última é a que mais impacta a dinâmica de herbicidas entre sistemas de cultivo.

2) A interceptação dos herbicidas depende da quantidade de solo coberto pela palha e a sorção é função das características físico-químicas dos herbicidas e das condições climáticas após a aplicação. Poucos casos na redução do controle de plantas daninhas são relatados por causa da presença de palha sobre o solo. Talvez a explicação mais plausível para isso resida no fato de que, no campo, poucas quantidades de chuva sejam capazes de remover o herbicida da palha e pô-lo em contato com o solo, assim controlando o fluxo de emergência das plantas daninhas.

3) A sorção no solo é maior no sistema de semeadura direta para a maior parte dos herbicidas devido à maior quantidade de matéria orgânica. Além disso, herbicidas que têm a sorção relacionada à capacidade de troca de cátions podem ter sorção aumentada devido a correlação com a matéria orgânica. Herbicidas altamente solúveis e de sorção relacionadas a outros atributos do solo não apresentam diferenças na sorção entre os sistemas de cultivo.

4) A volatilização pode causar perdas de herbicidas suscetíveis a tal processo caso não ocorram chuvas logo após a aplicação ou se a cobertura do solo com palha for baixa.

5) A meia-vida dos herbicidas pode ser reduzida sob semeadura direta como consequência das conclusões 2 e 3, uma vez que a sorção dos herbicidas na palha – que pode ser 10 vezes maior que no solo – e no solo indisponibiliza os herbicidas para os processos de degradação. Por outro lado, maior biomassa e atividade microbiana podem levar ao aumento na degradação, diminuindo a meia-vida das moléculas.

6) A totalidade dos trabalhos que abordam a dinâmica de herbicidas em semeadura direta trata de sistemas de terras altas, onde são utilizados herbicidas distintos daqueles usados na cultura do arroz irrigado em terras baixas. Além disso, em virtude do ambiente úmido dos solos de terras baixas, a planta de cobertura que mais se adapta é o azevém, não havendo estudos que abordem a dinâmica de herbicidas do arroz irrigado interagindo com essa planta.

3 CAPÍTULO II – Controle de *Echinochloa* sp. com herbicidas pré-emergentes no sistema de semeadura direta de arroz irrigado

3.1 Introdução

O arroz é um alimento base para diversos países ao redor do mundo (NEWBIGGING; PALIWODA; CHRIS LE, 2015). No Brasil, 9º maior produtor mundial de arroz (FAO, 2016), o Estado do Rio Grande do Sul (RS) é responsável por aproximadamente 70% da produção nacional (SOSBAI, 2016), onde a totalidade da área é cultivada com arroz irrigado. A presença de plantas daninhas é um problema recorrente nas lavouras de arroz irrigado e, conseqüentemente, representam grande ameaça à produtividade da cultura caso não manejadas adequadamente.

O capim-arroz (*Echinochloa* sp.) é uma das principais espécies de plantas daninhas na cultura do arroz irrigado ao redor do mundo (BAJWA et al., 2015), podendo reduzir drasticamente a produtividade dessa cultura (ANDRES et al., 2013). Diversos casos de resistência de capim-arroz a herbicidas pós-emergentes são relatados (BALTAZAR; SMITH, 1994; MALIK; BURGOS; TALBERT, 2010; RIAR et al., 2012). Nesse sentido, o uso de herbicidas pré-emergentes é importante ferramenta no manejo de capim-arroz e outras plantas daninhas resistentes, possibilitando a rotação de mecanismos de ação de herbicidas, bem como aplicação de herbicidas pós-emergentes em plantas de menor porte.

No sistema de cultivo convencional e mínimo, 30% e 60% da área de cultivo do RS, respectivamente (SOSBAI, 2016), os herbicidas pré-emergentes atingem diretamente o solo no momento da aplicação. Em virtude dos elevados custos com maquinário e combustível para o preparo das áreas e pelo potencial de degradação do solo com o revolvimento, tem-se buscado a adoção do sistema de semeadura direta (SD). Nesse sistema, a presença de plantas de cobertura pode afetar a dinâmica dos herbicidas pré-emergentes de diversas maneiras. Uma delas é a interceptação dos herbicidas pela palha na superfície do solo (BANKS; ROBINSON, 1982, 1986; CRUTCHFIELD; WICKS; BURNSIDE, 1986; GHADIRI; SHEA; WICKS, 1984; LOCKE;

REDDY; ZABLOTOWICS, 2002), podendo diminuir a quantidade de herbicida disponível para o controle de plantas daninhas. Além disso, a umidade do solo é modificada com a presença de plantas de cobertura (KADER et al., 2017; MAHDAVI et al., 2017), alterando a quantidade de herbicida na solução do solo por modificar os padrões de sorção (HARPER, 1994; LEE et al., 2004) e degradação (BENTO et al., 2016; DONG; SUN, 2016; LONG; LI; WU, 2014). Desse modo, a mudança para o SD do arroz irrigado pode afetar o controle de capim-arroz com herbicidas pré-emergentes.

O azevém (*Lolium multiflorum*) é a principal espécie utilizada como planta de cobertura antecessora ao arroz irrigado (BUNDT et al., 2015), devido à melhor adaptabilidade ao ambiente úmido dos solos de várzea (FERREIRA et al., 2015). Diversos trabalhos avaliaram a resposta das plantas daninhas em função da interação entre diferentes herbicidas e plantas de cobertura (ALLETTO et al., 2012; ASLAM et al., 2013; BEATRIZ et al., 2013; CARBONARI et al., 2016; CORREIA; CAMILO; SANTOS, 2013; SELIM; NAQUIN; LIAO, 2012; SELIM; NAQUIN, 2011). Porém, não foram realizados trabalhos avaliando a dinâmica de herbicidas em ambiente de terras baixas no sistema de semeadura direta, tampouco estudando o azevém como planta de cobertura.

Em virtude da necessidade de uso de herbicidas pré-emergentes e do potencial aumento de área de cultivo de arroz irrigado sob semeadura direta, os objetivos desse trabalho foram: (i) determinar a quantidade de calda de pulverização e herbicida que transpõem diferentes quantidades de palha de azevém sobre o solo no momento da aplicação; (ii) avaliar o controle e a densidade de capim-arroz, em função de diferentes herbicidas pré-emergentes e quantidades de palha de azevém na superfície do solo; (iii) e a produtividade de grãos do arroz sob tais fatores.

3.2 Material e métodos

A pesquisa transcorreu em dois anos agrícolas, 2016/2017 e 2017/2018. Na primeira safra (2016) foram realizados dois experimentos: um em estruturas pertencentes à Universidade Federal de Pelotas (UFPel) e outro na Estação Experimental de Terras Baixas (ETB) da Empresa Brasileira de Pesquisa

Agropecuária (Embrapa) Clima Temperado, município de Capão do Leão (RS). Na segunda safra (2017), o experimento foi conduzido somente na UFPel. Portanto, a primeira safra constou de dois locais (UFPel e Embrapa 2016/2017) e a segunda safra de dois anos (UFPel 2016/2017 e 2017/2018). Na UFPel o experimento foi instalado em área experimental do Centro Agropecuário da Palma (CAP), em solo classificado como Planossolo Háplico, pertencente à Unidade de Mapeamento Pelotas (Embrapa-CNPS, 2013), sob as coordenadas geográficas 31°48'22.34"S e 52°28'56.88"O. Na Embrapa as coordenadas do experimento foram 31°48'42.14"S e 52°28'12.49"O. O delineamento experimental foi de blocos casualizados com quatro repetições organizado no esquema bifatorial, onde o primeiro fator foi constituído por diferentes herbicidas pré-emergentes utilizados na cultura do arroz irrigado e o segundo por diferentes quantidades de palha de azevém (Tabela 5).

Tabela 5 – Tratamentos experimentais: quantidades de palha de azevém (*Lolium multiflorum*) e herbicidas pré-emergentes. Capão do Leão, RS, 2018.

Quantidades de palha de azevém (t ha ⁻¹)	Herbicidas	Dose (g ha ⁻¹)
0 1,5 3 4,5	Clomazone ¹	720
0 1,5 3 4,5	Imazapyr + imazapic	73,5 + 24,5
0 1,5 3 4,5	Oxyfluorfen	240
0 1,5 3 4,5	Pendimethalin	1400
0 1,5 3 4,5	Quinclorac	375
0 1,5 3 4,5	Sem herbicida	-

¹ Foi utilizado o dietholate (Permit®) como protetor de sementes na dose de 0,625L 100kg⁻¹ de sementes de arroz.

3.2.1 Preparo das áreas, cultivo do azevém e estabelecimento dos níveis de palha

Em 2016 a instalação do experimento na UFPel e na Embrapa foi realizada sobre área previamente cultivada com arroz irrigado. Na UFPel após a colheita utilizou-se o equipamento rolo-faca a fim de recuperar o nivelamento superficial da área. Já na Embrapa a área foi submetida a gradagem e passagem de rolo compactador/destorroador. A área utilizada na safra 2017/2018 encontrava-se em pousio na safra anterior, sendo realizada uma operação de gradagem e aplainamento do solo; nesta mesma safra, foram realizadas sucessivas semeaduras a lanço de sementes de capim-arroz coletadas no local com o objetivo de homogeneizar a ocorrência da espécie.

O azevém foi semeado a lanço utilizando-se a densidade de 30kg ha⁻¹ da cultivar BRS Ponteio. Foi realizada aplicação de fertilizante N-P₂O₅-K₂O fórmula 05-20-20 na dose de 200kg ha⁻¹ no dia da semeadura em 2016 e, em 2017, aplicou-se 100kg ha⁻¹ quando o azevém apresentava cinco folhas. A adubação nitrogenada de cobertura em ambos os locais e anos foi realizada com 90kg ha⁻¹ de N utilizando-se ureia, sendo 60 kg na fase de perfilhamento e 30 kg na alongação do colmo das plantas. As datas de semeadura, corte para estabelecimento dos níveis de palha e dessecação do azevém, bem como da semeadura do arroz e aplicação dos herbicidas pré-emergentes estão sumarizadas na tabela 6.

Tabela 6 – Local e data das operações de semeadura, corte e dessecação do azevém, semeadura do arroz e aplicação dos herbicidas pré-emergentes. Capão do Leão, RS, 2018.

Local/safra	Semeadura	Corte	Dessecação ¹	Semeadura	Aplicação dos herbicidas
	Azevém			Arroz	
Embrapa/2016/2017	23/06	23/09	04/10	31/10	05/11
UFPel/2016/2017	20/05				
UFPel/2017/2018	09/05	15/09	18/09	09/10	17/10

¹ Dessecação realizada com o herbicida glyphosate na dose de 1440g ha⁻¹ e 1620g ha⁻¹ de equivalente ácido nas safras 2016/2017 e 2017/2018, respectivamente.

O estabelecimento das quantidades de palha foi feito através da relação entre altura de corte do azevém e massa seca remanescente no solo. Foram realizados

cortes de 5 em 5cm de altura das plantas na fase de florescimento em pontos aleatórios da área do experimento com quadrados metálicos de 0,0625m². Após o corte, foi coletada a massa remanescente para posterior secagem em estufa de circulação forçada a ar a temperatura de 60°C (± 5°). A partir da relação entre altura de corte e massa remanescente chegou-se a seguinte relação: 20cm – 1,5t ha⁻¹; 36cm – 3t ha⁻¹; 50cm – 4,5t ha⁻¹ para a safra 2016/2017 e 15cm – 1,5t ha⁻¹; 30cm – 3t ha⁻¹; 45cm – 4,5t ha⁻¹ para a safra 2017/2018 (Figura 1).

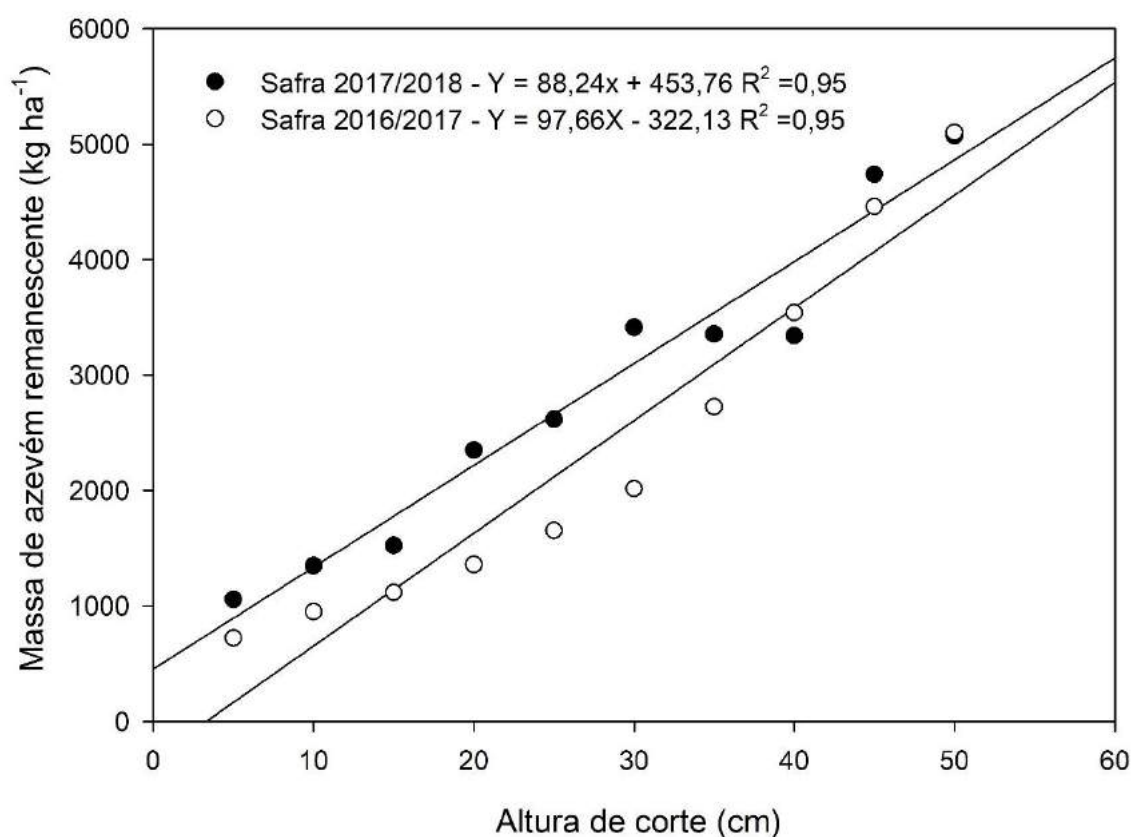


Figura 1 – Relação entre a altura de corte e a massa seca de azevém remanescente no campo em duas safras agrícolas. Capão do Leão, RS, 2018.

O corte do azevém foi realizado na fase de florescimento pleno por meio de roçadoras costais motorizadas, fixando-se estacas graduadas ligadas por um fio ao início e final das parcelas, a fim de manter uniforme a altura de corte com as roçadoras. Após a roçada, a parte cortada foi retirada das parcelas. Quando o azevém apresentou certo rebrote dos meristemas, foi realizada a dessecação com o herbicida glyphosate. O sistema de semeadura convencional (solo nu) foi realizado através da

remoção das plantas de azevém das parcelas que comportavam esse tratamento; após isso foi feito o revolvimento do solo por meio de enxadas para simular as operações de gradagem que comumente são realizadas no sistema de semeadura convencional no RS.

3.2.2 Monitoramento do teor de umidade do solo

O teor de umidade do solo foi medido somente na segunda safra, desde o dia 01/10 até a última avaliação de controle de capim-arroz (17/11). Para tal, foram instalados sensores no solo (Watermark™ electro-tensiometers, Irrrometer Co) a fim de comparar a umidade entre os diferentes níveis de palha de azevém. Os sensores foram postos na profundidade de 5cm do solo, monitorando a camada de 0-10cm. Todos os sensores foram conectados a dataloggers (900M Monitor) para registro automático da tensão de água no solo a cada 60min. A média diária da tensão de água no solo (kPa) está representada na figura 2.

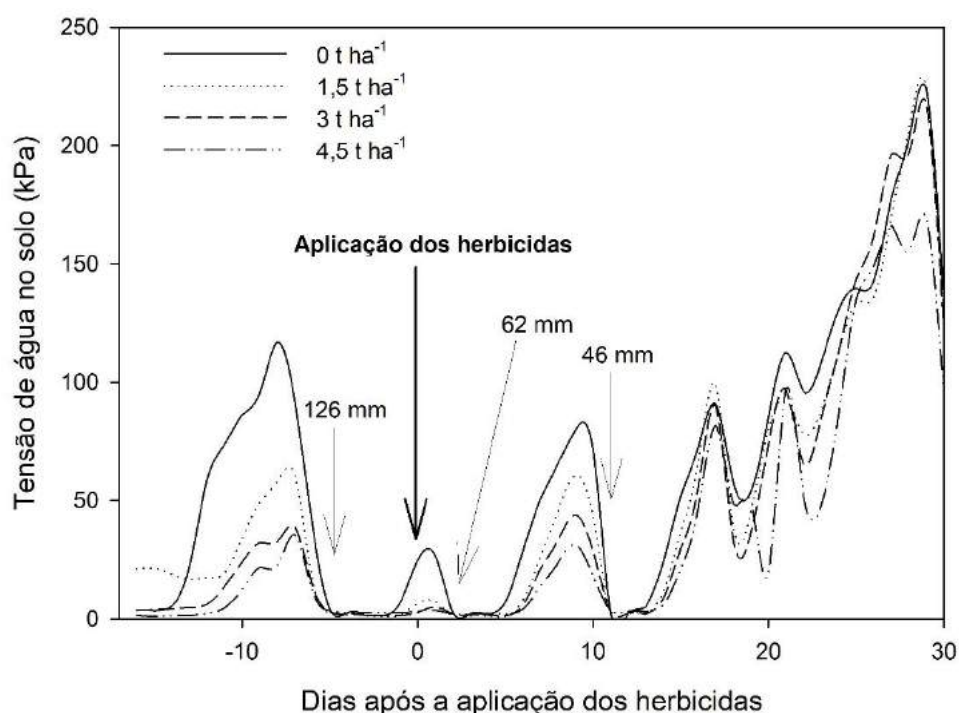


Figura 2 – Gráfico que representa a tensão de água no solo (kPa) em dias após a aplicação dos herbicidas pré-emergentes. As flechas denotam os eventos de chuva e sua quantidade (mm) e o momento em que os herbicidas foram aplicados. Capão do Leão, RS, 2018.

3.2.3 Aplicação dos herbicidas pré-emergentes e interceptação da calda de aplicação e dos herbicidas pela palha do azevém

Os herbicidas foram aplicados no dia 05/11, cinco dias após a semeadura do arroz em 2016 em função da precipitação 58mm no dia posterior à semeadura (Tabela 7); em 2017 a aplicação foi realizada também tardiamente (17/10), oito dias após a semeadura, pelo mesmo motivo da safra anterior. A taxa de aplicação foi de 150L ha⁻¹, utilizando-se pulverizador costal pressurizado a CO₂ com pressão de 30psi e pontas de pulverização JSF 110015. A velocidade do vento foi de 1,1, 2,8 e 2,9km h⁻¹ para as aplicações na UFPel e Embrapa primeira safra e UFPel segunda safra, respectivamente.

Tabela 7 – Precipitação pluvial no período das avaliações e respectivas datas nos diferentes locais e anos da condução do experimento. Capão do Leão, RS, 2018.

Data (DAA ¹)	Aplicação	Precipitação (mm) ²		
		Local/safra		
		Embrapa/2016/2017	UFPel/2016/2017	UFPel/2017/2018
-4	05/11/2016	53	58	-
9		30	22	-
22		23	23	-
28		35	36	-
-7 a -2	17/10/2017	-	-	126
2		-	-	62
10		-	-	46
30		-	-	16

¹ DAA – dias após a aplicação dos herbicidas; ² Os valores de precipitação foram obtidos a partir de pluviômetros instalados na área experimental onde os experimentos foram conduzidos.

Foi mensurada a interceptação da calda de aplicação e dos herbicidas pelos diferentes níveis de palha do azevém. A interceptação da calda foi medida por meio da mistura do corante FD&C Blue No. 1 – ou azul brilhante (fórmula molecular C₃₇H₃₄N₂Na₂O₉S₃, colour index 42090) – à calda de pulverização na concentração de 3g L⁻¹, segundo metodologia adaptada de Costa et al. (2004). O corante azul brilhante foi escolhido devido ao baixo custo e estabilidade à degradação em coletores artificiais no campo, podendo permanecer até 10h exposto à luz solar sem perdas significativas (CERQUEIRA et al., 2012). Foram distribuídas no campo três placas de Petri (6cm de diâmetro) por parcela e aplicou-se a calda de pulverização (Figura 3).

Após a aplicação as placas foram recolhidas e levadas ao laboratório para lavagem com 4,5mL água destilada. Dessa solução foi retirada uma alíquota de 2mL, transferida para cubeta de vidro e analisada em espectrofotômetro General Electric modelo Ultrospec 7000 no comprimento de onda de 630nm, obtendo-se a absorvância. Para a quantificação da calda, foi realizada uma curva-padrão de linearidade (Figura 4) com concentrações conhecidas de corante e, a partir da equação que relacionou absorvância e concentração (Figuras 5 e 6), foi obtida a quantidade de calda que chegou ao solo em $L\ ha^{-1}$. Como base para os cálculos, considerou-se a taxa de aplicação de $150L\ ha^{-1}$ na absorvância obtida nas parcelas testemunhas, ou seja, onde não houve interceptação da calda pela palha.



