

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ALTERNATIVAS DE CONTROLE QUÍMICO DO ARROZ-
VERMELHO E PERSISTÊNCIA DOS HERBICIDAS (IMAZETHAPYR
+ IMAZAPIC) E CLOMAZONE NA ÁGUA E NO SOLO**

Fernando Machado dos Santos

Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil

2006

ALTERNATIVAS DE CONTROLE QUÍMICO DO ARROZ-VERMELHO E
PERSISTÊNCIA DOS HERBICIDAS (IMAZETHAPYR + IMAZAPIC) E
CLOMAZONE NA ÁGUA E NO SOLO

por

Fernando Machado dos Santos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Enio Marchesan

Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil

2006

<p>S237a Santos, Fernando Machado dos, 1980-</p> <p>Alternativas de controle químico do arroz-vermelho e persistência dos herbicidas (imazethapyr + imazapic) e clomazone na água e no solo / por Fernando Machado dos Santos; orientador Enio Marchesan. Santa Maria, 2006. 72 f. : il.</p> <p>Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, RS, 2006.</p> <p>1. Agronomia 2. Clomazone 3. <i>Oryza sativa</i> 4. <i>Oryza</i> spp 5. Efeito residual 6. Imazethapyr+imazapic I. Marchesan, Enio, orient. II. Título</p> <p>CDU: 633.18.03</p>
--

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

© 2006

Todos os direitos autorais reservados a Fernando Machado dos Santos. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser com autorização por escrito do autor.

Endereço: Av. Roraima, Depto de Fitotecnia, prédio 44, sala 5335. Bairro Camobi, Santa Maria, RS, 97105-900

Fone: (0xx55) 9943.7376; Endereço Eletrônico: fernandoagro18@hotmail.com

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ALTERNATIVAS DE CONTROLE QUÍMICO DO ARROZ-
VERMELHO E PERSISTÊNCIA DOS HERBICIDAS (IMAZETHAPYR
+ IMAZAPIC) E CLOMAZONE NA ÁGUA E NO SOLO**

elaborada por
Fernando Machado dos Santos

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Sérgio Luiz de Oliveira Machado, Dr.
(Presidente/Co-orientador)

José Alberto Noldin, Dr. (EPAGRI)

Luis Antonio de Avila, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 15 de setembro de 2006.

Com carinho, dedico esta Dissertação:

Ao meu pai, Antônio Vieira dos Santos (in memoriam),
que despertou em mim o gosto pela agricultura;

À minha mãe, Fátima Nara Machado dos Santos, que
incentivou meus sonhos e deu condições para que eles se
realizassem;

Aos meus irmãos, Alexandre Machado dos Santos e
Antônio Vieira dos Santos Júnior, pela compreensão do
tempo não partilhado;

À minha noiva, Caroline Casali, e **ao pequeno**
Guilherme Casali, pelo amor e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Ao bom Deus, pela vida;

Ao CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo apoio financeiro;

À Universidade Federal de Santa Maria, por seis anos de formação educacional e pessoal;

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade;

Ao Professor Enio Marchesan, por cinco anos de orientação acadêmica e ensinamentos que levarei comigo como lições de vida;

Aos Professores Luis Antonio de Avila e Sérgio Luiz de Oliveira Machado, pela dedicação na revisão e correção dos textos e orientação na condução dos experimentos;

Aos colegas do curso de Pós-Graduação em Agronomia, Edinalvo Rabaioli Camargo e Silvio Carlos Cazarotto Villa, pela amizade, troca de idéias e companheirismo nesses cinco anos de empreitada;

Aos estagiários e ex-estagiários do Setor de Agricultura da Universidade Federal de Santa Maria, em especial a Paulo Fabricio Sachet Massoni, Gustavo Mack Teló, Diego Rost Arosemena e Mara Grohs;

Aos meus sempre amigos, Gelson Difante, Tommi Segabinazzi e Victor Marzari;

Ao funcionário do Setor de Agricultura, Alex Giuliani, pela amizade e parceria nas incontáveis horas de trabalho a campo;

À minha noiva Caroline Casali, pela revisão dos trabalhos e incansável apoio;

E a todos aqueles que não foram lembrados, mas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização dessa Dissertação, os meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Dissertação de Mestrado em Agronomia
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

ALTERNATIVAS DE CONTROLE QUÍMICO DO ARROZ-VERMELHO E PERSISTÊNCIA DOS HERBICIDAS (IMAZETHAPYR + IMAZAPIC) E CLOMAZONE NA ÁGUA E NO SOLO

Autor: Fernando Machado dos Santos
Orientador: Enio Marchesan
Santa Maria, 15 de setembro de 2006.