Figura 3 – Forma de distribuição das placas de Petri nas parcelas (A) e representação das placas após a aplicação do corante FD&C Blue No. 1 (B). Capão do Leão, RS, 2018.



Figura 4 – Representação das diferentes concentrações de corante FD&C Blue No. 1 para construção da curva curva-padrão de linearidade da relação entre a absorbância e concentração do corante na calda de pulverização. Capão do Leão, RS, 2018.

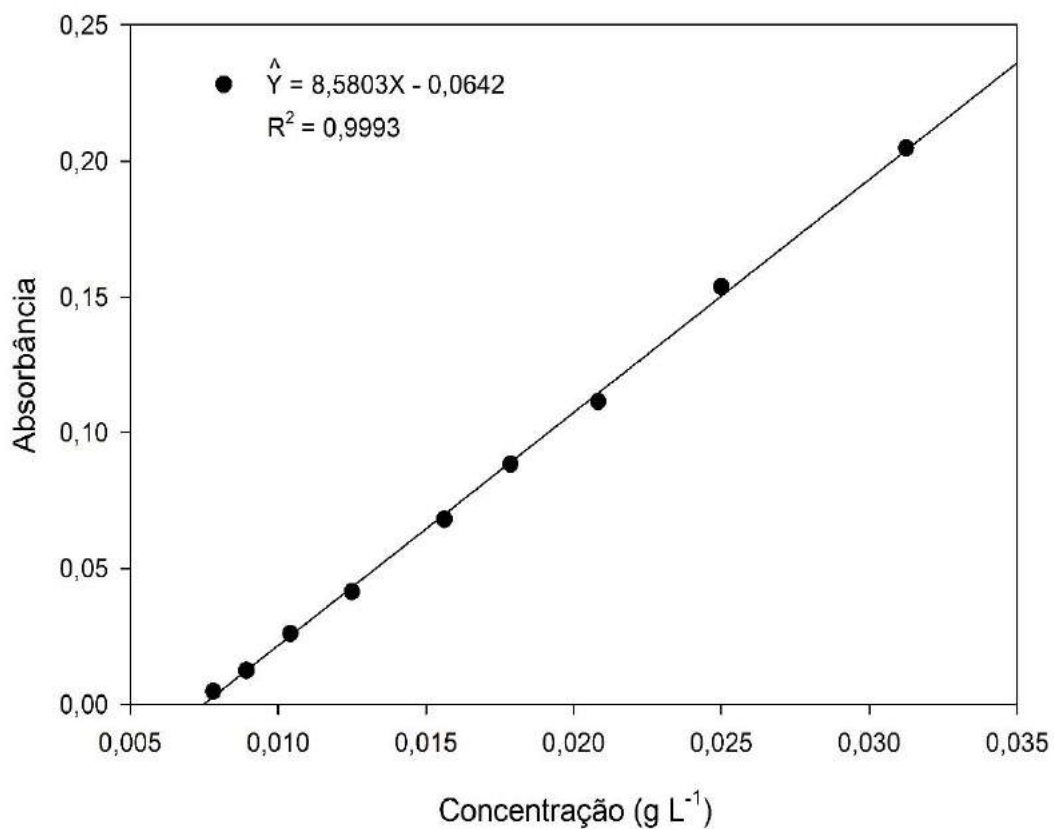


Figura 5 – Curva-padrão da relação entre a absorbância e concentração do corante FD&C Blue No. 1 na calda de pulverização para o experimento de campo, safra 2016/2017. Capão do Leão, RS, 2018.

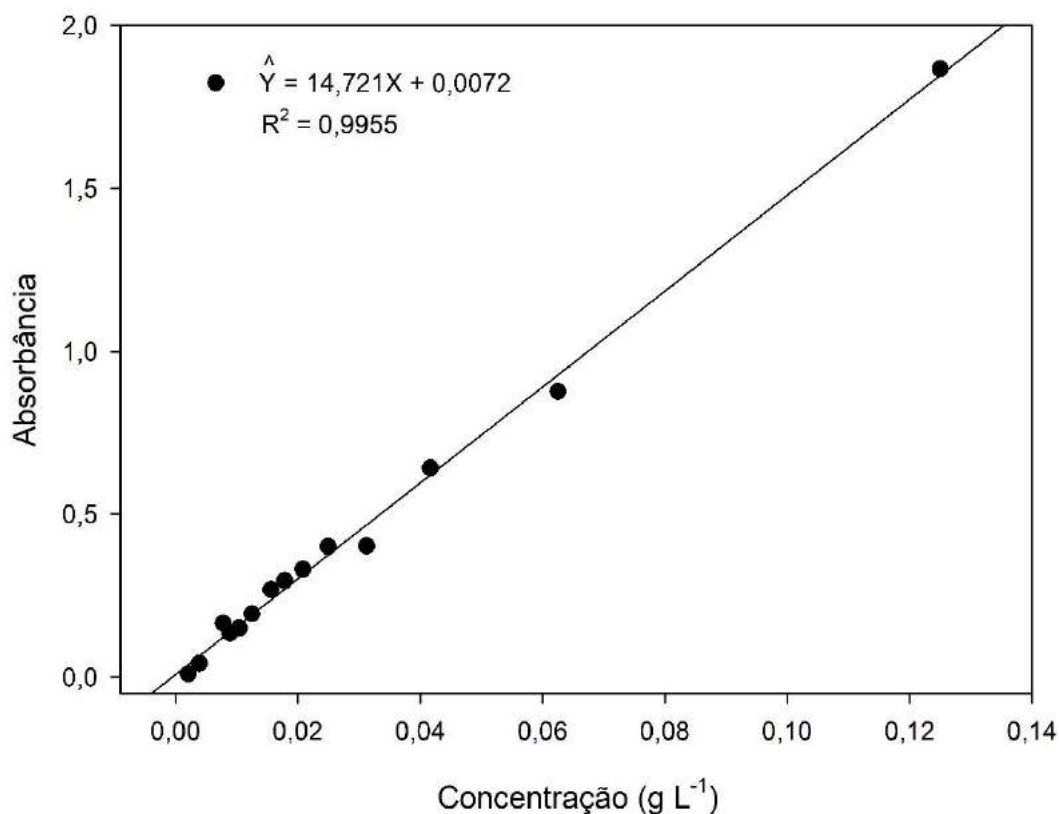


Figura 6 – Curva-padrão da relação entre a absorvância e concentração do corante FD&C Blue No. 1 na calda de pulverização para o experimento de campo, safra 2017/2018. Capão do Leão, RS, 2018.

A interceptação dos herbicidas foi realizada apenas na safra 2017/2018, por meio da distribuição de dois coletores de vidro ($2,5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$) por parcela (Figura 7). Após a aplicação os coletores foram levados ao laboratório e lavados com aproximadamente 10mL de acetonitrila, sendo a solução acondicionada em frascos âmbar de 200mL e armazenados à temperatura de 4°C. Posteriormente, as amostras foram analisadas por cromatografia líquida de ultra-alta performance (UHPLC Thermo Scientific Ultimate 3000) acoplado a um espectrômetro de massas (Exactive Plus™ Orbitrap™ Mass Spectrometer). Os frascos âmbar foram pesados quando secos e com acetonitrila em balança de precisão, para posteriormente encontrar o volume exato da solução pela densidade da acetonitrila. Foi avaliada a interceptação de clomazone, imazapyr e imazapic.



Figura 7 – Placas de vidro distribuídas na parcela para a coleta dos herbicidas. Capão do Leão, RS, 2018.

3.2.4 Cultivo do arroz

O arroz foi semeado no dia 31/10/2016 e 09/10/2017 na safra 2016/2017 e 2017/2018, respectivamente (Tabela 6, Figura 8). Foi realizada semeadura da cultivar IRGA 424 RI na densidade de 90kg ha^{-1} , com adubação de base de 335kg ha^{-1} de fertilizante N- P_2O_5 - K_2O na formulação 05-20-20. A adubação nitrogenada de cobertura foi feita com ureia (45% de N) aplicando-se 150kg ha^{-1} de N, sendo 80 kg no estágio V4 (COUNCE et al., 2000) e 70 kg no estágio R0 das plantas de arroz. As demais operações de manejo foram realizadas segundo as recomendações técnicas da pesquisa para a cultura (SOSBAI, 2016).

A emergência do arroz em 2016 ocorreu em média nove dias após a semeadura; já em 2017 a emergência ocorreu tardiamente (25 dias após a semeadura) em função das elevadas precipitações pluviais que ocorreram logo após a semeadura, que foi de 126mm entre os dias 10 e 15/10/2017 e 62mm no dia 18/10/2017. Nas duas safras a irrigação do arroz teve início no estágio V4 de desenvolvimento, realizando-se juntamente com isso a aplicação dos herbicidas imazapyr + imazapic ($73,5 + 24,5\text{g ha}^{-1}$) na primeira safra e penoxsulam (60g ha^{-1}) na segunda.



Figura 8 – Vista geral do experimento após a semeadura da safra 2017/18. Capão do Leão, RS, 2018.

3.2.5 Variáveis analisadas e análise estatística

As variáveis dependentes foram: (i) transposição da calda de aplicação e herbicidas em função das quantidades de palha; (ii) controle e densidade de capim-arroz sob a interação entre diferentes herbicidas e quantidades de palha; (iii) produtividade do arroz. A interceptação de calda e herbicida foi feita pela metodologia descrita no item 3.2.3. As datas das avaliações de controle e densidade de capim-arroz encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8 – Avaliações de controle e densidade de capim-arroz em dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas pré-emergentes. Capão do Leão, RS, 2018.

Local/safra	Avaliações de controle (DAA)				Densidade (DAA)
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	
Embrapa - 2016/2017	10	19	24	32	31
UFPel - 2016/2017	10	18	25	31	26
UFPel - 2017/2018	10	16	22	31	23

O controle de capim-arroz foi obtido atribuindo-se notas percentuais de 0 a 100%, onde a nota de 0% foi baseada nas parcelas sem aplicação de herbicida e 100% quando não haviam plantas emergidas. A densidade foi estimada por dois lançamentos aleatórios por parcela de quadrados metálicos de 0,0625m², realizando-se a contagem de plantas nessa área; os valores encontrados foram extrapolados para plantas por metro quadrado. Os resultados de transposição da calda de aplicação e herbicidas na palha foram obtidos pelos métodos descritos no item 3.2.3, sendo analisados em função das quantidades de palha.

A produtividade do arroz foi estimada pela colheita manual de 5 linhas de arroz (espaçadas de 0,17m) por 4m de comprimento. Após isso, foi realizada a debulha do arroz em trilhadora mecanizada, pesagem e verificação da umidade dos grãos. A massa de grãos obtida foi corrigida para a umidade de 13% conforme a equação 1 e extrapolada para kg ha⁻¹.

$$\text{Peso corrigido} = PU * \left(\frac{100-UA}{87} \right) \quad (1)$$

Onde:

PU = peso úmido;

UA = umidade atual.

Os dados foram analisados pelo software SAS® Studio. A transposição da calda de aplicação e dos herbicidas foi analisada por regressão, onde os níveis de palha foram as variáveis independentes e a quantidade de calda e herbicidas as variáveis dependentes. As variáveis controle (%) e densidade de capim-arroz (plantas m⁻²) foram submetidas às transformações arco-seno da raiz quadrada e raiz quadrada, respectivamente, e convertidas à escala original para a apresentação dos dados. Nos dados transformados foram aplicados os testes de Bartlett e Shapiro-Wilk para a verificação da homogeneidade e normalidade das variâncias. Após, procedeu-se análise de variância pelo teste F ($p \leq 0,05$). Os mesmos procedimentos foram aplicados aos dados de transposição da calda de aplicação e herbicidas e produtividade, exceto as transformações de dados. Os dados foram comparados entre os dois locais (Embrapa e UFPel) da safra 2016/2017 e entre os dois anos (safra 2016/2017 vs 2017/2018) na área da UFPel; portanto, foi realizada a análise conjunta dos dados

considerando locais e anos como de efeito aleatório no modelo estatístico. Os efeitos fixos foram os diferentes herbicidas e as quantidades de palha de azevém. Os resultados foram combinados quando as interações triplas local vs herbicida vs palha ou ano vs herbicida vs palha foram não significativas. Quando significativas, procedeu-se análise separadamente para local e ano. As médias significativas foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

3.3 Resultados e discussão

3.3.1 Interceptação da calda de aplicação e dos herbicidas pela palha no momento da aplicação

Houve influência dos níveis de palha tanto sobre a quantidade de herbicida quanto de calda de aplicação que chegou ao solo, ambos decrescendo linearmente à medida que se aumentou os níveis de palha. Quanto aos herbicidas, no solo nu foi detectado em torno de 90% em relação à dose aplicada (Figura 9). Teoricamente, no solo nu deveria ter sido detectado 100% da dose aplicada, entretanto, fatores associados à deriva no momento da aplicação e ao erro intrínseco do método cromatográfico podem ter influenciado o valor encontrado. Utilizando-se a quantidade de 1,5, 3 e 4,5t ha⁻¹ a interceptação dos herbicidas foi cerca de 40, 65 e 90%, respectivamente, ou seja, logo no menor nível de palha pouco mais da metade da dose aplicada chegou ao solo.

Na quantificação da calda de aplicação, realizada pelo método do corante, na média dos três experimentos (Embrapa e UFPel safra 2016/2017 e UFPel 2017) houve interceptação de herbicida de 26, 41 e 67% quando se utilizou 1,5, 3 e 4,5t ha⁻¹ de palha, respectivamente (Figura 10).

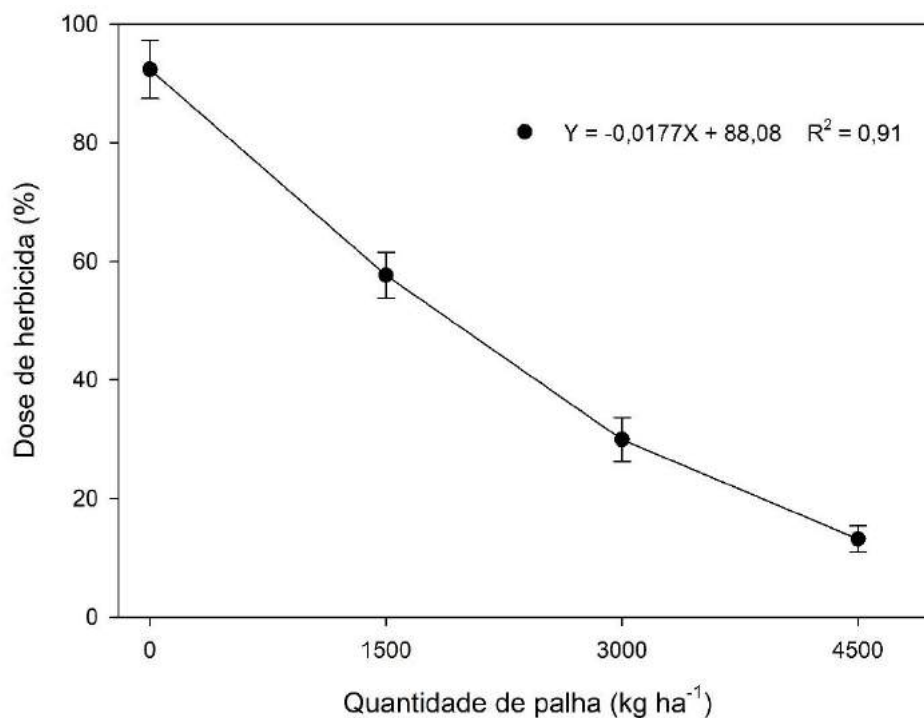


Figura 9 – Porcentagem de herbicida que atingiu o solo dos herbicidas imazapyr, imazapic e quinclorac em função da quantidade de palha (kg ha⁻¹) de azevém (*Lolium multiflorum*) sobre o solo em experimento de campo. Cada ponto na curva representa a média de 4 repetições de cada um dos três herbicidas. Capão do Leão, RS, 2018.

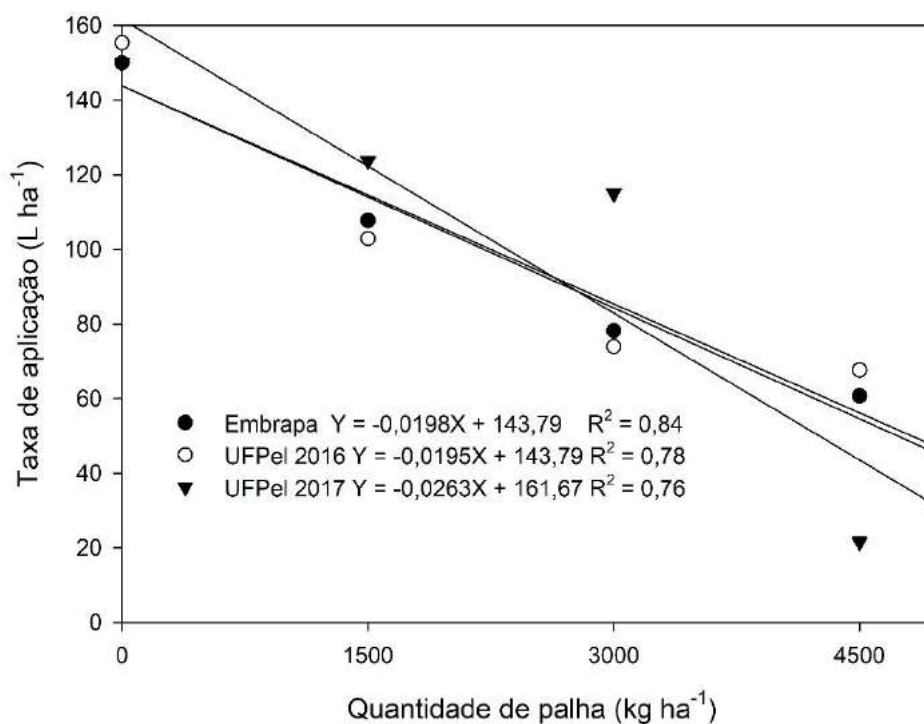


Figura 10 – Quantidade de calda de aplicação (L ha⁻¹) que chegou ao solo em função da quantidade de palha (kg ha⁻¹) de azevém (*Lolium multiflorum*) sobre o solo em experimento de campo. Cada curva representa a repetição de um mesmo experimento. Capão do Leão, RS, 2018.

A transposição de herbicidas quando são cultivadas gramíneas de arquitetura vegetal parecida com azevém, como aveia e trigo, apresenta comportamento semelhante ao encontrado neste trabalho. Pesquisadores encontraram atenuação de 85% da calda de aplicação quando aplicado sobre palha de aveia na quantidade de 4,5t ha⁻¹ (FORNAROLLI et al., 1998). Já no caso do trigo, a quantidade de 1,7 a 4,5t ha⁻¹ de palha reduziu de 14,4 a 92% a chegada da calda ao solo (BANKS; ROBINSON, 1982; CRUTCHFIELD; WICKS; BURNSIDE, 1986).

A interceptação depende da forma como a palha é disposta sobre o solo (GASTON et al., 1986). Neste trabalho, a palha ficou em pé até a quantidade de 3t ha⁻¹, pois os colmos do azevém não eram altos o suficiente para deitar. Dessa maneira, 3t ha⁻¹ não atenuaram tanta calda quanto 4,5t ha⁻¹, pois nessa última situação a palha deitou sobre o solo, principalmente após a passagem da semeadora. Isso pode ser exemplificado comparando os trabalhos com a mesma quantidade de palha de trigo, onde 7t ha⁻¹ causou redução de 14,4% de transposição da calda (CRUTCHFIELD; WICKS; BURNSIDE, 1986) ou 43% (SCHMITZ; WITT; MUELLER, 2001). No primeiro caso, o trigo se encontrava naturalmente estabelecido sobre o solo, apenas realizando-se ajustes para a adequação da quantidade de palha; no segundo estudo a palha foi cortada em pedaços de 10cm e colocada sobre as parcelas, ou seja, deitada.

3.3.2 Controle e densidade de capim-arroz

Os p-valores das análises conjuntas (locais e anos) para as avaliações de controle e densidade de capim-arroz estão apresentados na Tabela 9. As interações herbicida vs palha vs local e herbicida vs palha vs ano para todas as avaliações de controle de capim-arroz foram significativas, demonstrando que tanto os locais e anos foram diferentes para essa variável. O mesmo comportamento foi obtido para densidade de capim-arroz na análise entre os diferentes anos. Portanto, os resultados são apresentados para cada local e ano separadamente. A interação herbicida vs palha vs local foi não significativa para densidade, sendo então os dados combinados entre os diferentes locais. Para a produtividade somente o fator palha foi significativo

na análise conjunta dos locais e dos anos, sendo dessa forma apresentadas as médias de produtividade entre os níveis de palha.

Dessa maneira, a apresentação dos resultados será dada na ordem: área da UFPel 2016, área da Embrapa 2016 e área da UFPel 2017 para as avaliações de controle. Após, são apresentados os dados de densidade de capim-arroz para análise conjunta entre UFPel e Embrapa no ano 2016 e para a UFPel ano 2017.

Tabela 9 – p-valor para as múltiplas avaliações de controle e densidade de capim-arroz nos dois locais e anos do experimento. Capão do Leão, RS, 2018.

Fonte de variação	Avaliações de controle				Densidade	Produtividade	
	1ª	2ª	3ª	4ª			
Locais	Local (L)	<0,0001	<0,0001	0,0376	0,4706	<0,0001	<0,0001
	Bloco(Local)	0,6641	0,0097	0,0068	0,0649	0,0007	0,0333
	Herbicida(H)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,2674
	Palha (P)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0221	<0,0001
	H*P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,4733	0,7764
	H*L	<0,0001	0,0035	<0,0001	0,0004	0,003	0,0048
	P*L	<0,0001	<0,0001	0,1894	0,1266	0,9289	0,6144
	H*P*L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0002	0,2388	0,2915
Anos	Ano (A)	<0,0001	<0,0001	0,9267	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	Bloco (Ano)	0,7329	0,499	0,2399	0,2621	0,1453	0,0189
	Herbicida(H)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,6988
	Palha (P)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,087	<0,0001
	H*P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,2009	0,7084
	H*A	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,1514
	P*A	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0012	0,0011
	H*P*A	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0353	0,2104

¹ Os locais correspondem às áreas da Embrapa e UFPel na safra 2016/2017 e os anos correspondem às safras 2016/2017 e 2017/2018 na área da UFPel.

3.3.2.1 Safra 2016/2017

Em 2016 na área da UFPel houve interação entre palha e herbicida para todas as avaliações visuais de controle de capim-arroz (Tabela 10). O controle de capim-arroz com clomazone não sofreu influência do nível de palha em todas as avaliações realizadas e também foi superior ou igual aos demais herbicidas (Tabela 11). A mistura imazapyr+imazapic (IMI) apresentou comportamento semelhante, proporcionando menor controle somente com 1,5t ha⁻¹ de palha na primeira avaliação e com 3t ha⁻¹ na segunda avaliação, não sendo influenciada pela palha nas duas últimas avaliações.

Tabela 10 – p-valor para as avaliações de controle de capim-arroz na UFPel safra 2016/2017. Capão do Leão, RS, 2018.

Fonte de variação	Avaliações de controle			
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a
Bloco	0,57	0,2366	0,0775	0,5368
Herbicida (H)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Palha (P)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
H*P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
CV(%)	5,76	5,46	5,17	5,01

Tabela 11 – Controle de capim-arroz (*Echinochloa* sp.) em dias após a aplicação (DAA) sob diferentes herbicidas pré-emergentes de arroz irrigado na UFPel, safra 2016/2017. Os dados representam a interação entre os herbicidas e as diferentes quantidades de palha de azevém (*Lolium multiflorum*) sobre o solo. Capão do leão, RS, 2018.

Herbicidas ¹	Controle ²							
	10 DAA				18 DAA			
	Palha (t ha ⁻¹)				Palha (t ha ⁻¹)			
	0	1,5	3	4,5	0	1,5	3	4,5
T	0 eB ^{3,4}	0 cB	0 cB	70 aA	0 dB	0 cB	0 bB	60 bA
C	81 aA	80 aA	80 aA	76 aA	85 aA	80 aA	77 aA	80 aA
I	75 abA	47 bB	72 abA	80 aA	82 aA	72 abB	69 aB	75 aAB
O	52 cB	70 aA	77 abA	77 aA	22 cB	67 bA	72 aA	76 aA
P	70 bA	75 aA	75 abA	70 aA	62 bB	75 abA	72 aAB	75 aA
Q	41 dB	70 aA	70 bA	76 aA	77 aA	74 abA	70 aA	75 aA
	25 DAA				31 DAA			
T	0 dB	0 cB	0 dB	45 cA	0 dB	0 cB	0 dB	16 bA
C	91 aA	91 aA	87 abA	89 abA	90 aA	94 aA	91 aA	91 aA
I	92 aA	93 aA	90 aA	92 aA	93 aA	94 aA	94 aA	93 aA
O	42 cC	75 bAB	65 cB	80 bA	35 cD	75 bB	56 cC	87 aA
P	54 bB	72 bA	79 bA	84 abA	57 bB	82 bA	80 bA	86 aA
Q	87 aA	88 aA	85 abA	89 aA	90 aA	90 aA	91 aA	91 aA

¹T: testemunha; C: clomazone; I: imazapyr + imazapic; O: oxyfluorfen; P: pendimethalin; Q: quinclorac; ² Avaliação visual do controle foi estimada em escala de 0 a 100%, onde 100% = nenhuma planta de capim-arroz emergida e 0% = parcelas sem herbicida (testemunha); ³ letras minúsculas comparam herbicidas na coluna dentro de uma mesma quantidade de palha e as letras maiúsculas comparam quantidade de palha na linha para um mesmo herbicida; ⁴ médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

O comportamento de IMI pode estar relacionado ao seu mecanismo de ação. Herbicidas inibidores da enzima ALS, ao contrário do clomazone que causa dano oxidativo às células (FERHATOGLU; BARRETT, 2006), dependem da translocação dos herbicidas pela planta até que haja a falta dos aminoácidos valina, leucina e isoleucina e não geram o acúmulo de substâncias tóxicas que levam a planta rapidamente à morte. Portanto, o menor controle com IMI nas primeiras avaliações pode estar relacionado à ação mais lenta destes herbicidas. O quinclorac apresentou controle semelhante ao clomazone e IMI desde o início até a última avaliação, não

sendo influenciado pela palha. De maneira análoga, o controle de plantas daninhas com os herbicidas alachlor e atrazine não foi afetado pela presença de 1100 ou 6200kg ha⁻¹ de palha de milho sobre o solo (ERBACH; LOVELY, 1975).

Os herbicidas oxyfluorfen e pendimethalin apresentaram controle inferior aos demais no solo sem palha (Tabela 11). O controle com esses herbicidas foi maior na presença de palha sobre o solo independente da quantidade de palha, igualando-os aos demais herbicidas na primeira e segunda avaliações (Tabela 11). Tal resultado é interessante pois menos calda de aplicação chegou na superfície do solo nas parcelas que continham palha (Figura 10). Chauhan e Abugho (2012) não encontraram diferenças no controle de *E. colona* e *Dactyloctenium aegyptium* com os herbicidas pendimethalin e oxadiazon aplicados sobre 6t ha⁻¹ de palha de trigo, porém houve menor controle das espécies *E. crus-galli* e *Cyperus iria* em relação ao solo nu. Isso demonstra que não só a palha na superfície pode afetar o controle de plantas daninhas, mas também a espécie de planta em questão. Ressalta-se que oxadiazon é um herbicida inibidor da enzima protoporfirinogênio oxidase, mesmo mecanismo de ação do oxyfluorfen utilizado no presente trabalho e também indicado como herbicida pré-emergente para a cultura do arroz irrigado no Brasil (SOSBAI, 2016).

A umidade do solo não foi monitorada em 2016, porém, visualmente foi possível observar solo mais úmido quando havia palha sobre o mesmo, o que é confirmado pela tensão do solo no ano 2017 (Figura 2). Além disso, no ano de 2016 as chuvas foram em menor volume, presumindo-se que as diferenças na umidade do solo segundo os níveis de palha foram mais acentuadas, uma vez que foi permitido o secamento mais rápido do solo que não continha palha. Dessa maneira, a menor quantidade de herbicida que chegou ao solo no momento da aplicação, pode ter sido compensada pela maior umidade no solo com palha, o que aumenta a disponibilidade de herbicidas na solução do solo resultando em maior controle (KOGER, DODDS, REYNOLDS, 2007; WALKER 1971). Um paralelo pode ser feito com o clomazone, onde a quantidade total de herbicida disponível na solução do solo (QTHS) aumentou conforme o potencial de água no solo na ordem 90 < 75 < 33 < 0 kPa, sendo a QTHS maior que o dobro na tensão de 0kPa em relação a 90kPa (LEE et al., 2004). Vale ressaltar que em 2016 a primeira chuva ocorreu somente nove DAA, o que pode ter

diminuído a disponibilidade dos herbicidas no solo sem palha, devido à menor umidade do solo.

O menor potencial de água no solo sem palha pode ser visto observando-se os dados de umidade do solo para o ano de 2017, sendo que nas parcelas com palha a umidade foi maior ao longo dos dias após a ocorrência de chuvas (Figura 2). No ano de 2016, provavelmente as diferenças de potencial de água no solo entre o solo nu e solo com palha foram maiores, visto que o período entre a aplicação e a primeira chuva foi maior neste ano se comparado a 2017.

Clomazone, IMI e quinclorac não apresentaram o fenômeno descrito para oxyfluorfen e pendimethalin possivelmente por serem herbicidas com maior solubilidade em água e menos sorvíveis segundo parâmetros de sorção no solo como K_d e K_{oc} (SENSEMAN, 2007). Portanto, são menos dependentes da umidade do solo para surtirem controle satisfatório de plantas daninhas.

Na última avaliação, clomazone, IMI e quinclorac apresentaram as maiores médias de controle, sendo iguais entre si em quaisquer níveis de palha, exceto no maior nível, onde todos os herbicidas foram iguais. Já oxyfluorfen e pendimethalin aumentaram o controle quando aplicados sobre a palha, inclusive igualando-se a clomazone, IMI e quinclorac no maior nível de palha. Resultado semelhante foi encontrado por Crutchfield, Wicks e Burnside (1986) utilizando o herbicida metolachlor. Nesses estudos, o controle de plantas daninhas aumentou com o acréscimo na quantidade de palha de trigo sobre o solo (de 0 a 6,8t ha⁻¹), mesmo chegando menos herbicida no solo no momento da aplicação. Os autores destacaram que a aplicação da metade da dose recomendada para metolachlor, quando a quantidade de palha era de 3,4 a 6,8t ha⁻¹, resultou em controle satisfatório das plantas daninhas. Isso foi atribuído ao efeito aditivo entre palha e herbicida no controle das plantas daninhas, o que em partes ocorreu no presente trabalho se observado o controle de capim-arroz de 16% na parcela sem herbicida com 4,5t ha⁻¹ na última avaliação (Tabela 11).

Na safra 2016 na Embrapa, também houve interação entre palha e herbicida no controle de capim-arroz (Tabela 12). Neste local os herbicidas foram influenciados pelos níveis de palha nas quatro avaliações (Tabela 13). De maneira geral os herbicidas apresentaram melhor controle quanto maior o nível de palha. O herbicida

oxyfluorfen foi o mais afetado pelo nível de palha, aumentado o controle de 27 a 80% de 0 a 4,5t ha⁻¹ de palha na primeira avaliação, de 15 a 80% na segunda, e de 42 a 82% na última avaliação. Esse resultado foi semelhante ao encontrado na UFPel, embora nos dois locais menos calda de herbicida chegou ao solo. Pendimethalin apresentou resultados semelhantes sendo na avaliação dos 32 DAA encontrado controle de 65% em solo nu e 87% na média dos níveis 1,5, 3 e 4,5t ha⁻¹ (Tabela 13).

Tabela 12 – p-valor para as avaliações de controle de capim-arroz na Embrapa, safra 2016/2017. Capão do Leão, RS, 2018.

Fonte de variação	Avaliações de controle			
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a
Bloco	0,5632	0,0120	0,0204	0,0627
Herbicida (H)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Palha (P)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
H*P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
CV (%)	8,01	7,12	7,54	8,04

Tabela 13 – Controle de capim-arroz (*Echinochloa* sp.) em dias após a aplicação (DAA) sob diferentes herbicidas pré-emergentes de arroz irrigado na Embrapa, safra 2016/2017. Os dados representam a interação entre os herbicidas e as diferentes quantidades de palha de azevém (*Lolium multiflorum*) sobre o solo. Capão do leão, RS, 2018.

Herbicida ¹	Controle ²							
	10 DAA				19 DAA			
	Palha (t ha ⁻¹)				Palha (t ha ⁻¹)			
	0	1,5	3	4,5	0	1,5	3	4,5
T	0 cB ^{3,4}	0 dB	0 dB	45 cA	0 dB	0 dB	0 cB	35 bA
C	72 aB	82 aA	80 aA	80 abA	67 aC	86 abA	82 aAB	80 aB
I	27 bB	35 cB	22 cB	75 abA	75 aA	81 abA	66 bB	79 aA
O	27 bB	73 aA	82 aA	80 abA	15 cC	55 cB	64 bB	80 aA
P	55 aB	80 aA	82 aA	82 aA	34 bB	81 abA	79 aA	77 aA
Q	30 bB	55 bA	62 bA	72 bA	36 bB	75 bA	69 bA	80 aA
	24 DAA				32 DAA			
T	0 cB	0 cB	0 dB	21 cA	0 dB	0 cB	0 cB	7 cA
C	83 aB	94 aA	92 aA	93 aA	90 aA	94 aA	95 aA	93 abA
I	86 aAB	87 aAB	80 bB	89 aA	90 aB	96 aA	94 aAB	95 aA
O	65 bA	57 bA	57 cA	74 bA	42 cB	47 bB	51 bB	82 bA
P	65 bB	91 aA	87 abA	86 aA	65 bB	87 aA	89 aA	85 bA
Q	65 bB	88 aA	83 bA	85 abA	82 aB	87 aAB	92 aA	92 abA

¹T: testemunha; C: clomazone; I: imazapyr + imazapic; O: oxyfluorfen; P: pendimethalin; Q: quinclorac;

² Avaliação visual do controle foi estimada em escala de 0 a 100%, onde 100% = nenhuma planta de capim-arroz emergida e 0% = parcelas sem herbicida (testemunha); ³ letras minúsculas comparam herbicidas na coluna dentro de uma mesma quantidade de palha e as letras maiúsculas comparam quantidade de palha na linha para um mesmo herbicida; ⁴ médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Os resultados para pendimethalin e oxyfluorfen reforçam o encontrado na UFPel, ou seja, melhoraram o controle na presença de palha. Esse resultado é contraditório tendo em vista as características físico-químicas de alto K_{ow} e baixa solubilidade em água de ambos herbicidas, que favorecem a tendência dos mesmos a ficarem adsorvidos na palha (GASTON; BOQUET, BOSCH, 2003). Era esperado que, no maior nível de palha, o controle diminuísse, visto que houve um período de nove dias entre a aplicação dos herbicidas e a ocorrência da primeira chuva (Tabela 7), além de que quase 70% da calda de aplicação ficou retida na palha no momento da aplicação (Figura 10). Resultado semelhante foi observado por Erbach e Lovely (1975), cujo controle de plantas daninhas com o herbicida alachlor não foi afetado pela quantidade de palha de até $4t\ ha^{-1}$. Com o resultado desse experimento pode-se hipotetizar que não houveram perdas de oxyfluorfen e pendimethalin, seja por fotólise ou volatilização, ou que mesmo havendo chegado pouco herbicida no solo o controle foi eficiente.

Os herbicidas clomazone, IMI e quinclorac apresentaram as maiores médias de controle, sendo os dois primeiros relativamente menos afetados pelos níveis de palha em relação aos outros. Como mencionado nos resultados da UFPel, clomazone e IMI são mais solúveis em água e dependem menos da umidade do solo para exercerem controle. Clomazone aos 32 DAA não foi afetado pela palha, controlando em média 93% do capim-arroz. O controle com IMI foi baixo na primeira avaliação (em média 28% nos três primeiros níveis de palha), mas sendo controlando aos 32 DAA 90% no solo nu e 95% nos demais níveis de palha. Do mesmo modo que na UFPel, esse comportamento se deve à necessidade de absorção e translocação do herbicida pelas plantas, ocasionando controle mais lento. O quinclorac controlou melhor o capim-arroz quando havia palha sobre o solo em todas as avaliações independente do nível de palha. O controle médio com quinclorac entre os níveis de palha foi 33% maior que no solo nu na primeira avaliação, 38% na segunda, 20% na terceira e 8% na última avaliação.

A interação tripla entre locais vs herbicidas vs palha para a variável densidade de capim-arroz não foi significativa (Tabela 9), portanto, os resultados foram combinados e apresentados em conjunto. Não havendo interação entre herbicida vs palha, as médias foram apresentadas na tabela 14 de forma comparativa entre os

herbicidas. A parcela testemunha apresentou média de 82 plantas m⁻² de capim-arroz, ao passo que os herbicidas mais eficientes foram clomazone e quinclorac, reduzindo a densidade em torno de 20 vezes. Os herbicidas IMI e pendimethalin reduziram 3 vezes a densidade de capim-arroz em relação à testemunha, sendo que oxyfluorfen reduziu 1,7 vezes. O número de plantas foi alto utilizando-se IMI, oxyfluorfen e pendimethalin, porém, eram as plantas resultantes e apresentavam-se extremamente debilitadas, e foram facilmente controladas pelo herbicida pós-emergente antes do estabelecimento da lâmina de água no arroz.

Tabela 14 – Médias da densidade de capim-arroz (plantas m⁻²) em relação aos diferentes herbicidas, para a análise conjunta dos dados obtidos na área da Embrapa e UFPel (safra 2016/2017). Capão do Leão, RS, 2018.

Herbicida	Densidade (plantas m⁻²)¹
Testemunha	82A ^{3,4}
Clomazone	4C
Imazapyr+imazapic	27B
Oxyfluorfen	47B
Pendimethalin	28B
Quinclorac	4C

¹ densidade de plantas avaliada 31 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA) na Embrapa e 26 DAA na UFPel; ³ médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ⁴ as médias representam a combinação dos dados de densidade de capim-arroz entre as áreas da UFPel e Embrapa no ano de 2016/2017.

3.3.2.2 Safra 2017/2018

Na safra seguinte, 2017, houve interação entre herbicida e palha para todas as avaliações visuais de controle de capim-arroz (Tabela 15). De maneira geral, nesta safra, os herbicidas mostraram-se mais eficientes e também os níveis de palha não foram tão influentes em relação ao ano de 2016, possivelmente pela maior proximidade entre a aplicação dos herbicidas e a primeira chuva. Devido ao evento de chuva (Tabela 7) ocorrido logo após a aplicação, é possível que os herbicidas tenham sido lavados da palha e incorporados ao solo, aumentando o controle do capim-arroz.

Tabela 15 – p-valor para as avaliações de controle e densidade de capim-arroz na UFPel safra 2017/2018. Capão do Leão, RS, 2018.

Fonte de variação	Avaliações de controle				Densidade
	1ª	2ª	3ª	4ª	
Bloco	0,6456	0,5762	0,4758	0,1844	0,2128
Herbicida (H)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Palha (P)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0102
H*P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0507
CV(%)	6,02	6,63	7,36	6,53	38,08

Os herbicidas clomazone e quinclorac apresentaram as maiores médias de controle em todas as avaliações e não foram afetados pelos níveis de palha (Tabela 16). Clomazone apresentou redução no controle no maior nível de palha na última avaliação, mas ainda assim com nota de 95%. Pendimethalin apresentou controle inferior quando aplicado sobre o maior nível de palha aos 22 DAA e 31 DAA, mas ainda assim com média de 89%, estatisticamente igual a clomazone e quinclorac.

Tabela 16 – Controle de capim-arroz (*Echinochloa* sp.) em dias após a aplicação (DAA) sob diferentes herbicidas pré-emergentes de arroz irrigado na UFPel, safra 2017/2018. Os dados representam a interação entre os herbicidas e as diferentes quantidades de palha de azevém (*Lolium multiflorum*) sobre o solo. Capão do leão, RS, 2018.

Herbicida ¹	Controle (%) ²							
	10 DAA				16 DAA			
	Palha (t ha ⁻¹)				Palha (t ha ⁻¹)			
	0	1,5	3	4,5	0	1,5	3	4,5
T	0 cB ^{3,4}	0 dB	0 dB	82 bA	0 cB	0 eB	0 dB	11 cA
C	99 aA	99 aA	99 aA	99 aA	99 aA	99 aA	99 aA	99 aA
I	90 aA	72 cC	56 cD	86 bB	89 bA	73 dB	59 cC	86 bA
O	97 aA	87 bB	87 bB	98 aA	96 abA	86 cB	82 bB	96 abA
P	97 abA	91 bA	91 bA	97 aA	96 abA	91 bcAB	87 bB	95 abAB
Q	98 aA	97 aA	99 aA	98 aA	99 aA	96 abA	98 aA	97 aA
	22 DAA				31 DAA			
T	0 dA	0 dA	0 dA	0 dA	0 dA	0 dA	0 dA	0 dA
C	99 aA	97 aA	97 aA	96 aA	98 aA	96 aAB	96 aAB	95 aB
I	93 bA	82 bB	82 bB	76 bB	94 bA	85 bAB	84 bBC	72 bC
O	31 cB	56 cA	24 cB	22 cB	27 cB	49 cA	21 cB	17 cB
P	97 abA	94 abAB	89 abA	86 bB	96 abA	91 abAB	90 abB	89 aB
Q	97 abA	95 aA	94 aA	97 aA	96 abA	95 abA	91 abA	92 aA

¹ T: testemunha; C: clomazone; I: imazapyr + imazapic; O: oxyfluorfen; P: pendimethalin; Q: quinclorac;

² Avaliação visual do controle foi estimada em escala de 0 a 100%, onde 100% = nenhuma planta de capim-arroz emergida e 0% = parcelas sem herbicida (testemunha); ³ letras minúsculas comparam herbicidas na coluna dentro de uma mesma quantidade de palha e as letras maiúsculas comparam quantidade de palha na linha para um mesmo herbicida; ⁴ médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

A mistura formulada imazapyr+imazapic apresentou menor controle no maior nível de palha na última avaliação, apresentando média de 72%, inferior ao

clomazone, pendimethalin e quinclorac. As médias para o herbicida oxyfluorfen foram as menores entre todos os herbicidas e reduziram drasticamente a partir da segunda avaliação, indo de 90%, para os quatro níveis de palha aos 16 DAA, a 33% aos 22 DAA e 28% aos 31 DAA.