A infestação de plantas daninhas, principalmente da espécie arroz-vermelho (*Oryza* spp.), é um fator limitante para o aumento da produtividade na lavoura orizícola gaúcha. Diante dessas infestações, o controle químico tem sido a ferramenta mais empregada pelos agricultores. Contudo, sua utilização pode originar resíduos de agroquímicos na água e no solo, ocasionando danos na cultura em rotação e contaminação ambiental. Diante disso, desenvolveram-se dois anos de experimentos com os objetivos de: 1) avaliar a eficiência de duas alternativas (Sistema Clearfield e utilização de Gamit (clomazone) e protetor de sementes) no controle do arroz-vermelho; 2) identificar e quantificar a persistência dos herbicidas imazethapyr e clomazone na lâmina da água e no solo da lavoura de arroz-irrigado e 3) verificar o efeito dos herbicidas em culturas semeadas em sucessão. No primeiro ano de ensaio, na safra 2004/05, a cultivar IRGA 422 CL foi semeada em campo experimental do Departamento de Fitotecnia da UFSM, para a avaliação do controle de arroz-vermelho em sete tratamentos contendo diferentes doses e épocas de aplicação dos herbicidas Only (imazethapyr + imazapic) e clomazone. Colhido o arroz, a área foi dessecada e, nela, foram semeadas as culturas de azevém, no inverno de 2005, e de arroz não-tolerante à aplicação de (imazethapyr + imazapic) e clomazone, na safra 2005/06, visando à avaliação do efeito residual desses herbicidas aplicados na cultura de arroz tolerante sobre culturas suscetíveis. Os resultados das análises demonstram que a utilização do Sistema Clearfield é mais eficiente no controle do arroz-vermelho que a aplicação de clomazone com uso de protetor de sementes. A aplicação de 0,7 L ha⁻¹ de (imazethapyr + imazapic) em pré-emergência, seguida da mesma dose em pós-emergência, apresentou controle de 100% da planta daninha, sem causar prejuízos ao estande de plantas e à produtividade de grãos da cultivar IRGA 422 CL. Além disso, o experimento evidenciou que a aplicação seqüencial de (imazethapyr + imazapic), dentre os tratamentos avaliados, persiste mais tempo na lâmina d'água da lavoura de arroz. Observou-se ainda a existência de residual no solo de (imazethapyr + imazapic) um ano após a sua aplicação, sendo que esses resíduos ocasionaram redução na produtividade de grãos da cultivar não-tolerante IRGA 417. Quanto ao clomazone, as análises evidenciaram ausência de residual após um ano de sua aplicação nas doses de 3 e 6 L ha⁻¹. Para o azevém, não foram observados efeitos negativos do residual dos herbicidas no solo.

Palavras-chave: clomazone; efeito residual; (imazethapyr + imazapic); *Oryza sativa*; *Oryza* spp.

ABSTRACT

M.S. Dissertation in Agronomy
Agronomy Graduate Program
Universidade Federal de Santa Maria

**CHEMICAL RED RICE CONTROL AND PERSISTENCE OF (IMAZETHAPYR +
IMAZAPIC) AND CLOMAZONE IN SOIL AND WATER**

Author: Fernando Machado dos Santos
Adviser: Enio Marchesan
Santa Maria September 15, 2006.