A densidade de capim-arroz em 2017 foi de 256 plantas m⁻² no tratamento sem herbicida, reduzindo para 4 plantas m⁻² nas parcelas com clomazone, e para 23, 29, 63 e 123 com pendimethalin, quinclorac, IMI e oxyfluorfen, respectivamente (Tabela 17). Observou-se densidade superior em relação ao ano de 2016, onde haviam 82 plantas m⁻² nas parcelas sem herbicida. Possivelmente devido a isso, o herbicida quinclorac foi estatisticamente diferente de clomazone na avaliação de densidade de plantas, o que não ocorreu em 2016.

Tabela 17 – Densidade de capim-arroz (*Echinochloa* sp.) (plantas m⁻²) sob diferentes herbicidas pré-emergentes de arroz irrigado na UFPel, safra 2017/2018. Os dados representam as médias da densidade para cada herbicida. Capão do leão, RS, 2018.

Herbicida	Densidade (plantas m ⁻²) ¹
Testemunha	256A ²
Clomazone	4E
Imazapyr+imazapic	63C
Oxyfluorfen	123B
Pendimethalin	23D
Quinclorac	29CD

¹ densidade de plantas aos 23 dias após a aplicação dos herbicidas pré-emergentes; ² médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

A comparação entre os níveis de palha para a densidade de capim-arroz mostrou que as maiores densidades ocorreram onde havia palha (Tabela 18). Resultados semelhantes foram obtidos em estudo onde a palha de azevém mesmo na quantidade de 6,1t ha⁻¹ sobre o solo não reduziu a densidade de *Echinochloa crusgalli* seis semanas após a semeadura da soja (REDDY 2001). Paralelamente, plantas de cobertura podem apenas diminuir a taxa de crescimento de plantas como por exemplo *Amaranthus palmeri*, mas não sua densidade (WIGGINS et al., 2015).

Tabela 18 – Densidade de capim-arroz (*Echinochloa* sp.) (plantas m⁻²) nas diferentes quantidades de palha de azevém (*Lolium multiflorum*) na área da UFPel, safra 2017/2018. Os dados representam as médias da densidade para cada quantidade de palha. Capão do leão, RS, 2018.

Palha (t ha ⁻¹)	Densidade de capim-arroz (plantas m ⁻²) ¹
0	59B ²
1,5	96AB
3	99A
4,5	77AB

¹ Densidade de plantas aos 23 dias após a aplicação dos herbicidas pré-emergentes; ² médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

As quantidades de palha sobre o solo utilizadas neste trabalho são baixas relativamente a outras culturas como por exemplo cana-de-açúcar (CARBONARI et al., 2016; ROSSI et al., 2013), milho (ASLAM et al., 2015; JOHNSON; WYSE; LUESCHEN, 1989) e trigo (SCHMITZ; WITT; MUELLER, 2001), não sendo suficientes para evitar a emergência, mas sim aumentar a densidade do capim-arroz. Isso pode ser devido a alguns fatores. O primeiro deles é que a palha pode ter criado um ambiente favorável à emergência do capim-arroz devido a maior umidade do solo. No dia da aplicação dos herbicidas, a umidade do solo era de -25, -6,6, -2,7 e -3,1kPa, para os níveis de palha de 0, 1,5, 3 e 4,5t ha⁻¹, respectivamente. Já aos dez dias após a aplicação, as umidades eram de -72, -44, -29 e -18kPa, respectivamente, evidenciando solo mais úmido onde havia palha. O segundo fator é que as quantidades de palha de 1,5 e 3t ha⁻¹ não cobriram totalmente o solo, permitindo a entrada de radiação solar e assim estimulando a emergência do capim-arroz, cuja germinação é ativada por ação da luz devido a ser uma espécie fotoblástica positiva (CHAUHAN; JOHNSON, 2011). Além disso, a emergência de *E. crus-galli* e *E. colona* é maior mais próximo à superfície do solo, podendo ser mais problemática a ocorrência dessas espécies em sistemas de solo conservacionistas devido ao baixo revolvimento do solo (BAJWA et al., 2015).

Normalmente, a supressão da emergência de plantas daninhas por plantas de cobertura ocorre inicialmente durante a estação de crescimento das culturas, mas não por todo o período (TEASDALE, 1996). No atual experimento, por exemplo, aos 22 DAA já não havia mais efeito de quaisquer níveis de palha no controle de capim-arroz (Tabela 16). Nessa safra, a avaliação da densidade do capim-arroz foi avaliada aos 23 dias após a aplicação dos herbicidas pré-emergentes (Tabela 8), propiciando período suficiente para a emergência do capim-arroz.

Houveram variações no índice pluviométrico entre os dois anos em que os experimentos foram conduzidos (Tabela 7). No ano 2016 a primeira precipitação pluvial ocorreu somente nove dias após a aplicação dos herbicidas pré-emergentes, sendo de 22mm na UFPel e 30mm na Embrapa. Já no ano de 2017 ocorreu uma precipitação de 62mm dois dias após a aplicação dos herbicidas. Isso explica parcialmente os distintos resultados entre os anos. No primeiro ano supõem-se que os herbicidas não tenham sido incorporados ao solo nos primeiros dias após a aplicação, permanecendo na superfície do solo e da palha nos tratamentos que a continham. Por outro lado, no segundo ano os herbicidas podem ter sido lavados da palha e até mesmo lixiviados no perfil do solo.

3.3.3 Produtividade de grãos do arroz

A interação tripla local vs herbicida vs palha e dupla entre herbicida vs palha, bem como os diferentes herbicidas, foram não significativos para a produtividade, sendo que apenas os níveis de palha influenciaram essa variável (Tabela 19). O mesmo comportamento foi observado para a análise conjunta dos dois anos do experimento, sendo a produtividade comparada entre os níveis de palha (Tabela 20).

Tabela 19 – Produtividade de grãos do arroz irrigado cultivar IRGA 424 RI combinada entre UFPel e Embrapa safra 2016/2017. Capão do leão, RS, 2018.

Palha (t ha ⁻¹)	Produtividade do arroz (kg ha ⁻¹)
0	11193A ^{1,2}
1,5	10252B (8,4) ³
3	10094B (9,8)
4,5	9700B (13,3)

¹ médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05); ² as médias representam a combinação da produtividade entre as áreas da UFPel e Embrapa para o ano de 2016; ³ porcentagem de redução na produtividade em relação à quantidade 0 de palha.

Tabela 20 – Produtividade de grãos do arroz irrigado cultivar IRGA 424 RI combinada entre as safras 2016/2017 e 2017/2018. Capão do leão, RS, 2018.

Palha (t ha ⁻¹)	Produtividade do arroz (kg ha ⁻¹)
0	10796A ^{1,2}
1,5	10163B (5,9) ³
3	9883B (8,5)
4,5	9765B (9,5)

¹ médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05); ² as médias representam a combinação da produtividade entre as safras 2016/2017 e 2017/2018; ³ porcentagem de redução na produtividade em relação à quantidade 0 de palha.

A produtividade do arroz foi menor em todas as situações em que foi semeado sobre azevém, resultados já encontrados por outros pesquisadores (MENEZES et al., 2001). As menores produtividades ocorreram nas parcelas com palha por uma série de fatores. O primeiro é que no presente estudo a emergência do arroz semeado sobre a palha ocorreu em média dois dias mais tarde em relação ao solo nu. O menor fechamento do sulco na linha do arroz semeado sobre a palha (Figura 11) pode ter sido o responsável por esse atraso, uma vez que o contato entre a semente e o solo é menor, diminuindo a área superficial específica para absorção de água pelas sementes. Nessa mesma linha, a profundidade em que o arroz foi depositado durante a semeadura sobre o azevém foi maior (dados não mostrados), permanecendo supostamente em ambiente de temperatura mais baixa, atrasando a emergência das plântulas.

Além disso, por vezes a semeadora não foi capaz de cortar a palha do azevém principalmente no maior nível de palha, deixando sementes expostas na superfície da palha. Isso ocasionou um menor número de plantas emergidas e por consequência menor número de colmos no estágio V8 (dados não mostrados). Paralelamente, a densidade de plantas de arroz semeado sobre palha de azevém pode ser 26% menor em relação ao cultivo em solo nu (FERREIRA et al., 2015).

Além dos fatores relativos à plantabilidade e estabelecimento inicial das plantas de arroz, possivelmente tenha ocorrido imobilização de nitrogênio causada pelos microrganismos degradadores da palha (CAO et al., 2018). Os níveis de nitrogênio na planta de arroz em V3 podem ser de até 11% menor utilizando-se azevém como cultura antecessora em relação ao solo sem palha (FERREIRA et al., 2015). Em outro estudo, a produtividade do arroz no sistema de semeadura direta cultivado sobre *Brachiaria brizantha* e *B. ruziziensis* (12,32 e 11,08t ha⁻¹ de biomassa) foi reduzida em 38,3% se comparada ao solo nu e arado, possivelmente pela baixa liberação de nitrogênio por essas culturas (NASCENTE, CRUSCIOL, COBUCCI, 2013).

Por último, existe a possibilidade de ter havido liberação de compostos alelopáticos no decorrer do processo de decomposição do azevém, surtindo efeito inibitório sobre o desenvolvimento do arroz (MENEZES et al., 2001). Mesmo assim, nenhuma pesquisa conclusiva foi encontrada afirmando haver efeito alelopático do azevém sobre o arroz, apenas suposições.



Figura 11 – Sulco de semeadura do arroz aberto após a passagem da semeadora nos tratamentos com palha. Capão do Leão, RS, 2018.

3.4 Conclusões

A quantidade de herbicida que chega ao solo diminui linearmente quanto maior a quantidade de palha de azevém sobre o solo.

A palha do azevém não prejudica a ação de quaisquer dos herbicidas testados e, portanto, todos podem ser indicados para o sistema de semeadura direta de arroz irrigado.

O controle de capim-arroz com os herbicidas oxyfluorfen, pendimethalin e quinclorac aumenta com a utilização de palha sobre o solo quando há atraso na ocorrência de chuvas após a aplicação. Os herbicidas imazapyr+imazapic e clomazone não são influenciados pela quantidade de palha de azevém sobre o solo.

4 CAPÍTULO III – Lixiviação de herbicidas na palha de *Lolium multiflorum* sob chuva simulada e resposta biológica de *Echinochloa* sp.

4.1 Introdução

O arroz é uma das principais culturas a nível mundial, servindo como base para a alimentação de diversos povos (NEWBIGGING; PALIWODA; CHRIS LE, 2015). O Brasil é o nono maior produtor mundial de arroz (FAO, 2015), sendo o Estado do Rio Grande do Sul (RS) responsável por 70% da produção nacional de arroz (SOSBAI, 2016). No RS tem-se buscado a adoção do sistema de semeadura direta com plantas de cobertura, tendo como principais objetivos a redução dos custos operacionais com o preparo das áreas, diminuição da degradação do solo e a supressão de plantas daninhas. Para tal propósito, utiliza-se principalmente o azevém (*Lolium multiflorum*) (BUNDT et al. 2015), devido a melhor adaptabilidade ao ambiente úmido dos solos onde o arroz é cultivado e pelo potencial de uso como forragem no inverno (FERREIRA et al., 2015). No entanto, as plantas de cobertura por vezes não são suficientes para suprimir totalmente a emergência de plantas daninhas (TEASDALE, 1996; WIGGINS et al., 2015), sendo necessária a utilização de herbicidas para complementar o manejo das infestantes.

O controle de plantas daninhas na cultura do arroz irrigado é realizado fundamentalmente com herbicidas pós-emergentes (POS). Entretanto, diversos casos de resistência de plantas daninhas a herbicidas POS são relatados (BALTAZAR; SMITH, 1994; MALIK; BURGOS; TALBERT, 2010; RIAR et al., 2012). Devido a isso tem crescido a necessidade do uso de herbicidas pré-emergentes (PRE), visando a rotação de diferentes mecanismos de ação e possibilidade de aplicação de herbicidas POS em plantas daninhas de menor porte.

O controle de plantas daninhas com herbicidas pré-emergentes depende da disponibilidade do herbicida na solução do solo. No sistema de semeadura direta, a palha sobre o solo pode interceptar e reter os herbicidas, indisponibilizando-os para o controle de plantas daninhas (CARBONARI et al., 2016; LOCKE, REDDY,

ZABLOTOWICS, 2002). Por exemplo, a interceptação de herbicidas pode ser de até 99% pela palhada de cana-de-açúcar (ROSSI et al., 2013) e de trigo (BANKS; ROBINSON, 1982), e 82% pela palha do milho (JOHNSON; WYSE; LUESCHEN, 1989).

Até que não ocorram chuvas para a lixiviação, os herbicidas interceptados pela palha estão sujeitos a diversos processos de dissipação, como a degradação microbiana (ASLAM et al., 2015), volatilização (THELEN; KELLS; PENNER, 1988) e fotólise (LOCKE; BRYSON, 1997). Além disso, conforme o tempo de interação entre o herbicida e a palha, pode haver sorção do herbicida nesses resíduos, dificultando o processo de lixiviação (CASSIGNEUL et al., 2015; CASSIGNEUL et al., 2016). Ainda, dependendo das características físico-químicas dos herbicidas, o grau de sorção na palha é alterado (MARBLE et al., 2015; POTTER et al., 2011). Portanto, o período entre a aplicação do herbicida e a primeira chuva, bem como as características do herbicida, governam a dinâmica de chegada do herbicida no solo (ASLAM et al., 2013; DANG et al., 2016).

O cultivo de arroz irrigado sobre plantas de cobertura é recente no Brasil, não havendo estudos que avaliem a dinâmica de herbicidas pré-emergentes na palha de azevém como planta de cobertura. Dessa maneira, foram realizados dois estudos com os objetivos de avaliar: a resposta biológica de *Echinochloa* sp. à aplicação dos herbicidas clomazone, imazapyr+imazapic, oxyfluorfen, pendimethalin e quinclorac aplicados sobre diferentes quantidades de palha de azevém e submetidos a distintos períodos de chuva simulada após a aplicação (Estudo I); e a lixiviação dos mesmos herbicidas na palha de azevém sob diferentes períodos de chuva simulada após a aplicação (Estudo II).

4.2 Material e métodos

Os experimentos foram instalados em casa de vegetação da Universidade Federal de Pelotas (UFPeI), Departamento de Fitossanidade, Centro de Herbologia. Os herbicidas e as doses utilizadas constam na tabela 5. Para ambos os experimentos, a palha do azevém, cultivar BRS Ponteio, foi coletada no Centro Agropecuário da Palma (CAP), UFPeI, 30 dias após a dessecação com herbicida

glifosato, quando as plantas se encontravam na fase de florescimento pleno. Após isso, deixou-se a palha secar em ambiente natural, obtendo-se umidade da palha em torno de 5% no momento da aplicação dos herbicidas. A palha foi então cortada em pedaços de 10cm para ser utilizada nos dois estudos.

O simulador de chuva utilizado no experimento foi baseado no descrito por Spohr et al. (2015). Foi utilizada uma ponta Veejet 80100 operando na pressão de 30kPa, produzindo chuva com intensidade constante de 60mm h⁻¹. A calibração do simulador foi realizada colocando-se coletores a 2,9m de altura do bico, procedendo-se a medição da precipitação para posteriormente calcular o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), conforme a equação 2. Após a coleta da precipitação em cada coletor, obteve-se um CUC de 92%, sendo tal uniformidade classificada como muito boa segundo a ABNT:NBR 14244 (1998).

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n\bar{X}} \right) \quad (2)$$

Onde:

X_i = precipitação em cada coletor;

\bar{X} = média das precipitações de todos os coletores;

n = número de coletores.

Os períodos de chuva simulada foram 2, 7 e 15 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas, contemplando o que seria uma situação ideal, intermediária e ruim, respectivamente, para a obtenção de bons resultados no controle de plantas daninhas com herbicidas pré-emergentes. A lâmina de chuva simulada foi de 20mm, considerada ser um volume médio de precipitação segundo dados históricos de precipitação para o mês de outubro, mês preferencial para a semeadura do arroz irrigado no RS (SOSBAI, 2016) e, portanto, para a aplicação de herbicidas pré-emergentes.

4.2.1 Estudo I – Resposta de *Echinochloa* sp. a herbicidas pré-emergentes, diferentes quantidades de palha de *Lolium multiflorum* e períodos de chuva simulada após a aplicação

O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, organizado em esquema trifatorial, sendo considerados como fatores os herbicidas (Tabela 5), as quantidades de palha (0, 1,5, 3 e 4,5t ha⁻¹) e os períodos de chuva simulada após a aplicação (2, 7 e 15 dias). Foram utilizados vasos plásticos de 8L, preenchidos com solo peneirado e classificado como Planossolo Hidromórfico Eutrófico solódico, pertencente à Unidade de Mapeamento Pelotas (Embrapa-CNPS, 2006), coletado no CAP, UFPel. Após isso, foram semeadas aproximadamente 2,3g de sementes de *Echinochloa* sp., coletadas em lavoura comercial do município de Dom Pedrito (RS) sob coordenadas 30°42'58.75"S e 54°48'52.97"O. As plantas não possuíam resistência a herbicidas. A partir disso as sementes foram cobertas com uma camada de solo de aproximadamente 1,5cm. A palha já cortada foi então alocada na superfície do solo em quantidades equivalentes a 1,5, 3 e 4,5t ha⁻¹.

A aplicação dos herbicidas pré-emergentes foi realizada dois dias após a semeadura do capim-arroz, a fim de proporcionar absorção de água pelas sementes e ativação do processo germinativo. A quantificação da calda de aplicação que chegou ao solo foi feita utilizando o método descrito no Capítulo II, ou seja, com a alocação de placas de Petri nos potes plásticos (Figura 12) e mistura do corante FD&C Blue No. 1 na calda de pulverização. A curva padrão de linearidade está ilustrada na figura 13. Após a aplicação, os vasos foram colocados em bandejas plásticas para ser feita irrigação por capilaridade, a fim de evitar a interferência da irrigação na lixiviação dos herbicidas na palha. Durante a condução do experimento, a umidade do solo foi mantida próxima da capacidade de campo.



Figura 12– Potes plásticos com placas de Petri sobre o solo e sob a palha para a quantificação da calda de pulverização que chegou na superfície do solo. Capão do Leão, RS, 2018.

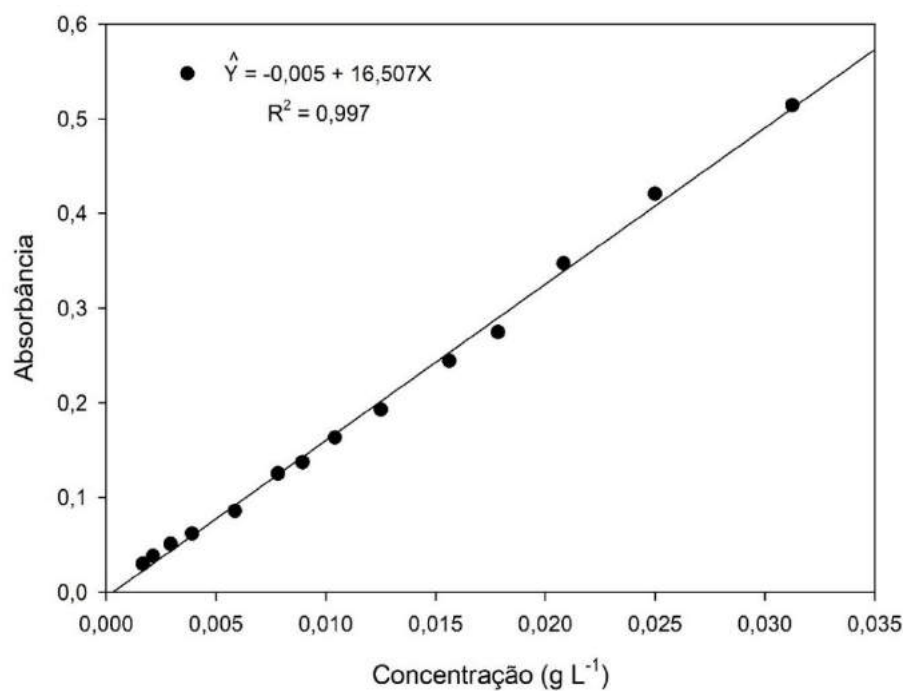


Figura 13 – Curva-padrão da relação entre a absorbância e concentração do corante FD&C No. 1 na calda de pulverização utilizada para o experimento na casa de vegetação. Capão do Leão, RS, 2018.

A variável analisada foi o controle de capim-arroz com notas percentuais de 0 a 100%, sendo as parcelas sem herbicida o parâmetro da nota 0%, ou seja, o máximo de emergência de plantas, e 100%, nenhuma planta emergida. As avaliações nas

duas vezes em que o experimento foi conduzido foram realizadas aos 9, 16, 24, 31 e 38 dias após a aplicação (DAA), sendo consideradas para fins de apresentação como a 1^a, 2^a, 3^a, 4^a e 5^a avaliação, respectivamente.

Os dados de controle (%) foram submetidos à transformação arcoseno da raiz quadrada. Posteriormente, aplicou-se o teste de Shapiro-Wilk para verificação da normalidade dos dados. Após isso foi realizada análise de variância pelo teste F e, quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. O nível de significância de todas as análises foi de 5%.

4.2.2 Estudo II – Lixiviação de herbicidas pré-emergentes na palha de *Lolium multiflorum* sob diferentes períodos de chuva simulada após a aplicação

A estrutura geral utilizada no Estudo II é ilustrada na figura 14. Nesse estudo utilizou-se a quantidade máxima de palha, 4,5t ha⁻¹, por proporcionar a máxima cobertura da superfície do solo entre os níveis de palha testados. A palha foi colocada sobre um telado de arame com malha de 0,0002m² fixado em canos de PVC de 0,1m de diâmetro e 0,1m de altura (Figura 15). Foi utilizado o telado para viabilizar a passagem da água e evitar que a palha fosse deslocada com o impacto da chuva. No momento da simulação da chuva, os canos foram colocados em cima de funis de vidro com bocal de 0,12m de diâmetro, cuja saída foi inserida no interior de frascos âmbar de 1L (Figura 16) para que a água transpassada fosse coletada diretamente em recipientes adequados ao armazenamento das amostras até a análise em UHPLC. Após a simulação da chuva, os frascos foram imediatamente armazenados à temperatura de 4°C.

A quantificação da transposição de herbicida na palha no momento da aplicação foi realizada colocando-se coletores de vidro de 2,5 x 10⁻³m² abaixo da palha, no interior dos canos; os coletores foram também colocados no exterior dos canos para coleta de toda calda de pulverização. Os coletores foram levados ao laboratório e lavados com aproximadamente 10mL de acetonitrila, sendo a solução acondicionada em frascos âmbar de 200mL e armazenados à temperatura de 4°C até a análise cromatográfica.

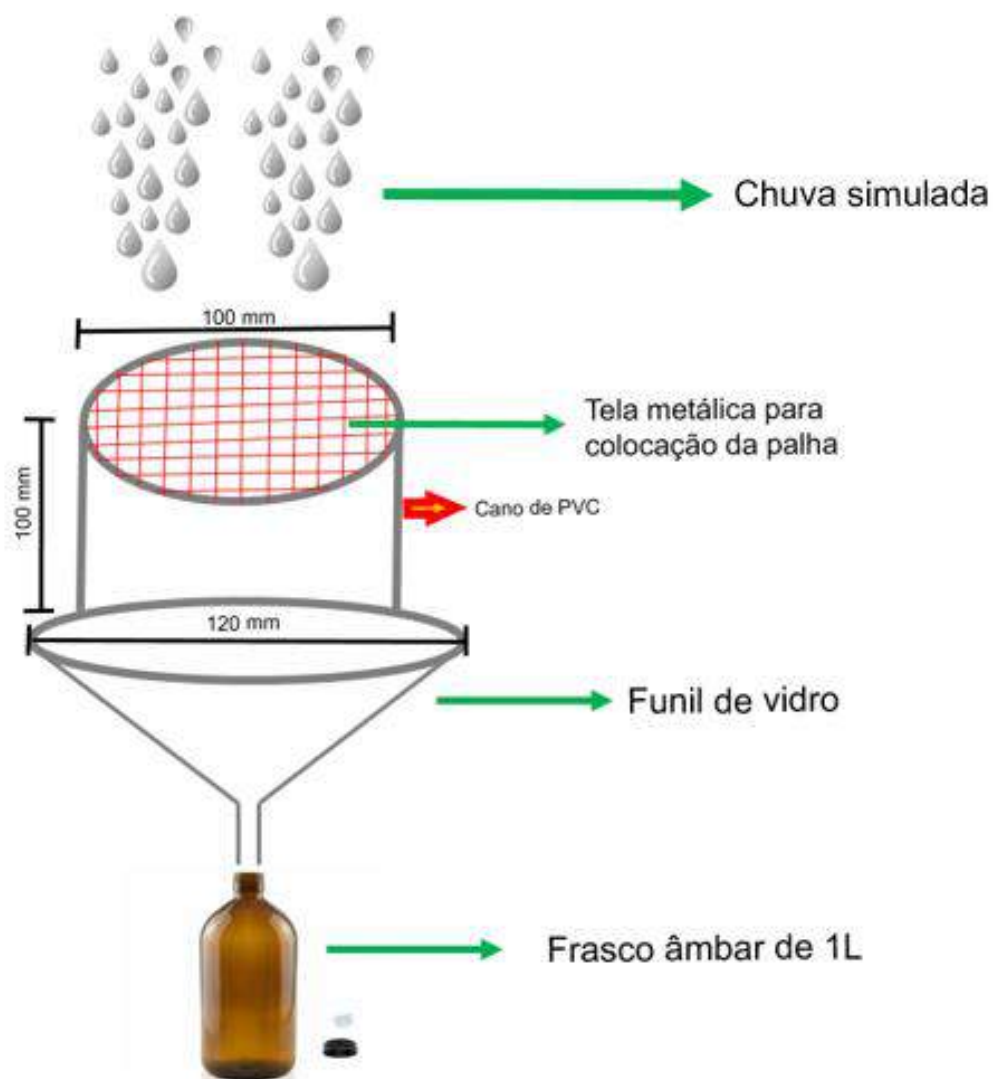


Figura 14 – Ilustração da estrutura geral utilizada para avaliar a lixiviação de herbicidas na palha de azevém. Capão do Leão, RS, 2018.



Figura 15 – Estruturas para alocação da palha: canos de PVC de 0,1m de diâmetro com telado de arame fixado em uma das extremidades. Capão do Leão, RS, 2018.



Figura 16 – Estrutura apta a receber a chuva simulada. De baixo para cima: frascos âmbar de 1L; funis de vidro com bocal de 0,12m de diâmetro; canos de PVC de 0,1m de diâmetro com telado de arame; e a palha do azevém na superfície do telado. Capão do Leão, RS, 2018.

Os frascos foram pesados quando secos e com acetonitrila em balança de precisão, para posterior quantificação do volume de acetonitrila nos frascos por meio da densidade desse solvente. Pela diferença entre a quantidade de herbicida no interior e exterior dos canos, foi possível determinar quanto herbicida permaneceu na palha disponível para o processo de lixiviação com a chuva simulada. Dessa maneira, foi possível expressar a quantidade de herbicida lixiviado em porcentagem da quantidade que permaneceu na palha, uma vez que a dose de ingrediente ativo é diferente para cada herbicida.

As análises tiveram início com a confecção de soluções estoque com concentrações conhecidas de herbicida e a elaboração de curvas-padrão utilizando-se o solvente metanol e os padrões analíticos de cada herbicida (Tabela 21). Os padrões analíticos (PESTANAL®) foram adquiridos na empresa Sigma-Aldrich®. A

curva-padrão para estimativa dos herbicidas nas amostras foi realizada por meio da fortificação de uma solução água ultra-pura:metanol 1:3 com concentrações de 1 a 250ng ml⁻¹ de cada herbicida.

Durante o preparo, as amostras foram diluídas 20 vezes a fim de serem contemplados pela faixa de concentração da curva-padrão. A recuperação dos herbicidas foi testada pela fortificação de amostras das unidades experimentais sem herbicida, chegando-se a uma recuperação média de 115, 111, 87, 125 e 97% para os herbicidas imazapyr, imazapic, quinclorac, clomazone e pendimethalin, respectivamente. Oxyfluorfen foi retirado das análises cromatográficas em função do não ajuste do método para a detecção deste herbicida.

Tabela 21. Equações das curvas-padrão geradas por cromatografia líquida de ultra-alta performance para estimativa das concentrações nas amostras.

Herbicida	Equação	R ²
Clomazone	$3,684e^6X + 4,013e^6$	0,9996
Imazapyr	$6,47e^6X + 4,718e^6$	0,9994
Imazapic	$8,997e^6X + 1,594e^7$	0,999
Pendimethalin	$1,618e^6X + 3,924e^5$	0,9995
Quinclorac	$1,558e^6X + 1,22e^6$	0,9995

A água coletada em cada simulação foi utilizada para comparar a quantidade de herbicida que foi lixiviado da palha entre os diferentes períodos de chuva. Para isso, uma alíquota de 1mL de cada amostra de água foi filtrada em filtros de seringa polyvinylidene fluoride (PVDF) (Millex®-GV, Millipore Corporation) com poros de 0,22µm; após isso, foi passado pelo filtro 3mL do solvente metanol para fins de melhorar o nível de detecção dos herbicidas no cromatógrafo. Uma alíquota de 1mL de cada amostra foi injetada em vials para a análise cromatográfica e quantificação.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com quatro repetições, organizado em esquema bifatorial, sendo considerados como fatores os herbicidas e os períodos de chuva simulada após a aplicação. A variável dependente foi a porcentagem de herbicida lixiviado em relação à dose que permaneceu na superfície da palha. Os dados de lixiviação (%) foram submetidos à transformação arco-seno da raiz quadrada, aplicando-se o teste de Shapiro-Wilk para verificação da normalidade dos dados. Após isso foi realizada análise de variância pelo teste F e, quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. O nível de

significância de todas as análises foi de 5%. Os dados foram convertidos à escala original para fins de apresentação.

4.3 Resultados e discussão

4.3.1 Estudo I – Resposta de *Echinochloa* sp. a herbicidas pré-emergentes, diferentes quantidades de palha de *Lolium multiflorum* e períodos de chuva simulada após a aplicação

4.3.1.1 Intercepção da calda dos herbicidas pela palha no momento da aplicação

Houve redução da calda de herbicida que chegou ao solo conforme o aumento dos níveis de palha de azevém sobre o solo (Figura 17).

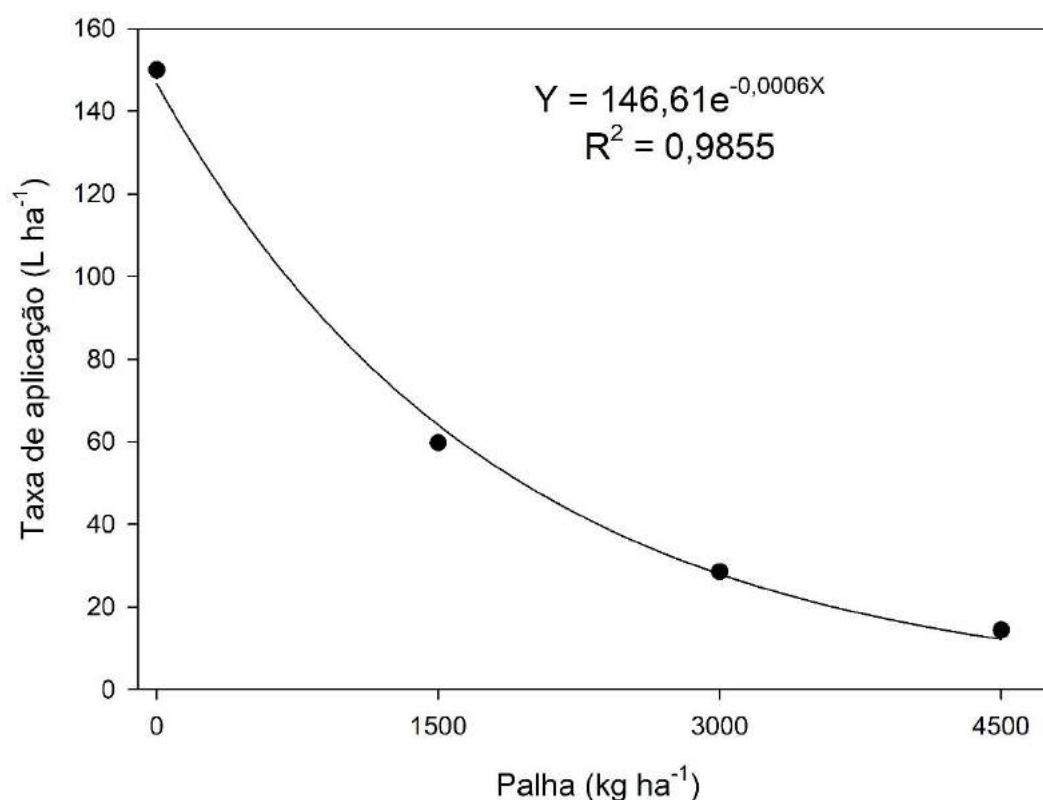


Figura 17 – Intercepção da calda de aplicação (L ha⁻¹) dos herbicidas em função da quantidade de palha (kg ha⁻¹) de azevém (*Lolium multiflorum*) sobre o solo em experimento de casa de vegetação. Capão do Leão, RS, 2018.

A calda de aplicação dos herbicidas que chegou ao solo foi diminuída à medida que se aumentou os níveis de palha sobre o solo, onde no solo nu a taxa de aplicação foi de 150L ha⁻¹, e de 60, 28 e 14L ha⁻¹ com 1,5, 3 e 4,5t ha⁻¹ de palha, respectivamente. Esse resultado é relativamente diferente do que normalmente se apresenta em experimentos de campo, pois a palha sobre o solo no presente estudo encontrava-se horizontalmente orientada (Figura 12). Desse modo, uma baixa quantidade de palha como 1,5t ha⁻¹ já foi suficiente para interceptar mais da metade da calda aplicada. No campo, a exemplo do atual estudo, até uma certa altura de corte as plantas permanecem eretas mesmo após terem seu ciclo terminado pelos herbicidas. Nesse sentido, a interceptação dos herbicidas depende tanto da densidade da palha sobre o solo quanto da sua orientação, ou seja, se disposta horizontalmente ou ereta (GASTON; BOQUET; BOSCH, 2003; GASTON; BOQUET; BOSCH, 2001).

4.3.1.2 Controle de capim-arroz

Houve interação entre os fatores herbicida (H), quantidades de palha (P) e períodos de chuva (C) após a aplicação para todas as avaliações visuais de controle de capim-arroz (Tabela 22). Desse modo, as comparações das médias de controle para a interação tripla H*P*C estão apresentadas nas tabelas 24, 25, 26, 27 e 28 para 9 dias após a aplicação (DAA), 16, 24, 31, e 38 DAA, respectivamente.

Tabela 22 – p-valor para as múltiplas avaliações de controle de capim-arroz sob a ação dos fatores herbicidas pré-emergentes, quantidades de palha de azevém e períodos de chuva simulada após a aplicação dos herbicidas. Capão do Leão, RS, 2018.

Fonte de variação	Avaliações de controle				
	9 DAA ¹	16 DAA	24 DAA	31 DAA	38 DAA
Herbicida (H)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Palha (P)	<0,0001	0,1544	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Chuva (C)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0003
H*P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
H*C	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
P*C	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0017
H*P*C	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

¹ DAA: dias após a aplicação dos herbicidas pré-emergentes.

Aos nove dias após a aplicação dos herbicidas o controle de capim-arroz foi maior com oxyfluorfen, independentemente da quantidade de palha e período de chuva simulada após a aplicação (Tabela 23). Esse mesmo herbicida apresentou controle do capim-arroz superior a 97%, não havendo influência das quantidades de palha no controle em quaisquer dos períodos de chuva. Possivelmente, a quantidade de palha não afetou o controle devido à adequada umidade do solo no vaso em que as plantas se desenvolveram, disponibilizando o herbicida para que pudesse agir.

Os herbicidas imazapyr+imazapic (IMI) e quinclorac apresentaram decréscimo no controle conforme o aumento no período entre a aplicação e a primeira chuva para todas as quantidades de palha, principalmente nos maiores níveis. IMI e quinclorac são herbicidas pertencentes aos modos de ação dos inibidores da enzima acetolactato sintase e auxinas sintéticas, respectivamente; a ação de ambos modos de ação não produz acúmulo de substâncias tóxicas na planta, como é o caso de clomazone e oxyfluorfen, portanto apresentando ação mais lenta. Sendo assim, provavelmente as plantas de capim-arroz tiveram tempo e capacidade de emergir por causa que menos herbicida chegou no solo nas quantidades de 3 e 4,5t ha⁻¹ de palha (Figura 17). O herbicida pendimethalin apresentou controle superior a 95,8% independente da quantidade de palha e período de chuva aos nove DAA.

Os herbicidas não foram tão influenciados pelas quantidades de palha e períodos de chuva aos nove DAA provavelmente porque a concentração de herbicida que chegou ao solo foi suficiente para controlar os primeiros fluxos de emergência de capim-arroz. Com o passar do tempo, na avaliação seguinte (16 DAA) passou a haver maior influência destes fatores sobre a ação dos herbicidas (Tabela 24). Por exemplo, o decréscimo de controle com IMI e quinclorac passou a ser mais acentuado conforme o aumento no período de chuva. IMI apresentou controle de 81,6 a 88,3% nas diferentes quantidades de palha quando a chuva foi simulada dois DAA. Porém, quando a chuva ocorreu 14 DAA, o controle foi de 63,5, 47,5, 40 e 53,5% nos níveis de 0, 1,5, 3 e 4,5t ha⁻¹, evidenciando alguma via de dissipação do herbicida na palha. Também aos 16 DAA, quinclorac seguiu a mesma tendência de IMI, controlando 39% do capim-arroz quando aplicado sobre 4,5t ha⁻¹ e chuva 14 DAA (Tabela 24), que teoricamente era a pior condição testada neste experimento para a ação dos herbicidas. Também com chuva ocorrendo 14 DAA, o quinclorac aplicado sobre o solo

Tabela 23 – Avaliação visual de controle (%) de capim-arroz (*Echinochloa* sp.) (9DAA¹) sob diferentes herbicidas pré-emergentes, quantidades de palha de azevém e períodos de chuva simulada após a aplicação dos herbicidas. Capão do leão, RS, 2018.

Palha (t/ha)	Herbicida	Períodos de chuva simulada (DAA)		
		2	7	14
0	Testemunha	α 0Ec ^{2, 3}	α 0 Dc	α 0Fb
	Clomazone	β 84 Cc	β 84 Bc	α 92 Cb
	IMI ⁴	α 77Da	Ω 51 Cc	β 67 Ea
	Oxyfluorfen	α 99 Aa	β 97 Ab	αβ 99 Aa
	Pendimethalin	β 96 Bc	α 98 Ab	α 98 Bc
	Quinclorac	α 96 Bab	β 86 Bb	β 88 Da
1,5	Testemunha	α 0Ec	α 0 Ec	α 0 Db
	Clomazone	β 85 Cc	α 93 Cb	α 92 Bb
	IMI	β 75 Da	α 78 Da	Ω 66 Ca
	Oxyfluorfen	α 98 Aa	α 99 Aa	α 98 Aa
	Pendimethalin	β 96 Bc	αβ 97 Bb	α 98 Abc
	Quinclorac	α 95 Bb	β 83 Db	Ω 63 Cc
3	Testemunha	β 5 Db	β 5 Eb	α 27 Ea
	Clomazone	β 87 Bb	α 95 Bb	α 96 Ba
	IMI	α 72 Cb	α 71 Db	β 46 Db
	Oxyfluorfen	α 99 Aa	α 99 Aa	α 98 Aa
	Pendimethalin	β 99 Aa	α 99 Aa	αβ 99 Aa
	Quinclorac	α 98 Aa	β 80 Cb	β 83 Cb
4,5	Testemunha	β 25 Da	Ω 21 Ca	α 31 Ea
	Clomazone	β 93 Ba	α 97 Aa	α 97 Ba
	IMI	α 73 Cb	β 43 Bd	β 48 Db
	Oxyfluorfen	β 97 Aa	β 98 Aab	α 99 Aa
	Pendimethalin	α 98 Ab	α 98 Aab	α 99 Aab
	Quinclorac	α 98 Aa	β 97 Aa	Ω 56 Cd

¹ valores representam a avaliação visual de controle (%) aos nove dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas pré-emergentes; ² na coluna, letras maiúsculas comparam herbicidas dentro dos fatores palha e períodos de chuva e minúsculas comparam quantidade de palha dentro dos fatores herbicida e períodos de chuva; na linha, letras gregas comparam períodos de chuva dentro dos fatores herbicida e palha; ³ médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ⁴ IMI: imazapyr + imazapic.

Tabela 24 – Avaliação visual de controle (%) de capim-arroz (*Echinochloa* sp.) (16DAA¹) sob diferentes herbicidas pré-emergentes, quantidades de palha de azevém e períodos de chuva simulada após a aplicação dos herbicidas. Capão do leão, RS, 2018.

Palha (t/ha)	Herbicida	Períodos de chuva simulada (DAA)		
		2	7	14
0	Testemunha	α 0 Da ^{2,3}	α 0 Ea	α 0 Da
	Clomazone	$\alpha\beta$ 99 Ab	α 99 Aa	β 98 Aa
	IMI ⁴	α 86 Cb	β 70 Db	β 63 Ca
	Oxyfluorfen	α 97 ABa	α 97 Bb	α 97 Aab
	Pendimethalin	β 97 Ba	α 98 Bb	β 97 Aa
	Quinclorac	α 96 Bc	β 83 Cc	Ω 76 Ba
1,5	Testemunha	α 0 Da	α 0 Ea	α 0 Ea
	Clomazone	α 99 Aa	α 99 Aa	β 98 Aa
	IMI	α 82 Cc	β 75 Dab	Ω 47 Ccb
	Oxyfluorfen	α 99 Aa	β 97 Bb	β 96 Bb
	Pendimethalin	α 97 Ba	α 98 Bb	α 97 ABa
	Quinclorac	α 96 Bbc	β 89 Cb	Ω 42 Db
3	Testemunha	α 0 Da	α 0 Da	α 0 Da
	Clomazone	α 99 Aa	α 99 Aa	β 97 Aa
	IMI	α 88 Ca	β 76 Cab	Ω 40 Cc
	Oxyfluorfen	α 98 Ba	α 98 Ba	α 97 Aab
	Pendimethalin	β 98 Ba	α 99 Aa	β 96 Aab
	Quinclorac	α 99 Bab	β 80 Cc	Ω 51 Bb
4,5	Testemunha	α 0 Da	α 0 Da	α 0 Ca
	Clomazone	α 99 Aa	α 99 Aa	α 86 Aa
	IMI	α 85 Cb	α 82 Ca	β 53 Bb
	Oxyfluorfen	α 97 Ba	α 97 Bb	α 98 Aa
	Pendimethalin	$\alpha\beta$ 97 Ba	α 98 Bb	β 94 Ab
	Quinclorac	α 99 Aa	α 98 Ba	β 39 Bb

¹ valores representam a avaliação visual de controle (%) aos 16 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas pré-emergentes; ² na coluna, letras maiúsculas comparam herbicidas dentro dos fatores palha e períodos de chuva e minúsculas comparam quantidade de palha dentro dos fatores herbicida e períodos de chuva; na linha, letras gregas comparam períodos de chuva dentro dos fatores herbicida e palha; ³ médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ⁴ IMI: imazapyr + imazapic.

nu controlou 76,5% do capim-arroz. Pendimethalin aos 16 DAA também apresentou controle satisfatório, acima de 94%.