Weed infestation, mainly with red rice (*Oryza* spp.), is the most important factor limiting yield increase in paddy rice in Rio Grande do Sul state. Chemical red rice control is the most used tool in this area. But, its use can originate herbicide residue in water and soil that can cause carry-over to rotational crops and environmental contamination. To assess these possible problems it was carry a two year experiment with the objective of: 1) to evaluate the efficiency of two alternatives (Clearfield system and the use of clomazone with seed protector) on red rice control; and 2) to evaluate imazethapyr and clomazone field persistence in water and soil and 3) evaluate the herbicides carry over to non-tolerant crop. In the first year (2004/05) 'IRGA 422 CL' rice cultivar was drill seeded in the experimental area located in Santa Maria, RS, Brazil, to evaluate red rice control by seven treatments including rates and timing of (imazethapyr + imazapic) and clomazone application. After rice harvest, burndown herbicide was applied, and it was planted rieggrass in winter 2005, and non-tolerant rice was seeded in 2005/06 growing season, aiming to evaluate the carry over effects of herbicides. The results showed that the Clearfield system is more efficient in red rice control than clomazone. The application of 0,7 L ha⁻¹ (imazethapyr + imazapic) PRE followed by the same rate at POS, promoted 100% red rice control, without reducing rice grain yield (cultivar IRGA 422 CL). The experiment showed also that, between the evaluated treatments, the split application of (imazethapyr + imazapic), was the most persistent in rice paddy water. It was observed carryover effects of (imazethapyr + imazapic) in the non-tolerant rice, causing yield reduction in IRGA 417 variety seeded one year after herbicide application. Clomazone did not have carryover effects one year after the application. Ryegrass did not showed injury to the herbicide residues in soil.

Key-words: clomazone; carryover; (imazethapyr + imazapic); *Oryza sativa*; *Oryza* spp.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1: Fitotoxicidade dos tratamentos para o controle de arroz-vermelho sobre a cultivar IRGA 422 CL. Santa Maria, RS. 2005. 23
- FIGURA 2: A: Presença dos herbicidas imazethapyr e clomazone no solo e período de detecção desses herbicidas na água de irrigação do arroz em função da época de aplicação. B: Período de detecção do herbicida imazethapyr na água de irrigação do arroz em função da época de aplicação. C: Período de detecção do herbicida clomazone na água de irrigação do arroz. Santa Maria, RS. 2005. 36

LISTA DE TABELAS

- TABELA 1: Controle do arroz-vermelho na colheita (CAV), estande de plantas (EP), colmos por planta em dias após a emergência (DAE), estatura de planta na colheita (EPC), número de panículas (NP), número de espiguetas por panícula (NEP), massa de mil grãos (MMG), esterilidade de espiguetas (EE), produtividade de grãos (PG) e grãos inteiros (GI), em resposta a doses e épocas de aplicação do herbicida Only (imazethapyr + imazapic), utilizado na cultivar IRGA 422 CL, e à aplicação de doses altas do herbicida Gamit (clomazone) em sementes tratadas com Pemit[®]. Santa Maria-RS, 2005..... 21
- TABELA 2: Temperaturas mínimas, máximas e médias, insolação e precipitação pluvial, por decêndio, ocorridas durante o período de detecção dos herbicidas Only (imazethapyr + imazapic) e Gamit (clomazone) na lâmina d'água do experimento. Santa Maria, RS. 2006..... 32
- TABELA 3: Concentração dos herbicidas imazethapyr e clomazone na água de irrigação do arroz, período de detecção (PD), constante da taxa de dissipação (k) e meia-vida dos herbicidas na água ($t_{1/2}$). Santa Maria, RS. 2006. 34
- TABELA 4: Temperaturas mínimas, máximas e médias, precipitação pluvial e insolação, por decêndio, ocorridas durante o período de avaliação do residual no solo dos herbicidas Only (imazethapyr + imazapic) e Gamit (clomazone) na cultura do azevém e do arroz. Santa Maria, RS. 2006..... 46
- TABELA 5: Fitotoxicidade no arroz em dias após a emergência (DAE), estande de plantas (EP), colmos por planta em DAE, infestação por arroz-vermelho (IAV), número de panículas (NP), número de espiguetas por panícula (NEP), massa de mil grãos (MMG), esterilidade de espiguetas (EE) e produtividade de grãos (PG), em resposta a residual no solo de doses e épocas de aplicação do herbicida Only (imazethapyr + imazapic), utilizado na cultivar IRGA 417, e residual no solo aplicação de doses altas do herbicida Gamit (clomazone) em sementes tratadas com Pemit[®]. Santa Maria-RS, 2006..... 48