A avaliação dos 24 DAA (Tabela 25) apresentou comportamento semelhante à avaliação anterior (16 DAA), mas com aumento no controle do capim-arroz pelo quinclorac, principalmente nos tratamentos que receberam chuva aos 14 DAA. Deve ser considerado que aos 24 DAA decorrem dez dias após a última simulação de chuva, o que pode ter lixiviado os herbicidas da palha e os disponibilizado no solo para o controle das plantas. Ainda aos 24 DAA, clomazone, oxyfluorfen e pendimethalin

controlaram mais de 88% do capim em todas as situações. IMI apresentou controle de 58% e 49% nos níveis de palha com 1,5 e 3t ha⁻¹, respectivamente, na chuva de 14 DAA. Interessantemente o menor controle com IMI ocorreu nos níveis intermediários de palha (1,5 e 3t ha⁻¹), ocorrendo aumento de controle em relação às avaliações anteriores para os níveis de 0 e 4,5t ha⁻¹ de palha.

Nas duas últimas avaliações (31 e 38 DAA) o controle de capim por todos os herbicidas aumentou (Tabelas 26 e 27) em relação às avaliações anteriores. Aos 31 e 38 DAA decorreram 17 e 24 dias após a última simulação de chuva, denotando que os herbicidas retidos na palha no momento da aplicação não sofreram processos de dissipação ao longo do tempo em que o experimento foi conduzido. Resultado semelhante foi obtido com o herbicida sulfentrazone, que mesmo aplicado sobre 10t ha⁻¹ de cana-de-açúcar e simulação de chuva (20mm) 90 DAA controlou plantas de *I. hederifolia* e *I. quamoclit* da mesma maneira que aplicado ao solo nu e chuva aos 0 DAA (CORREIA; CAMILO; SANTOS, 2013).

A eficácia dos herbicidas quando aplicados sobre a palha de plantas de cobertura tem estreita relação com as características físico-químicas das moléculas (BOYD; XIANGCAN; LEE, 1990), com o volume de chuva (ARALDI et al., 2015) e com o tempo entre a aplicação e a primeira chuva (DANG et al., 2016). O pendimethalin possui alto K_{ow} e baixa solubilidade em água, apresentando remoção de 1% nos resíduos de *V. villosa* e *T. aestivum* após três chuvas de 20mm (GASTON; BOQUET; BOSCH, 2003); no estudo de Araldi et al. (2015), nenhum traço de pendimethalin foi recuperado de 10t ha⁻¹ de cana-de-açúcar com uma chuva simulada de 100mm. De forma contrária, no presente trabalho não houveram indícios de que pendimethalin tenha ficado sorvido na palha do azevém, uma vez que o controle de capim-arroz foi superior a 95% para todas as avaliações e todas as condições testadas. Nos estudos de Gaston, Boquet e Bosch (2003) a simulação de chuva foi feita utilizando-se uma bomba de vácuo, já Araldi et al. (2015) utilizaram o mesmo equipamento da aplicação dos herbicidas para simular a chuva. Tais métodos não produzem chuvas com características próximas às de chuvas naturais, produzindo gotas mais pulverizadas e de menor diâmetro, que têm menor impacto sobre a palha e possivelmente possuem menor capacidade em remover os herbicidas da palha.

Tabela 25 – Avaliação visual de controle (%) de capim-arroz (*Echinochloa* sp.) (24DAA¹) sob diferentes herbicidas pré-emergentes, quantidades de palha de azevém e períodos de chuva simulada após a aplicação dos herbicidas. Capão do leão, RS, 2018.

Palha (t/ha)	Herbicida	Períodos de chuva simulada (DAA)		
		2	7	14
0	Testemunha	α 0 Ca ^{2,3}	α 0 Da	α 0 Ca
	Clomazone	α 98 Aa	α 99 Aa	α 99 Aab
	IMI ⁴	α 87 Ba	Ω 72 Cb	β 84 Ba
	Oxyfluorfen	α 88 Bc	α 94 Bab	α 96 Aab
	Pendimethalin	α 99 Aab	α 99 Aa	α 99 Aab
	Quinclorac	α 91 Bc	αβ 90 Bc	β 89 Ba
1,5	Testemunha	α 0 Da	α 0 Ea	α 0 Ea
	Clomazone	α 99 Aa	α 99 Aa	α 99 Aa
	IMI	α 66 Cc	β 60 Dc	β 58 Dbc
	Oxyfluorfen	α 99 Aa	Ω 92 Cb	β 95Bb
	Pendimethalin	αβ 95 Aa	β 99 Ba	α 99 Aa
	Quinclorac	α 95 Bb	α 94 Cb	β 83 Cb
3	Testemunha	α 0 Ca	α 0 Da	α 0 Ea
	Clomazone	α 99 Aa	α 99 Aa	β 97 ABb
	IMI	α 76 Bb	β 60 Cc	Ω 49 Dc
	Oxyfluorfen	αβ 98 Aab	α 98 Aa	β 95 Bb
	Pendimethalin	α 99 Aab	α 99 Aa	α 99 Aab
	Quinclorac	α 98 Aa	β 96 Bb	Ω 83 Cb
4,5	Testemunha	α 0 Ea	α 0 Ca	α 0 Ca
	Clomazone	α 99 Aa	αβ 99 Aa	β 97 Ab
	IMI	β 75 Db	α 95 Ba	β 75 Cab
	Oxyfluorfen	α 96 Cb	α 96 ABab	α 98 Aa
	Pendimethalin	α 98 BCb	α 98 ABa	α 98 Ab
	Quinclorac	α 99 ABa	α 99 Aa	β 82 Bb

¹ valores representam a avaliação visual de controle (%) aos 24 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas pré-emergentes; ² na coluna, letras maiúsculas comparam herbicidas dentro dos fatores palha e períodos de chuva e minúsculas comparam quantidade de palha dentro dos fatores herbicida e períodos de chuva; na linha, letras gregas comparam períodos de chuva dentro dos fatores herbicida e palha; ³ médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ⁴ IMI: imazapyr + imazapic.

Tabela 26 – Avaliação visual de controle (%) de capim-arroz (*Echinochloa* sp.) (31DAA¹) sob diferentes herbicidas pré-emergentes, quantidades de palha de azevém e períodos de chuva simulada após a aplicação dos herbicidas. Capão do leão, RS, 2018.

Palha (t/ha)	Herbicida	Períodos de chuva simulada (DAA)		
		2	7	14
0	Testemunha	α 0 Da ^{2,3}	α 0 Da	α 0 Da
	Clomazone	α 99 Aa	α 99 Aa	α 96 ABa
	IMI ⁴	α 87 Ca	β 71 Cb	α 86 Cb
	Oxyfluorfen	β 91 Cc	α 95 Ba	α 96 Ba
	Pendimethalin	α 99 Aa	α 99 Aa	α 99 Aa
	Quinclorac	α 95 Bc	α 92 Bc	α 95 Ba
1,5	Testemunha	α 0 Da	A 0 Da	α 0 Fa
	Clomazone	α 99 Aa	α 99 Aa	β 98 Ba
	IMI	$\alpha\beta$ 66 Cd	β 64 Cc	α 68 Ec
	Oxyfluorfen	α 99 Aa	β 95 Ba	β 94 Ca
	Pendimethalin	α 99 Aa	α 99 Aa	α 99 Aa
	Quinclorac	α 96 Bbc	$\alpha\beta$ 94 Bbc	β 89 Cb
3	Testemunha	α 0 Ca	α 0 Da	α 0 Da
	Clomazone	α 99 Aa	α 99 Aa	β 96 Ba
	IMI	α 71 Bc	β 64 Cc	$\alpha\beta$ 69 Cc
	Oxyfluorfen	α 98 Aab	$\alpha\beta$ 98 Ba	β 94 Ba
	Pendimethalin	α 99 Aa	α 99 Aa	α 99 Aa
	Quinclorac	α 98 Aab	β 96 Cb	β 95 Ba
4,5	Testemunha	α 0 Da	α 0 Ca	α 0 Ca
	Clomazone	α 99 Aa	α 99 Aa	β 95 Ba
	IMI	β 81 Cb	α 96 Ba	α 94 Ba
	Oxyfluorfen	α 95 Bbc	α 96 Ba	α 95 Ba
	Pendimethalin	α 99 Aa	α 99 ABa	α 99 Aa
	Quinclorac	α 99 Aa	β 99 ABa	Ω 92 Bab

¹ valores representam a avaliação visual de controle (%) aos 31 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas pré-emergentes; ² na coluna, letras maiúsculas comparam herbicidas dentro dos fatores palha e períodos de chuva e minúsculas comparam quantidade de palha dentro dos fatores herbicida e períodos de chuva; na linha, letras gregas comparam períodos de chuva dentro dos fatores herbicida e palha; ³ médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ⁴ IMI: imazapyr + imazapic.

No presente estudo, a chuva foi simulada por aspersor que produz gotas com diâmetro e velocidade semelhantes às de uma chuva natural (LOCH et al., 2001; SPOHR et al., 2015), cuja força de impacto pode ter proporcionado contato da palha com o solo e proporcionado boa eficácia do pendimethalin, apesar da sua alta lipofilicidade e baixa solubilidade em água. Dessa maneira, mesmo herbicidas altamente propensos a ficarem sorvidos na palha, em condições de campo e chuva natural podem proporcionar bom controle de plantas daninhas.

Tabela 27 – Avaliação visual de controle (%) de capim-arroz (*Echinochloa* sp.) (38DAA¹) sob diferentes herbicidas pré-emergentes, quantidades de palha de azevém e períodos de chuva simulada após a aplicação dos herbicidas. Capão do leão, RS, 2018.

Palha (t/ha)	Herbicida	Períodos de chuva simulada (DAA)		
		2	7	14
0	Testemunha	α 0 Da ^{2,3}	α 0 Da	α 0 Da
	Clomazone	α 99 Aa	α 99 Aa	β 96 Ba
	IMI ⁴	α 84 Ca	Ω 66 Cb	β 70 Cb
	Oxyfluorfen	β 82 Cc	α 92 Bb	α 96 Ba
	Pendimethalin	α 99 Aa	α 99 Aa	α 99 Aa
	Quinclorac	α 94 Bc	β 89 Bb	α 93 Bb
1,5	Testemunha	α 0 Da	α 0 Da	α 0 Ea
	Clomazone	α 99 Aa	α 99 Aa	β 97 Ba
	IMI	α 60 Cb	α 60 Cc	β 58 Dc
	Oxyfluorfen	α 99 Aa	β 95 Bab	β 93 Ca
	Pendimethalin	α 99 Aa	α 99 Aa	α 99 Da
	Quinclorac	α 95 Bbc	α 91 Bb	α 92 Cb
3	Testemunha	α 0 Da	α 0 Da	α 0 Ea
	Clomazone	α 99 Aa	α 99 Aa	β 95 CBa
	IMI	α 60 Cb	β 58 Cc	α 61 Dc
	Oxyfluorfen	α 96 Bab	α 97 Ba	α 93Ca
	Pendimethalin	α 99 ABa	α 99 Aa	α 99 Aa
	Quinclorac	α 98 ABab	α 96 Ba	α 98 Ba
4,5	Testemunha	α 0 Ca	α 0 Ca	α 0 Da
	Clomazone	α 99 Aa	α 98 Aa	β 93 Ca
	IMI	β 84 Ba	αβ 97 ABa	α 99 Aa
	Oxyfluorfen	α 94 ABb	α 94 Bb	α 94 Ca
	Pendimethalin	α 98 Aa	α 99 Aa	α 99 ABb
	Quinclorac	α 98 Aa	β 97 ABa	β 97 BCa

¹ valores representam a avaliação visual de controle (%) aos 38 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas pré-emergentes; ² na coluna, letras maiúsculas comparam herbicidas dentro dos fatores palha e períodos de chuva e minúsculas comparam quantidade de palha dentro dos fatores herbicida e períodos de chuva; na linha, letras gregas comparam períodos de chuva dentro dos fatores herbicida e palha; ³ médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05); ⁴ IMI: imazapyr + imazapic.

No caso de clomazone e quinclorac, o controle satisfatório pode ser explicado pela menor capacidade de adsorção desses herbicidas em componentes orgânicos (baixo K_{ow}), o que possivelmente tenha feito com que os herbicidas tenham sido lixiviados da palha. Araldi et al. (2015) encontraram que 90% do clomazone foi lixiviado de 10t ha⁻¹ com 35mm de chuva. No presente trabalho o maior nível de palha foi de 4,5t ha⁻¹, constituindo menor barreira à retenção dos herbicidas do que no trabalho de Araldi et al. (2015). Em relação ao fluometuron, a recuperação do herbicida na palha de vegetação nativa, *V. vilosa* e trigo foi de 32, 29 e 20%, respectivamente, após três

chuvas de 20mm (GASTON; BOQUET; BOSCH, 2001), observando-se que grande parte dos herbicidas permaneceram retidos nos resíduos. Porém, a intensidade da chuva utilizada no trabalho de Gaston, Boquet e Bosch (2001) foi de 2mm h⁻¹, sendo 30 vezes menor em relação à utilizada no presente trabalho (60mm h⁻¹).

4.3.2 Estudo II – Lixiviação de herbicidas pré-emergentes na palha de *Lolium multiflorum* sob diferentes períodos de chuva simulada após a aplicação

A quantidade de herbicida interceptado pela palha foi em média 98% em relação ao total detectado no momento da aplicação. Portanto, o valor de interceptação (Tabela 28) foi tomado como base para relativizar a quantidade de herbicida lixiviado após a simulação das chuvas (Tabela 29), uma vez que essa foi a quantidade real disponível ao processo de lixiviação. Houve interação entre os fatores herbicidas e períodos de chuva simulada após a aplicação para a lixiviação dos herbicidas na palha de azevém. Assim, as médias de lixiviação foram comparadas pelo teste de Tukey entre os herbicidas e os períodos de chuva (Tabela 30).

Tabela 28. Balanço de massas dos herbicidas entre a dose aplicada via pulverização, interceptada e transposta na palha de *Lolium multiflorum*.

Herbicida	Dose aplicada	Dose detectada	Transposição	Interceptação
		g ha ⁻¹		
Clomazone	720	672,05 ± 124,8 ¹	5,22 ± 6,12	666,83
Imazapyr	73,5	55,7 ± 5	1,13 ± 1,05	54,6
Imazapic	24,5	19,2 ± 1,7	0,15 ± 0,25	19,05
Pendimethalin	1400	1134,2 ± 2,5	57,6 ± 65,2	1076,6
Quinclorac	375	310,8 ± 55	3,7 ± 6,09	307,1

¹ Valor referente ao intervalo de confiança entre as repetições da quantificação dos herbicidas que chegaram na superfície da palha.

Todos os herbicidas tiveram redução na concentração conforme aumentou-se o tempo entre a aplicação e a primeira chuva, porém em diferentes escalas dependendo do herbicida. Clomazone e pendimethalin foram os herbicidas que menos lixiviaram na palha do azevém, sendo as causas desse comportamento advindas das características físico-químicas de suas moléculas. Já imazapyr, imazapic e quinclorac tiveram persistência mais elevada na palha, não havendo diferenças de lixiviação nos dois últimos períodos de chuva. Aos 15 dias após a aplicação (DAA), o quinclorac foi

o herbicida mais lixiviado em relação aos demais (Tabela 30), demonstrando alta persistência e baixa sorção na palha do azevém.

Tabela 29. Quantidade de herbicida (g/ha) detectado por cromatografia líquida de ultra-alta performance na água lixiviada da palha de *Lolium multiflorum*.

Herbicida	Períodos para simulação de chuva (DAA ¹)		
	2	7	15
Clomazone	288 ± 71,4 ²	134 ± 10,6	76,5 ± 9,1
Imazapyr	65,3 ± 23,3	47,4 ± 11,7	38,9 ± 8,9
Imazapic	20,6 ± 3,7	15,1 ± 4,1	11,9 ± 3,1
Pendimethalin	237,2 ± 146	121,4 ± 9,8	76,4 ± 20,9
Quinclorac	418,3 ± 54,9	273,3 ± 22,9	272,7 ± 47,3

¹ DAA – dias após a aplicação dos herbicidas; ² valor referente ao intervalo de confiança entre as repetições da quantificação dos herbicidas que chegaram na superfície da palha.

Tabela 30. Lixiviação (%) de herbicidas na palha de *Lolium multiflorum* sob diferentes períodos de chuva simulada após a aplicação.

Herbicida	Períodos para simulação de chuva (DAA ¹)		
	2	7	15
Clomazone	42,9 bA ²	19,9 bB	11,4 cB
Imazapyr	98,5 aA	72,3 aB	61,4 bB
Imazapic	99,4 aA	65,4 aB	53,7 bB
Pendimethalin	20,9 bA	10,5 bA	6,7 cA
Quinclorac	99,5 aA	83,5 aB	94 aAB

¹ DAA – dias após a aplicação dos herbicidas; ² médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

O clomazone sofreu 42,9% de lixiviação mesmo quando a chuva ocorreu 2 DAA. Isso pode estar atrelado à suscetibilidade dessa molécula ao processo de volatilização (LOCKE et al., 1996; ZIMDHAL, 2007). Por exemplo, a fitotoxicidade de plantas de *Abutilon theophrasti* causada por volatilização de clomazone foi de até 97% quando aplicado sobre a palha de milho (62% de cobertura do solo), diminuindo a injúria para 27% e 57% quando o herbicida foi aplicado de forma incorporada e no solo nu sem incorporação, respectivamente (THELEN; KELLS; PENNER, 1988). Isso está associado a maior área superficial específica da palha em relação ao solo, o que aumenta os sítios de troca de ar entre a superfície e a atmosfera, potencializando o processo de volatilização (BEDOS et al., 2017). O clomazone é relativamente solúvel em água (MERVOSH et al., 1995) e possui média afinidade por carbono orgânico (SENSEMAN, 2007); portanto, acredita-se que a sorção na palha não foi a causa primordial da baixa porcentagem de herbicida lixiviado. A exemplo disso, 10mm e

35mm foram capazes de lixiviar 50 e 90% do clomazone, respectivamente, aplicado sobre 10t ha⁻¹ de palha de cana-de-açúcar (ARALDI et al., 2015), indicando baixa sorção do clomazone na palha. Vale ressaltar aqui, que tais autores realizaram a simulação de chuva 24h após a aplicação do clomazone e os resultados mostram que quase todo o herbicida ainda se encontrava na palha; já no presente estudo, a chuva simulada dois dias após a aplicação removeu apenas 42,9% do herbicida, indicando elevadas perdas para o ambiente com o atraso de um dia na ocorrência da chuva.

Com o passar do tempo, ainda menos clomazone foi encontrado na água, sendo 19,9 e 11,4% nas chuvas de 7 e 14 DAA, respectivamente. Dessa maneira, em condições de elevada quantidade de palha na superfície do solo e atraso na ocorrência de chuvas, pode haver um decaimento no controle de plantas daninhas com clomazone. Essa situação pode ser agravada caso a temperatura e a velocidade do vento forem altas e a dose aplicada for baixa. No presente estudo, foi utilizada a dose de 720g ha⁻¹ de clomazone, ou seja, a dose utilizada quando se utiliza o dietholate como protetor de sementes. Nesse sentido, quando as sementes de arroz não são tratadas com dietholate, a dose de clomazone é reduzida para cerca de 500g ha⁻¹, possibilitando falhas de controle caso não haja chuvas tão logo ocorra a aplicação.

As imidazolinonas foram lixiviadas quase totalmente com a chuva simulada 2 DAA, indicando não haver dissipação de tais herbicidas nesse período. Mesmo com chuva 15 DAA, ainda restava na palha do azevém 61,4 e 53,7% de imazapyr e imazapic, respectivamente, não havendo diferenças em relação à chuva aos 7 DAA. Tal resultado sugere que em situações de falta de precipitação após a aplicação, dificilmente o controle de plantas daninhas será prejudicado. A persistência de imazapyr e imazapic na palha e a facilidade de lixiviação pela chuva são devidas a alguns fatores. O primeiro é que as perdas por volatilização desses herbicidas são negligenciáveis, uma vez que as moléculas não possuem longas cadeias carbonadas, tornando baixa sua pressão de vapor. Além disso, imidazolinonas são altamente solúveis em água e possuem baixa afinidade por carbono orgânico, tornando-as pouco propensas à sorção nos resíduos das culturas

O pendimethalin foi o herbicida que menos lixiviou com a chuva dentre os demais, restando apenas 20,9, 10,5 e 6,7% do total interceptado pela palha quando a

chuva ocorreu aos 2, 7 e 15 DAA, respectivamente. Algumas razões podem explicar o comportamento desse herbicida. A lipofilicidade (K_{ow}), a solubilidade em água (S_w) e o coeficiente de sorção ao carbono orgânico (K_{oc}) das moléculas têm estreita relação com a sorção nos resíduos dos cultivos (DANG et al., 2016; MARBLE, 2015; POTTER et al., 2011). Todos esses parâmetros em relação à pendimethalin convergem para uma forte interação com resíduos orgânicos (altos K_{ow} e K_{oc} e baixa S_w). A exemplo disso, não foi encontrada lixiviação de pendimethalin na palha de cana-de-açúcar mesmo após 100mm de chuva (ARALDI et al., 2015). De maneira análoga, não mais que 1% do pendimethalin aplicado foi recuperado da palha de *Vicia villosa* e *Triticum aestivum* mesmo após três chuvas simuladas de 20mm (GASTON; BOQUET; BOSCH, 2003). Além disso, vias de dissipação como volatilização e fotólise são possíveis para o pendimethalin (DUREJA; WALIA, 1989). A fotodecomposição de pendimethalin foi de 9,9% após 7d de exposição à luz solar (PAROCHETTI; DEC, 1978); ainda, a meia-vida desse herbicida na superfície do solo pode ser tão curta quanto 5d (SAVAGE; JORDAN, 1980), significando que metade do produto pode ser fotolizado em cinco dias. No estudo de Savage e Jordan (1980), o sombreamento do solo diminuiu as perdas de pendimethalin de 70 para 5% em relação à exposição solar por 7d. Portanto, no presente estudo o restante do pendimethalin não lixiviado em cada período de chuva pode ter sido dividido entre os processos de sorção na palha, volatilização e/ou fotólise (GASTON; BOQUET; BOSCH, 2003).

Grande parte dos herbicidas podem ser recuperados na água lixiviada de resíduos de cultivos mesmo após longos períodos sem chuva após a aplicação (GHADIRI; SHEA; WICKS, 1984), como ocorreu com quinclorac neste trabalho. Entre os herbicidas, o quinclorac foi o mais persistente na palha, permanecendo 94% da dose aplicada 15 DAA. Nesse sentido, pode-se fazer menção a elevada meia-vida desse herbicida, que é de 450 dias em solos aerados (PESTICIDE PROPERTIES DATABASE – IUPAC, 2018). Na superfície da palha essa situação pode ser agravada, visto a menor abundância de microrganismos decompositores em relação ao solo. Ressalta-se não só a baixa dissipação desse herbicida durante os períodos de chuva, mas também a baixa sorção na palha do azevém. Isso provavelmente está associado à ser uma molécula ionizável e portanto polarizada ($pK_a = 4,34$), de relativa S_w (62mg L^{-1}) e baixo K_{ow} (0,07), o que lhe confere baixa probabilidade de sorção na palha.

Os resultados dos Estudos I e II foram contraditórios, uma vez que mesmo no Estudo II clomazone e pendimethalin tenham sido lixiviados 11,4 e 6,7%, respectivamente, com chuva 15 dias após a aplicação, os resultados do Estudo I mostraram bons níveis de controle do capim-arroz com tais herbicidas. De certa maneira, a manutenção da umidade do solo no Estudo I pode ter favorecido a solubilização desses herbicidas no solo, mesmo que pouca quantidade tenha chegado no solo e pouco herbicida restou na palha após 15 dias, como demonstrado no Estudo II.

4.4 Conclusões

A interceptação dos herbicidas pela palha do azevém nas quantidades de 1,5, 3 e 4,5t ha⁻¹ é de aproximadamente 60, 81 e 90%, respectivamente.

O controle de capim-arroz é superior à 90% independentemente do herbicida, quantidade de palha e período de chuva.

Clomazone e pendimethalin apresentam as menores porcentagens de lixiviação em todos os períodos de chuva simulada.

Imazapyr e imazapic lixiviam quase totalmente em chuvas até dois dias após a aplicação, decaindo para cerca de metade da concentração inicial com chuva ocorrendo 15 dias após a aplicação.

Quinclorac é lixiviado mais que 90% em relação à concentração inicial com chuva 15 dias após a aplicação.

5 Conclusões gerais

A quantidade de calda de aplicação e de herbicidas pré-emergentes que chega ao solo decresce à medida que aumenta a quantidade de palha de azevém sobre o solo a partir da quantidade de 1,5t ha⁻¹.

A ação dos principais herbicidas pré-emergentes utilizados na cultura do arroz irrigado muda conforme a quantidade de palha de azevém sobre o solo e as condições ambientais, dependendo, portanto, do ano/safra. Em anos onde não há ocorrência de chuvas logo após a aplicação, o controle de *Echinochloa* sp. com os herbicidas oxyfluorfen, pendimethalin e quinclorac é maior quando são aplicados sobre a palha de azevém em relação ao solo nu, possivelmente pela maior umidade do solo na primeira situação. Já em anos onde ocorre precipitação logo após a aplicação, como no segundo ano deste estudo, a ação dos herbicidas tende a ser semelhante entre o solo nu e com palha.

A chuva simulada de 20mm lixiviou quase totalmente o herbicida quinclorac na palha em quaisquer dos períodos testados. Imazapyr e imazapic permaneceram na palha 61,4 e 53,7% da dose aplicada, respectivamente, 15 dias após a aplicação. A lixiviação de clomazone e pendimethalin na chuva de dois dias após a aplicação foi apenas 42,9 e 20,9% do total aplicado, respectivamente, decrescendo esse percentual aos 7 e 15 dias após a aplicação. Em casa de vegetação, o controle de capim-arroz foi superior a 90% em todos os tratamentos.

Em suma, o herbicida quinclorac é o que menos se perde para o ambiente quando permanece na superfície da palha por falta de chuvas, sendo facilmente lixiviado por ocasião de precipitação pluvial. Mesmo os herbicidas clomazone e pendimethalin terem sido lixiviados em baixas porcentagens, foi visto que no campo proporcionaram bons níveis de controle de capim-arroz.

Os resultados de campo e casa de vegetação são contraditórios, uma vez que no campo a eficácia dos herbicidas aumentou em condições de atraso de chuva, porém, em casa de vegetação esse atraso propicia elevadas perdas dos herbicidas,

seja por volatilização, fotólise ou sorção na palha. Possivelmente a menor quantidade de herbicida que transpassa a palha é compensada pela maior umidade no solo no momento da aplicação, que disponibiliza mais herbicida na solução do solo.

Pesquisas nesse sentido devem ser feitas a fim de elucidar se, mesmo menores quantidades de herbicida que chegam na superfície do solo em função da palha, apresentam maiores concentrações na solução do solo, o que em síntese é o objetivo final para o controle adequado de plantas daninhas com herbicidas pré-emergentes.

Referências

ABDULLAH, A. S. Minimum tillage and residue management increase soil water content, soil organic matter and canola seed yield and seed oil content in the semiarid areas of Northern Iraq. **Soil and Tillage Research**, v. 144, n. 15, p. 150-155, 2014.

ACCINELLI, C. et al. Effects of incorporated corn residues on glyphosate mineralization and sorption in soil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 10, p. 4110-4117, 2005.

ALLETTO, L. et al. Sorption and mineralisation of S-metolachlor in soils from fields cultivated with different conservation tillage systems. **Soil and Tillage Research**, v. 128, p. 97-103, 2013.

ALLETTO, L. et al. Tillage management effects on pesticide fate in soils. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 30, n. 2, p. 367–400, 2010.

ALLETTO, L. et al. Variability of retention process of isoxaflutole and its diketonitrile metabolite in soil under conventional and conservation tillage. **Pest Management Science**, v. 68, n. 4, p. 610-617, 2012.

ALMEIDA, W. S. et al. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. **Soil and Tillage Research**, v. 175, n. 13, p. 130-138, 2018.

ALVAREZ, R.; SANTANATOGLIA, O. J.; GARCÍA, R. Effect of temperature on soil microbial biomass and its metabolic quotient in situ under different tillage systems. **Biology and Fertility of Soils**, v. 19, n. 2-3, p. 227-230, 1995.

ANDRES, A. et al. Selectivity and weed control efficacy of pre- and post-emergence applications of clomazone in Southern Brazil. **Crop Protection**, v. 53, p. 103-108, 2013.

ARALDI, R. et al. Performance of herbicides in sugarcane straw. **Ciência Rural**, v. 45, n. 12, p. 2106-2112, 2015.

ASLAM, S. et al. Adsorption and desorption behavior of selected pesticides as influenced by decomposition of maize mulch. **Chemosphere**, v. 91, n. 11, p. 1447-1455, 2013.

ASLAM, S. et al. Effect of rainfall regimes and mulch decomposition on the dissipation and leaching of S-metolachlor and glyphosate: a soil column experiment. **Pest Management Science**, v. 71, n. 2, p. 278-291, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14244: **equipamentos de irrigação mecanizada: pivô central e lateral móvel providos de emissores fixos ou rotativos: determinação da uniformidade de distribuição de água**. Rio de Janeiro, RJ, 1998. 11 p.

AZIZ, I.; MAHMOOD, T.; ISLAM, K. R. Effect of long term no-till and conventional tillage practices on soil quality. **Soil and Tillage Research**, v. 131, n. 4, p. 28-35, 2013.

BAJWA, A. A. et al. Eco-biology and management of *Echinochloa crus-galli*. **Crop Protection**, v. 75, p. 151-162, 2015.

BALOTA, E. L. et al. Benefits of winter cover crops and no-tillage for microbial parameters in a Brazilian Oxisol: A long-term study. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 197, n. 4, p. 31-40, 2014.

BALOTA, E. L. et al. Microbial biomass in soils under different tillage and crop rotation systems. **Biology and Fertility of Soils**, v. 38, n. 1, p. 15-20, 2003.

BALTAZAR, A. M.; SMITH J. R. J. Propanil-resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) control in rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, v.8, n.3, p. 576-581, 1994.

BANKS, P. A.; ROBINSON, E. L. Soil reception and activity of acetochlor, alachlor, and metolachlor as affected by wheat (*Triticum aestivum*) straw and irrigation. **Weed Science**, v. 34, n. 4, p. 607-611, 1986.

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

BEATRIZ, A. et al. Dinâmica de herbicidas aplicados em pré-emergência sobre palha de cana-de-açúcar em diferentes regimes hídricos. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n. 2, p. 179–187, 2013.

BEDMAR, F. et al. Sorption of acetochlor, s-metolachlor, and atrazine in surface and subsurface soil horizons of argentina. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 30, n. 9, p. 1990-1996, 2011.

BEDOS, C. et al. Mass transfer of pesticides into the atmosphere by volatilization from soils and plants: overview. **Agronomie**, v. 22, n. 1, p. 21-33, 2002.

BEDOS, C. et al. Observed volatilization fluxes of S-metolachlor and benoxacor applied on soil with and without crop residues. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 4, p. 3985-3996, 2017.

BENNETT, O. L.; MATHIAS, E. L.; LUNDBERG, P. E. Crop responses to no-till management practices on Hilly Terrain. **Agronomy Journal**, v. 65, n. 3, p. 488-491, 1972.

BENOIT, P. et al. Sorption and desorption of non-ionic herbicides onto particulate organic matter from surface soils under different land uses. **European Journal of Soil Science**, v. 59, n. 2, p. 178-189, 2008.

BENTO, C. P. M. et al. Persistence of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in loess soil under different combinations of temperature, soil moisture and light/darkness. **Science of the Total Environment**, v. 572, n. 31, p. 301-311, 2016.

BLEVINS, R. L. et al. Influence of conservation tillage on soil properties. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 38, n. 3, p. 301-305, 1983.

BLEVINS, R. L. Influence of no-tillage on soil moisture. **Agronomy Journal**, v. 63, n. 4, p. 593-596, 1971.

BORRGAARD, O. K.; GIMSING, A. L. Fate of glyphosate in soil and the possibility of leaching to ground and surface waters: a review. **Pest Management Science**, v. 64, p. 441-456, 2008.

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

BROWN, B. A. et al. Effect of tillage and cover crop on fluometuron adsorption and degradation under controlled conditions. **Weed Science**, v. 42, n. 4, p. 629-634, 1994.
BRUST, J.; CLAUPEIN, W.; GERHARDS, R. Growth andweed suppression ability of common and new cover crops in Germany. **Crop Protection**, v. 63, n. 1, p. 1-8, 2014.

BUNDT, A. D. C. et al. Carryover of imazethapyr + imazapic on ryegrass and not-tolerant rice as affected by thickness of soil profile. **Planta Daninha**, v. 33, n. 2, p. 357-364, 2015.

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 1, p. 161-169, 2000.

CAO, Y. et al. Effects of wheat straw addition on dynamics and fate of nitrogen applied to paddy soils. **Soil and Tillage Research**, v. 178, p. 92-98, 2018.

CARBONARI, C. A. et al. Dynamics of sulfentrazone applied to sugarcane crop residues. **Weed Science**, v. 64, n. 1, p. 201-206, 2016.

CARDOSO, D. P. et al. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 6, p. 632-638, 2012.

CASTILLO, M. Del P.; TORSTENSSON, L. Effect of biobed composition, moisture, and temperature on the degradation of pesticides. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 14, p. 5725-5733, 2007.

CERQUEIRA, D. T. R. et al. Agricultural spray deposit quantification methods. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 28, n. 6, p. 825-831, 2012.

CHAUHAN, B. S. Weed ecology and weed management strategies for dry-seeded rice in Asia. **Weed Technology**, v. 26, n. 1, p. 1-13, 2012.

CHAUHAN, B. S.; ABUGHO, S. B. Interaction of rice residue and pre herbicides on emergence and biomass of four weed species. **Weed Technology**, v. 26, n. 4, p. 627-632, nov. 2012.

CHAUHAN, B. S.; GILL, G. S.; PRESTON, C. Tillage system effects on weed ecology, herbicide activity and persistence: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 46, n. 12, p. 1557-1570, 2006.

CHAUHAN, B. S.; JOHNSON, D. E. Ecological studies on *Echinochloa crus-galli* and the implications for weed management in direct-seeded rice. **Crop Protection**, v. 30, n. 11, p. 1385-1391, 2011.

CHEN, S. Y. Effects of straw mulching on soil temperature, evaporation and yield of winter wheat: field experiments on the North China Plain. **Annals of Applied Biology**, v. 150, n. 3, p. 261-268, 2007.

CIOTTA, M. N. et al. Acidificação de um latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 1055-1064, 2002.

CLAY, S. A.; KOSKINEN, W. C.; KARLSON, P. Alachlor movement through intact soil columns taken from two tillage systems. **Weed Technology**, v. 5, n. 3, p. 485-489, 1991.

CORREIA, N. M.; CAMILO, E. H.; SANTOS, E. A. Sulfentrazone efficiency on *Ipomoea hederifolia* and *Ipomoea quamoclit* as influenced by rain and sugarcane straw. **Planta Daninha**, v. 31, n. 1, p. 165-174, 2013.

COSTA, A. G. F. Dinâmica de transposição de herbicida através de palha de aveia-preta utilizando diferentes pontas de pulverização. **Planta Daninhas**, v. 22, n. 4, p. 561-566, 2004.

COUNCE, P. A. et al. A uniform, objectives, and adaptatives system for expressing rice development. **Crop Science**, v. 40, n. 2, p. 436-443, 2000.

CRUTCHFIELD, D. A.; WICKS, G. A.; BURNSIDE, O. C. Effect of winter wheat (*Triticum aestivum*) straw mulch level on weed control. **Weed Science**, v. 34, n. 1, p. 110-114, 1986.

CURRAN, W. S. et al. Photolysis of imidazolinone herbicides in aqueous-solution and on soil. **Weed Science**, v. 40, n. 1, p. 143-148.

DANG, A. et al. Washoff of residual photosystem II herbicides from sugarcane trash under rainfall simulator. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, n. 20, p. 3967-3974, 2016.

DERPSCH, R. et al. About the necessity of adequately defining no-tillage – a discussion paper. In: PROCEEDINGS OF 5TH WORLD CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE, **Anais...** Brisbane, Australia, 2011. p. 26-29.

DERPSCH, R. et al. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 3, n. 1, p. 1-25, 2010.

DIMOU, A. D.; SAKKAS, V. A.; ALBANIS, T. A. Photodegradation of trifluralin in natural waters and soils: Degradation kinetics and influence of organic matter. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, v. 84, n. 1-3, p. 173-182, 2004.

DING, G. et al. Long-term tillage effects on soil metolachlor sorption and desorption behavior. **Chemosphere**, v. 48, n. 9, p. 897-904, 2002.

DONG, X; SUN, H. Effect of temperature and moisture on degradation of herbicide atrazine in agricultural soil. **International Journal of Environmental & Agriculture Research**, v. 2, n. 7, 150-157, 2016.

DRURY, C. F. Red clover and tillage influence on soil temperature, water content, and corn emergence. **Agronomy Journal**, v. 91, n. 1, p. 101-108, 1998.

Embrapa - **Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPS) Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3^a ed. Brasília: Embrapa, 2006. 353p.

ERBACH, D. C.; LOVELY, W. G. Effect of plant residue on herbicide performance in no-tillage corn. **Weed Science**, v. 23, n. 6, 512-515, 1975.

ESSINGTON, M. E.; TYLER, D. D.; WILSON, G. V. Fluometuron behavior in long-term tillage plots. **Soil Science**, v. 160, n. 6, p. 405-414, 1995.

FAO - Food And Agriculture Organization Of The United Nations. Statistics Division. Production/Crops: Rice, paddy. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>. Acesso em: 17 dez. 2017.

FENNER, K. et al. Evaluating pesticide degradation in the environment: blind spots and emerging opportunities. **Science**, v. 341, n. 6147, p. 752-758, 2013.

FERHATOGLU, Y.; BARRETT, M. Studies of clomazone mode of action. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 85, n. 1, p. 7-14, 2006.

FERREIRA, R. B. et al. Manejo do azevém no estabelecimento inicial de plantas, na ciclagem de nutrientes e no rendimento de grãos do arroz irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 12, p. 2143–2149, 2015.

FERRI, M. V. W. et al. Activity of the herbicide acetochlor in soil under no-till and conventional tillage systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 12, p. 1697-1703, 2022.

FORNAROLLI, D. A. et al. Influência da cobertura morta no comportamento do herbicida atrazine. **Planta Daninha**, v. 16, n. 2, p. 97-107, 1998.

GANAPATHY, C. **Environmental fate of hexazinone**. California Department of Pesticide Regulation. Disponível em: <<http://www.cdpr.ca.gov/docs/emon/pubs/fatememo/hxzinone.pdf>>. Acesso em: 30 jan. 2018.

GAO, C.; GOVIND, R.; TABAK, H. H. Predicting soil sorption coefficients of organic chemicals using a neural network model. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 15, n. 7, p. 1089-1096, 1996.

GARCÍA-VALCÁRCEL, A. I.; TADEO, J. L. Influence of soil moisture on sorption and degradation of hexazinone and simazine in soil. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 47, n. 9, p. 3895-3900, 1999.

GASTON, L. A.; BOQUET, D. J.; BOSCH, M. A. Fluometuron wash-off from cover crop residues and fate in a loessial soil. **Soil Science**, v. 166, n. 10, p. 681-690, 2001.

GASTON, L. A.; BOQUET, D. J.; BOSCH, M. A. Pendimethalin wash-off from cover crop residues and degradation in a loessial soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 34, n. 17-18, p. 2515-2527, 2003.

GASTON, L. A. et al. Cotoran wash-off from cover crop residues and degradation in gigger soil.

GASTON, L. A.; LOCKE, M. A. Acifluorfen sorption, degradation, and mobility in a mississippi delta soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, n. 1, p. 112-121, 2000.

GASTON, L. A.; LOCKE, M. A.; ZABLOTOWICS, R. M. Sorption and degradation of bentazon in conventional- and no-till dundee soil. **Journal of Environmental Quality**, v. 25, n. 1, p. 120-126, 1996.

GHADIRI, H. et al. Atrazine dissipation in conventional-till and no-till Sorghum. **Journal of environmental Quality**, v. 13, n. 4, p. 549-552, 1984.

GHADIRI, H.; SHEA, P. J.; WICKS, G. A. Interception and retention of atrazine by wheat (*Triticum aestivum* L.) Stubble. **Weed Science**, v. 32, n. 1, p. 24-27, 1984.

GISH, T. J.; SADEGHI, A.; WIENHOLD, B. J. Volatilization of alachlor and atrazine as influenced by surface litter. **Chemosphere**, v. 31, n. 4, p. 2971-2982, 1995.

GRUBA, P.; MULDER, J. Tree species affect cation exchange capacity (CEC) and cation binding properties of organic matter in acid forest soils. **Science of the Total Environment**, v. 511, p. 655-662, 2015.

HARPER, S. Sorption–desorption and herbicide behavior in soil. **Weed Science**, v. 6, p. 207–225, 1994.

ISLAM, R.; REEDER, R. No-till and conservation agriculture in the United States: An example from the David Brandt farm, Carroll, Ohio. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 2, n. 1, p. 97-107, 2014.

JOHNSON, M. D.; WYSE, D. L.; LUESCHEN, W. E. The influence of herbicide formulation on weed control in four tillage systems. **Weed Science**, v. 3, n. 2, p. 239-249, 1989.

JONES, R. E.; BANKS, P. A.; RADCLIFFE, D. E. Alachlor and metribuzin movement and dissipation in a soil profile as influenced by soil surface condition. **Weed Science**, v. 38, n. 6, p. 589-597, 1990.