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
INTRODUÇÃO	2
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2. CONTROLE QUÍMICO DE ARROZ-VERMELHO NA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO	16
2.1 INTRODUÇÃO	17
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	18
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
2.4 CONCLUSÕES	26
2.5 LITERATURA CITADA	26
3. PERSISTÊNCIA DOS HERBICIDAS IMAZETHAPYR E CLOMAZONE NA LÂMINA DE ÁGUA DA LAVOURA DO ARROZ IRRIGADO	29
3.1 INTRODUÇÃO	30
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	31
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
3.4 CONCLUSÃO	38
3.5 LITERATURA CITADA	38
4. EFEITO DO RESIDUAL NO SOLO DE (IMAZETHAPYR + IMAZAPIC) E CLOMAZONE EM CULTURAS NÃO-TOLERANTES	41
4.1 INTRODUÇÃO	42
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	44
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.4 CONCLUSÃO	51
4.5 LITERATURA CITADA	51
5. CONCLUSÕES GERAIS	54
6. BIBLIOGRAFIA GERAL	55

INTRODUÇÃO

Visando o aumento na produtividade da lavoura de arroz e conseqüente acréscimo de renda ao produtor, o controle de plantas daninhas tem sido conduzido principalmente com a utilização de herbicidas na cultura orizícola. Em contrapartida à sua aplicação, a quantidade e a qualidade da água potável no mundo é discutida em diferentes fóruns e a agricultura é apontada como grande contribuinte na contaminação dos mananciais hídricos. Diante disso, faz-se necessário conhecer o potencial residual no solo e na água dos herbicidas aplicados na lavoura de arroz, visando o desenvolvimento de estratégias de manejo para a rotação de culturas e o controle dos possíveis impactos ambientais causados por sua aplicação. Parte desses estudos, a presente dissertação propõe-se a dois objetivos centrais. O primeiro deles consiste em avaliar a eficiência de duas alternativas – Sistema Clearfield e utilização de Gamit (clomazone) e protetor de sementes - no controle do arroz-vermelho, principal planta daninha da lavoura orizícola gaúcha. O segundo objetivo visa quantificar e identificar a persistência dos herbicidas imazethapyr e clomazone na lâmina da água e no solo da lavoura de arroz irrigado, avaliando ainda o efeito de sua aplicação sobre culturas sucessoras não-tolerantes.

Para o cumprimento desses objetivos, foram desenvolvidos dois anos de experimentos, que deram origem a presente dissertação. No primeiro ano de ensaio, na safra 2004/05, a cultivar IRGA 422 CL foi semeada em campo experimental do Departamento de Fitotecnia da UFSM, para a avaliação de sete tratamentos contendo diferentes doses e épocas de aplicação dos herbicidas Only (imazethapyr + imazapic) e Gamit (clomazone). Colhido o arroz, a mesma área foi dessecada e, nela, foram semeadas as culturas de azevém, no inverno de 2005, e de arroz não-tolerante à aplicação de (imazethapyr + imazapic) e clomazone, na safra 2005/06. Esse segundo ano de trabalho visou à avaliação do efeito residual dos herbicidas aplicados na cultura de arroz tolerante na safra precedente sobre culturas suscetíveis.

A presente dissertação avaliou, portanto, o sistema de controle de arroz-vermelho com arroz tolerante a imidazolinonas (Sistema Clearfield) e a supressão de arroz-vermelho com a utilização de clomazone e protetor de sementes quanto à eficiência no controle do arroz-vermelho, quanto à persistência dos herbicidas na água e quanto ao seu efeito residual no solo para culturas não-tolerantes. A apresentação das pesquisas realizadas e dos resultados encontrados segue a partir de cinco capítulos. No primeiro deles, intitulado *Revisão Bibliográfica*, contextualiza-se a problemática deste trabalho e são descritos os conceitos que

embasaram as análises empreendidas. O segundo capítulo, denominado *Controle do arroz-vermelho na cultura do arroz irrigado*, traz a avaliação do sistema de supressão de arroz-vermelho com a utilização do Sistema Clearfield e de clomazone e protetor de sementes quanto à eficácia no controle da planta daninha e quanto ao desempenho agrônômico do arroz em função das duas alternativas. No terceiro capítulo, intitulado *Persistência dos herbicidas imazethapyr e clomazone na lâmina de água da lavoura do arroz irrigado*, são descritas as análises de persistência dos herbicidas na lâmina de água da lavoura de arroz e são identificados possíveis destinos desses herbicidas no meio ambiente. Já o quarto capítulo, denominado *Efeito do residual no solo de (imazethapyr + imazapic) e clomazone em culturas não-tolerantes*, apresenta a influência dos resíduos no solo de herbicidas aplicados na safra de 2004/05 sobre culturas subseqüentes ao arroz tolerante e suscetíveis a tais agroquímicos. Em vias de conclusão, o quinto e último capítulo desta dissertação traz uma síntese de todas as análises realizadas, buscando definir estratégias de manejo no controle de arroz-vermelho e na sucessão de culturas, ou seja, ações que proporcionem a diminuição dos custos de produção com impacto mínimo ao meio ambiente.

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A principal planta daninha à cultura do arroz irrigado é o arroz-vermelho (*Oryza spp.*), espécie que compete com a cultura, reduzindo a produtividade, a qualidade e a rentabilidade da lavoura. A origem do arroz-vermelho não é tema de consenso. Alguns autores acreditam que a forma originária do arroz era de pericarpo vermelho; outros pesquisadores defendem a idéia de que o arroz com pericarpo vermelho surgiu de uma população de arroz branco que sofreu degeneração (Agostinetto et al., 2001). Há ainda a hipótese de que o arroz-vermelho tenha se originado de um complexo grupo de arroz selvagem, que se modificou por hibridação natural com qualidades comerciais. O arroz-vermelho pertence ao mesmo gênero do arroz (*Oryza sativa*) irrigado. Craigmiles (1978) afirma que as características que podem auxiliar na diferenciação do arroz-vermelho são: a coloração vermelha do pericarpo, a pubescência e a deiscência precoce das espiguetas, plantas com porte mais alto que as cultivares modernas de arroz, maior sensibilidade ao acamamento, maior pilosidade da lâmina foliar e maior perfilhamento. Além disso, Smith Jr. (1992) destaca que o arroz-vermelho apresenta dormência no solo por períodos superiores a 12 anos.

Estimativas indicam que o Rio Grande do Sul, líder no ranking brasileiro de produção de arroz, perde 20% de seu potencial produtivo devido à competição com o arroz-vermelho (Marchezan et al., 2004). Pode-se afirmar, de acordo com os mesmos autores, que cada panícula de arroz-vermelho por m^2 reduz a produtividade do arroz irrigado em 16 a 18 $kg ha^{-1}$. Além da diminuição na produtividade de grãos, o arroz-vermelho ocasiona depreciação do valor comercial do produto colhido, devido à redução na quantidade de grãos inteiros, à alteração da classe do produto e à existência de grãos com estrias vermelhas em função do polimento. No processo de beneficiamento, os danos qualitativos dos grãos de arroz podem ser minimizados com o uso de máquinas e equipamentos que promovam a separação do arroz-vermelho do lote de arroz. Contudo, esse procedimento causa elevação nos custos de produção e, devido a tal aumento, as receptoras de arroz classificam os lotes de acordo com a presença de arroz-vermelho, estabelecendo preços diferenciados a serem pagos ao produtor.

A infestação das áreas com arroz-vermelho também diminui a renda dos produtores, pois causa desvalorização das áreas de cultivo. No Rio Grande do Sul, 60% da área cultivada com arroz encontra-se com média a alta infestação de arroz-vermelho, são áreas que apresentam de 10 a 200 panículas da planta daninha m^{-2} (Marchezan et al., 2004). Essa alta infestação deve-se, segundo Souza (1999) e Petrini et al. (1998), a diversos fatores, dentre

eles ao uso intensivo das áreas, à ausência de herbicidas seletivos ao arroz e eficientes no controle de arroz-vermelho, ao manejo inadequado da resteva do arroz, à alta percentagem de degrane natural e à dormência no solo das sementes da planta daninha.