JOSEPH, D. D.; SANDERS, C. H.; MARSHALL, M. W. Evaluation of 2,4-D-choline based herbicide systems in 2,4-D tolerant soybean (*Glycine max* L.). **Agricultural Sciences**, v. 8, p. 385-396, 2017.

KABIRI, V.; RAIESI, F.; GHAZAVI, M. A. Tillage effects on soil microbial biomass, SOM mineralization and enzyme activity in a semi-arid Calcixerepts. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 232, p. 73-84, 2016.

KADER, M. A. et al. Mulching type-induced soil moisture and temperature regimes and water use efficiency of soybean under rain-fed condition in central Japan. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 5, n. 4, p. 302-308, 2017.

KAH, M.; BEULKE, S.; BROWN, C. D. Factors influencing degradation of pesticides in soil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 11, p. 4487-4492, 2007.
KALMÁR, T. et al. Soil protecting effect of the surface cover in extreme summer periods. **Plant, Soil and Environment**, v. 59, n. 9, p. 404-409, 2013.

KASSAM, A. et al. Overview of the worldwide spread of conservation agriculture. **Field Actions Science Reports**, v. 8, n. 8, p. 1-11, 2015.

KASSAM, A.; FRIEDRICH, T.; DERPSCH, R. **Global spread of conservation agriculture: Interim Update 2015/16**. In: PROCEEDINGS OF THE 7TH WORLD CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE, **Anais...** Rosario, Argentina, 2017.

KERR, G. W.; STHALMAN, P. W.; DILLE, J. A. Soil pH and cation exchange capacity affects sunflower tolerance to sulfentrazone. **Weed Science**, v. 18, n. 2, p. 243-247, 2004.

KIBET, L. C.; BLANCO-CANQUI, H.; JASA, P. Long-term tillage impacts on soil organic matter components and related properties on a Typic Argiudoll. **Soil and Tillage Research**, v. 155, n. 9, p. 78-84, 2016.

KNEZEVIC, S. Z. et al. Delay in the critical time for weed removal in imidazolinone-resistant sunflower (*Helianthus annuus*) caused by application of pre-emergence herbicides. **International Journal of Pest Management**, v. 59, n. 3, p. 229-235, 2013.

KÖGEL-KNABNER, I. The macromolecular organic composition of plants and microbial residues as inputs to soil organic matter. **Soil Biology & Biochemistry**, 34, n. 2, p. 139-162, 2002.

KOGER, C. H.; DODDS, D. M.; REYNOLDS, D. B. Effect of adjuvants and urea ammonium nitrate on bispyribac efficacy, absorption, and translocation in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*). I. efficacy, rainfastness, and soil moisture. **Weed Science**, v. 55, n. 5, p. 399-405, 2007.

KOSKINEN, W. C.; MCWHORTER, C. G. Weed control in conservation tillage. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 41, n. 6, p. 365-370, 1986.

LAL, R. No-tillage effects on soil properties and maize (*Zea mays* L.) production in Western Nigeria. **Plant and Soil**, v. 40, n. 2, p. 321-331, 1974.

LARSBO, M. et al. Herbicide sorption, degradation, and leaching in three Swedish soils under long-term conventional and reduced tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 105, n. 2, p. 200-208, 2009.

LAVORENTI, A. et al. Comportamento do diclosulam em amostras de um latossolo vermelho distroférico sob plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 1, p. 183-190, 2003.

LEE, D-J. et al. Soil characteristics and water potential effects on plant-available clomazone in rice. **Weed Science**, v. 52, n. 2, p. 310-318, 2004.

LEWIS, S. E. et al. Pesticide behavior, fate, and effects in the Tropics: an overview of the current status of knowledge. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, n. 20, p. 3917-3924, 2016.

LI, Q. et al. Relative contribution of root physical enlacing and biochemical exudates to soil erosion resistance in the Loess soil. **Catena**, v. 153, n. 8, p. 61-65, 2017.

LIMOUSIN, G.; TESSIER, D. Effects of no-tillage on chemical gradients and topsoil acidification. **Soil and Tillage Research**, v. 92, n. 1-2, p. 167-174, 2007.

LOCKE, M. A. et al. Conservation cotton production in the southern United States: herbicide dissipation in soil and cover crops. **Weed Science**, v. 53, n. 5, p. 717-727, 2005.

LOCKE, M. A. Sorption-desorption kinetics of alachlor in surface soil from two soybean tillage systems. **Journal of Environmental Quality**, v. 21, n. 4, p. 558-566, 1992.

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

LOCKE, M. A.; GASTON, L. A.; ZABLOTOWICS, R. M. Acifluorfen sorption and sorption kinetics in soil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, n. 1, p. 286-293, 1997.

LOCKE, M. A.; REDDY, K. N.; ZABLOTOWICS, R. M. Weed management in conservation crop production systems. **Weed Biology and Management**, v. 2, n. 3, p. 123-132, 2002.

LONG, Y. H.; LI, R. Y.; WU, X. M. Degradation of S -metolachlor in soil as affected by environmental factors. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 14, n. 1, p. 189-198, 2014.

MAHDAVI, S. M. et al. Coupled heat and moisture transfer and evaporation in mulched soils. **Catena**, v. 151, n. 4, p. 34-48, 2017.

MAHÍA, J. et al. Atrazine degradation and enzyme activities in na agricultural soil under two tillage systems. **Science, of the Total Environment**, v. 378, n. 1-2, p. 187-194, 2007.

MALIK, M. S. et al. Confirmation and control of propanil-resistant and quinclorac-resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in rice. **Weed Technology**, v. 24, n. 3, p. 226-233, 2010.

MAMY, L.; BARRIUSO, E.; GABRIELLE, B. Glyphosate fate in soils when arriving in plant residues. **Chemosphere**, v. 154, p. 425-433, 2016.

MANGALASSERY, S. et al. Impacts of zero tillage on soil enzyme activities, microbial characteristics and organic matter functional chemistry in temperate soils. **European Journal of Soil Biology**, v. 68, n. 2, p. 9-17, 2015.

MARBLE, S. C. Herbicide and mulch interactions: a review of the literature and implications for the landscape maintenance industry. **Weed Science**, v. 29, n. 3, p. 341-349, 2015.

MCDANIEL, M. D.; TIEMANN, L. K.; GRANDY, A.S. Does agricultural crop diversity enhance soil microbial biomass and organic matter dynamics? A meta-analysis. **Ecological Society of America**, v. 24, n. 3, p. 560-70, 2014.

MENEZES, V. G. et al. Semeadura direta de genótipos de arroz irrigado em sucessão a espécies de cobertura de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 9, p. 1107-1115, 2001.

MERVOSH, T. L. et al. Effects of starch encapsulation on clomazone and atrazine movement in soil and clomazone volatilization. **Weed Science**, v. 43, n. 3, p. 445-453, 1995.

MICKELSON, S. K. et al. Tillage and herbicide incorporation effects on residue cover, runoff, erosion, and herbicide loss. **Soil and Tillage Research**, v. 60, n. 1-2, p. 55-66, 2001.

MILLS, J. A.; WITT, W. W.; BARRETT, M. Effects of tillage on the efficacy and persistence of clomazone in soybean (*Glycine max*). **Weed Science**, v. 37, n. 2, p. 217-222, 1989.

MONTENEGRO, A. A. A. et al. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **Catena**, v. 109, n. 14, p. 139-149, 2013.

MUNIRA, S.; FARENHORST, A.; AKINREMI, W. Phosphate and glyphosate sorption in soils following long-term phosphate applications. **Geoderma**, v. 313, p. 146-153, 2018.

NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C.; COBUCCI, T. The no-tillage system and cover crops-Alternatives to increase upland rice yields. **European Journal of Agronomy**, v. 45, p. 124-131, 2013.

NEWBIGGING, A. M.; PALIWODA, R. E.; CHRIS LE, X. Rice: reducing arsenic content by controlling water irrigation. **Journal of Environmental Sciences**, v. 30, n. 14, p. 129–131, 2015.

NORSWORTHY, J. K., R. SCOTT, K. SMITH, J. STILL, L. E. ESTORNINOS, JR., AND S. BANGARWA. Confirmation and management of clomazone-resistant barnyardgrass in rice. **Proceedings, Southern Weed Science Society**, v. 62, 2009, p. 210. Disponível em: <<http://www.swss.ws/wp-content/uploads/docs/2009%20Proceedings-SWSS.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

OERKE, E. C. Centenary review. Crop losses to pests. **Journal of Agricultural Science**, v. 144, n. 1, p. 31-43, 2006.

ORTIZ, A. M. G. et al. Sorption and desorption of glyphosate in Mollisols and Ultisols soils of Argentina. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 36, n. 10, p. 2587-2592, 2017.

PAROCHETTI, J. V.; DEC, G. W. Photodecomposition of eleven dinitroaniline herbicides. **Weed Science**, v. 26, n. 2, p. 153-156, 1978.

PESTICIDE PROPERTIES DATABASE – IUPAC. **General information for quinclorac**. 2018. Disponível em: <<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/Reports/577.htm#none>>. Acesso em: 06 maio. 2018.

PETERSEN, B. B.; SHEA, P. J.; WICKS, G. A. Acetanilide activity and dissipation as influenced by formulation and wheat stubble. **Weed Science**, v. 36, n. 2, p. 243-249, 1988.

PORFIRI, C. et al. Adsorption and transport of imazapyr through intact soil columns taken from two soils under two tillage systems. **Geoderma**, v. 251-252, p. 1-9, 2015.

POTTER, T. L. et al. Tillage, cover-crop residue management, and irrigation incorporation impact on fomesafen runoff. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 14, p. 7910-7915, 2011.

PRASAD, J. V. N. S. et al. Effect of ten years of reduced tillage and recycling of organic matter on crop yields, soil organic carbon and its fractions in Alfisols of semi arid tropics of southern India. **Soil and Tillage Research**, v. 156, n. 14, p. 131-139, 2016.

PRIBYL, D. W. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. **Geoderma**, v. 156, n. 3-4, p. 75-83, 2010.

PRICE, A. J.; KELTON, J. A. **Integrating herbicides in a high-residue cover crop setting**. In: *Herbicides – Current Research and Case in Use*. Intech. Disponível em: <<https://www.intechopen.com/books/herbicides-current-research-and-case-studies-in-use>>. Acesso em: 20 já. 2018.

RADOSEVICH, S. R.; HOLT, J. S.; GHERSA, C. M. **Ecology of Weeds and Invasive Plants. Relationship to Agriculture and Natural Resource Management**. 3rd ed. Hoboken: Wiley, 2007. 589 p.

RAMAKRISHNA, A. et al. Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam. **Fields Crops Research**, v. 95, n. 2-3, p. 115–125, 2006.

RAMPOLDI, E. A.; HANG, S.; BARRIUSO, E. The fate of glyphosate in crop residues. **Soil Science Society of America Journal**, v. 75, n. 2, p. 553-559, 2011.

REDDY, K. N. Effects of cereal and legume cover crop residues on weeds, yield, and net return in soybean (*Glycine max*). **Weed Technology**, v. 15, n. 4, p. 660-668, 2001.

REDDY, K. N. et al. Chlorimuron ethyl sorption and desorption kinetics in soils and herbicide-desiccated cover crop residues. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 43, n. 10, p. 2752-2757, 1995.

REDDY, K. N., ZABLOTOWICZ, R. M., LOCKE, M. A. Chlorimuron adsorption, desorption, and degradation in soils from conventional tillage and no-tillage systems. **Journal of Environmental Quality**, v. 24, n. 4, p. 760-767, 1995.

REDDY, K. N.; LOCKE, M. A. Sulfentrazone sorption, desorption, and mineralization in soils from two tillage systems. **Weed Science**, v. 46, n. 4, p. 494-500, 1998.

REDDY, K. N.; LOCKE, M. A.; GASTON, L. A. Tillage and cover crop effects on cyanazine adsorption and desorption kinetics. **Soil Science**, v. 162, n. 7, p. 501-509, 1997.

REDDY, K. N.; LOCKE, M. A.; ZABLOTOWICS, R. M. Soil type and tillage effects on sorption of cyanazine and degradation products. **Weed Science**, 45, n. 5, p. 727-732, 1997.

REMUCAL, C. K. The role of indirect photochemical degradation in the environmental fate of pesticides: a review. **Environmental Science: Processes & Impacts**, v. 16, n. 4, p. 628-653, 2014.

REN, W.; TENG, Y.; ZHOU, Q. Sorption of chlorimuron-ethyl on montmorillonite clays: effects of exchangeable cations, pH, and ionic strength. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, n. 19, p. 11587-11597, 2014.

RENHEIMER, D. S. et al. Residual effect of surface-applied lime on soil acidity properties in a long-term experiment under no-till in a Southern Brazilian sandy Ultisol. **Geoderma**, v. 313, p. 7-16, 2018.

RIAR, D. S. et al. Resistance of *Echinochloa crus-galli* populations to acetolactate synthase-inhibiting herbicides. **International Journal of Agronomy**, v. 2012, n. 1, p. 1-8, 2012.

RODRIGUES, B. N.; LIMA, J.; YADA, I. F. U. Retenção pela palhada, de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura da soja, em plantio direto. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 1, n. 1, p. 67-72, 2000.

ROSSI, C. V. S. et al. Dinâmica do herbicida metribuzin aplicado sobre palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). **Planta Daninha**, v. 31, n. 1, p. 223-230, 2013.

ROVIRA, P.; VALLEJO, V. R. Labile and recalcitrant pools of carbon and nitrogen in organic matter decomposing at different depths in soil: an acid hydrolysis approach. **Geoderma**, v. 107, n. 1-2, p. 109-141, 2002.

SADEGHI, A. M.; ISENSEE, A. R. Alachlor and cyanazine persistence in soil under different tillage and rainfall regimes. **Soil Science**, v. 162, n. 6, p. 430-438, 1997.

SAVAGE, K. E.; JORDAN, T. N. Persistence of three dinitroaniline herbicides on the soil surface. **Weed Science**, v. 28, n. 1, p. 105-110, 1980.

SCHMITZ, G. L.; WITT, W. W.; MUELLER, T. C. The effect of wheat (*Triticum aestivum*) straw levels on chlorimuron, imazaquin, and imazethapyr dissipation and interception. **Weed Technology**, v. 15, n. 1, p. 129-136, 2001.

SCHWARZENBACH, Rene P.; GSCHWEND, Philip M.; IMBODEN, Dieter M. **Environmental organic chemistry**. 2nd. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2003. 1327 p.

SELIM, H. M.; NAQUIN, B. J. Retention of metribuzin by sugarcane residue: adsorption-desorption and miscible displacement experiments. **Soil Science**, v. 176, n. 10, p. 520–526, 2011.

SELIM, H. M.; NAQUIN, B. J.; LIAO, L. X. Adsorption and desorption of atrazine retention by sugarcane residue and soils. **Soil Science**, v. 177, n. 5, p. 332–337, 2012.

SELIM, H. M.; ZHU, H. Atrazine sorption-desorption hysteresis by sugarcane mulch residue. **Journal of Environmental Quality**, v. 34, n. 1, p. 325-335, 2005.

SENSEMAN, S. A. **Herbicide handbook**, 9.ed. Lawrence, Weed Science Society of America, 2007. 458 p.

SHANG, C.; ARSHAD, M. A. Sorption of clopyralid, dicamba and MCPA by two soils with conventional and no-till management. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 78, n. 1, p. 181-186, 1998.

SHEA, P. J. Role of humified organic matter in herbicide adsorption. **Weed Technology**, v. 3, n. 1, p. 190-197, 1989.

ŠIMON, T. The influence of tillage systems on soil organic matter and soil hydrophobicity. **Soil and Tillage Research**, v. 105, n. 1, p. 44-48, 2009.

SIMPSON, M. J.; SIMPSON, A. J. **NMR of soil organic matter**. In: Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry, 3rd, p. 170-174, 2017.

SLACK, C. H.; BLEVINS, R. L.; RIECK, C. E. Effect of soil tillage on persistence of simazine. **Weed Science**, v. 26, n. 2, p. 145-148, 1978.

SOSBAI – SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil/Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado – Pelotas: **SOSBAI**, 2016. 200 p.

SOSNOSKIE, L. M. et al. Evaluating the volatility of three formulations of 2,4-D when applied in the field. **Weed Technology**, v. 29, p. 177-184, 2015.

SPOHR, R. B. et al. Desenvolvimento e validação de um simulador de chuvas portátil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 411-417, 2015.

SUBA, J. D.; ESSINGTON, M. E. Adsorption of fluometuron and norflurazon: effect of tillage and dissolved organic carbon. **Soil Science**, v. 164, n. 3, p. 145-155, 1999.

TAYLOR-LOVELL, S.; SIMS, G. K.; WAX, L. M. Effects of moisture, temperature, and biological activity on the degradation of isoxaflutole in soil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 20, p. 5626-5633, 2002.

TEASDALE, J. Contribution of cover crops to weed management in sustainable agricultural systems. **Journal of Production Agriculture**, v. 9, n. 4, p. 475-479, 1996.

TERAVEST, D. et al. Crop production and soil water management in conservation agriculture, no-till, and conventional tillage systems in Malawi. **Agriculture, Ecosystems, and Environment**, v. 212, n. 26, p. 285-296, 2015.

THELEN, K. D.; KELLS, J. J.; PENNER, D. Comparison of application methods and tillage practices on volatilization of clomazone. **Weed Technology**, v. 2, n. 3, p. 323-326, 1988.

VAEZI, A. R.; AHMADI, M.; CERDÀ, A. Contribution of raindrop impact to the change of soil physical properties and water erosion under semi-arid rainfalls. **Science of the Total Environment**, v. 583, n. 39, p. 382-392, 2017.

VAN BEMMELEN, J. M. Über die Bestimmung des Wassers, des Humus, des Schwefels, der in den colloïdalen Silikaten gebundenen Kieselsäure, des Mangans usw im Ackerboden. **Die Landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen**, v. 37, p. 279-290, 1890.

WALKER, A. Effects of soil moisture content on the availability of soil-applied herbicides to plants. **Pest Management Science**, v. 2, n. 2, p. 56-59, 1971.

WALKER, A.; MOON, Y-H.; WELSH, S. J. Influence of temperature, soil moisture and soil characteristics on the persistence of alachlor. **Pesticide Science**, v. 35, n. 2, p. 109-116, 1992.

WAUCHOPE, R. D. et al. Pesticide soil sorption parameters: theory, measurement, uses, limitations and reliability. **Pest Management Science**, v. 58, n. 5, p. 419-445, 2002.

WEBER, J. B.; TAYLOR, K. L.; WILKERSON, G. G. Soil cover and tillage influenced metolachlor mobility and dissipation in field lysimeters. **Agronomy Journal**, v. 98, n. 1, p. 19-25, 2006.

WIENHOLD, B. J.; GISH, T. J. Effect of formulation and tillage practice on volatilization of atrazine and alachlor. **Journal of Environmental Quality**, v. 23, p. 292-298, 1994.

WIGGINS, Integrating cover crops and post herbicides for glyphosate-resistant palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) control in corn. **Weed Technology**, v. 29, n. 3, p. 412-418, 2015.

ZABLOTOWICS, R. M. et al. Interactions of tillage and soil depth on fluometuron degradation in a Dundee silt loam soil. **Soil and Tillage Research**, v. 57, n. 1-2, p. 61-68, 2000.

ZABLOTOWICS, R. M.; LOCKE, M. A.; SMEDA, R. J. Degradation of 2,4-D and fluometuron in cover crop residues. **Chemosphere**, v. 37, n. 1, p. 87-101, 1998.

ZHANG, B. et al. Soil microbial community dynamics over a maize (*Zea mays* L.) growing season under conventional- and no-tillage practices in a rainfed agroecosystem. **Soil and Tillage Research**, v. 124, n. 19, p. 153-160, 2012.

ZHANG, S. et al. Effects of mulching and catch cropping on soil temperature, soil moisture and wheat yield on the Loess Plateau of China. **Soil and Tillage Research**, v. 102, n. 1, p. 78-86, 2009.

ZHU, H; SELIM, H. M. **Atrazine adsorption-desorption by sugarcane mulch residue**. Louisiana Department of Environmental Quality Non-Point Source Program. Disponível em: < http://www.lsuagcenter.com/mcms/relatedfiles/%7B4cd34280-8948-4ac7-880f-505f44c9146e%7D/8-environmental_2001.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2018.

ZIMDHAL, R. L.; CLARK, S. K. Degradation of three acetanilide herbicides in soil. **Weed Science**, v. 30, n. 5, p. 545-548, 1982.

ZUBER, S. M. et al. Multivariate assessment of soil quality indicators for crop rotation and tillage in Illinois. **Soil and Tillage Research**, v. 174, n. 16, p. 147-155, 2017.

VITA

Marcos Belinazzo Tomazetti é filho de Ari Carlos Tomazetti e Terezinha de Jesus Belinazzo Tomazetti, natural de Dom Pedrito, Rio Grande do Sul (RS), nascido em 29 de fevereiro de 1992. No mês de março de 2010 ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, formando-se Engenheiro Agrônomo por esta universidade em agosto de 2015. No decorrer da graduação participou do Grupo de Pesquisas de Culturas de Coxilha da UFSM como bolsista durante um ano, como colaborador do Instituto Phytus (Itaara, RS) durante três anos, e como estagiário no Grupo de Pesquisas em Arroz Irrigado da UFSM durante oito meses. Em março de 2016 ingressou no curso de Mestrado pelo Programa de Pós-graduação em Fitossanidade da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.