O conhecimento das causas que levaram à infestação de arroz-vermelho em determinada área é fundamental no desenvolvimento de estratégias de manejo para o controle da planta daninha. Influenciam também, nesse desenvolvimento, a situação econômica e cultural de cada produtor, a topografia da propriedade, a disponibilidade de água para irrigação, as condições de drenagem da área, dentre outros fatores. Para o controle de arroz-vermelho, as principais alternativas são: utilização de sementes isentas da planta daninha, escolha de um sistema de cultivo eficaz no seu controle, manejo do solo e da água de irrigação, rotação de culturas e controle químico. Dentre os sistemas de cultivo do arroz irrigado, Marchezan et al. (2004), avaliando pesquisas de diversos autores, constataram que o sistema pré-germinado e o transplante de mudas são mais eficientes no controle de arroz-vermelho. No entanto, é preciso utilizá-los integradamente com outros métodos de controle.

Outro aspecto importante para o controle de arroz-vermelho é o manejo do solo após a colheita. Autores relatam que o pousio da área por dois anos, após o cultivo de arroz, reduz o banco de sementes de arroz-vermelho e consiste em uma prática que mantém em níveis toleráveis a infestação da planta daninha (Avila, 1999; Coradini et al., 1999). A mobilização freqüente do solo durante o pousio também consiste em alternativa de controle do arroz-vermelho, pois aumenta a emergência das plantas daninhas, reduzindo a quantidade de sementes no solo. Segundo Huey & Baldwin (1978), com a mobilização do solo, as sementes encontram condições favoráveis para germinar e emergir, podendo ser controladas por gradagens sucessivas, possibilitando destruir três ou quatro infestações de arroz-vermelho durante o período de primavera/verão. Além do manejo do solo, o manejo de irrigação é outra prática importante no controle do arroz-vermelho, pois interfere na emergência de plantas daninhas. Machado et al. (1998) compararam diferentes sistemas de cultivo de arroz irrigado em 27 lavouras comerciais e constataram redução na população de plantas de arroz-vermelho nos sistemas pré-germinado e cultivo mínimo, quando as lavouras foram conduzidas com manejo adequado da água. Para o sistema pré-germinado, a inundação do solo deve ser realizada no mínimo 20 dias antes da semeadura, para minimizar a viabilidade das sementes de arroz-vermelho (Noldin, 1988). No sistema convencional e plantio direto, a entrada da água deve ser feita o mais rápido possível após a emergência do arroz, devendo ser mantida por todo o ciclo da cultura (Marchezan et al., 2004).

A rotação de culturas, tais como milho, soja e sorgo, consiste também em uma alternativa para a redução da infestação de arroz-vermelho na lavoura de arroz irrigado. Petrini et al. (1998) observaram uma redução de 53,4% no número de sementes de arroz-vermelho m⁻², após um ano de rotação do arroz com milho, aplicando-se atrazine nesta cultura. Ainda outras pesquisas relatam a eficiência da rotação de culturas com a utilização de herbicidas para o controle do arroz-vermelho (Machado et al., 1999; Avila, 1999). Nesse sentido, é importante destacar que a escolha do herbicida a ser utilizado, da dose a ser aplicada e do modo e época de aplicação são fundamentais no controle da planta daninha.

O controle químico do arroz-vermelho é também uma alternativa para a diminuição de sua infestação nas lavouras de arroz irrigado. Segundo Marchezan et al. (2004), esse controle pode ocorrer através da aplicação de herbicidas com antídoto, do uso de barra química, da supressão da produção de sementes viáveis com regulador de crescimento de ação sistêmica ou do desenvolvimento de cultivares de arroz resistentes a determinados herbicidas utilizados no controle de arroz-vermelho. Inserido nesta última alternativa, a utilização de arroz resistente a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas tem sido uma ferramenta de controle do arroz-vermelho nas lavouras comerciais do Rio Grande do Sul. Desenvolvidas inicialmente na Estação Experimental de Crowley, na Universidade de Louisiana, EUA, essas plantas foram obtidas através de mutação por agentes químicos e, posteriormente, a característica de tolerância aos herbicidas foi introduzida através de retrocruzamento em cultivares utilizadas pelos produtores. Tal tecnologia permite que herbicidas do grupo químico das imidazolinonas sejam aplicados na lavoura de arroz tolerante tanto em pré, quanto em pós-emergência, controlando o arroz-vermelho sem causar maiores prejuízos ao arroz cultivado.

Herbicidas desse grupo são, de modo geral, móveis no xilema e no floema, podendo ser absorvidos e translocados a partir das folhas ou pelas raízes (Masson et al., 2001). O modo de ação dos herbicidas do grupo químico das imidazolinonas se dá mediante a inibição do crescimento da planta logo após a sua aplicação, sendo que, passados de 10 a 15 dias, os tecidos meristemáticos tornam-se cloróticos e, posteriormente, ocorre lenta clorose e necrose foliar (Vidal, 1997). Estes herbicidas inibem a enzima acetolactato sintetase (ALS), que é essencial na biossíntese dos aminoácidos de cadeia ramificada, como isoleucina, leucina e valina. Por sua vez, a resistência a estes herbicidas nas cultivares de arroz ocorre justamente devido à alteração em sua enzima acetolactato sintetase, tornando-as até 477 vezes mais resistentes que as enzimas de genótipos de arroz-vermelho (Avila et al., 2003).

Os herbicidas do grupo químico das imidazolinonas são caracterizados pela eficácia em baixas doses, pelo largo espectro de controle de plantas daninhas e pela longa persistência no solo (Shaw & Wixson, 1991; Loux & Reese, 1993). Nos EUA, independente da textura do solo, preconiza-se a aplicação seqüencial do imazethapyr, na dose de 70 g i.a. ha⁻¹ em pré-plantio incorporado (PPI) ou pré-emergência (PRE), seguida da mesma dose em pós-emergência (POS), com o arroz no estágio de três a cinco folhas (Ottis et al., 2003). Já no Brasil, a tecnologia, denominada Sistema Clearfield, constitui-se na aplicação do herbicida Only (imazethapyr 75 g i.a. L⁻¹ + imazapic 25 g i.a. L⁻¹) em arroz tolerante, sendo recomendada a dose de 1,0 L ha⁻¹ do produto, aplicado em POS. Steele et al. (2002) e Ottis et al. (2003), no entanto, trabalhando com linhagens resistentes a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, verificaram que, para o efetivo controle do arroz-vermelho, são necessárias duas aplicações do herbicida, uma em pré-emergência e outra em pós-emergência. Também Villa et al. (2006) verificaram que maior controle de arroz-vermelho é obtido com doses seqüenciais de 75 g ha⁻¹ de (imazethapyr + imazapic) aplicado em PRE, seguido de 50 g ha⁻¹ do herbicida aplicado em POS. Na utilização de imazethapyr, é preciso observar ainda o manejo da água na lavoura; a inundação da área deve ser realizada no máximo até 14 dias após a aplicação do herbicida, quando este for aplicado em pós-emergência precoce, e aos sete dias após a emergência, quando aplicado em pós-médio (Avila et al., 2003).

Embora os resultados encontrados confirmem que o uso de arroz resistente ao grupo químico das imidazolinonas consiste em uma tecnologia eficiente no controle do arroz-vermelho, é preciso atentar ao possível cruzamento genético entre essas plantas resistentes e a planta daninha. Os genes responsáveis pela resistência podem ser transferidos, através do pólen, e incorporados por plantas daninhas, tais como o arroz-vermelho. Logo, ainda que em taxas variadas, é possível ocorrer fluxo gênico entre o arroz mutante e espécies afins (Marchezan et al., 2004), aumentando a agressividade do arroz-vermelho. Além disso, os herbicidas do grupo químico das imidazolinonas podem causar injúrias à cultura subsequente ao arroz e não-tolerante à sua aplicação.

O imazethapyr, {2-[4,5-dihydro-4-methyl-4-(1-methylethyl)-5-oxo-1*H*-imidazol-2-yl]-5-ethyl-3-pyridinecarboxylic acid}, é um herbicida com características de ácido orgânico fraco (pKa 3.9) que tem solubilidade em água de 1400 mg L⁻¹ (pH 7; 25°C) e pressão de vapor <0.013 mPa (60°C) (Vencill, 2002). Esse herbicida é suscetível à fotodecomposição aquosa com meia-vida que varia de 44 h, em pH 5, a 57 h, em pH 9 (Shaner & O'Conner 1991), sendo o principal processo de degradação do imazethapyr na água. A meia-vida no solo desse herbicida varia de 60 a 90 dias e suas perdas por volatilização são insignificantes (Vencill,

2002). O imazapic, 2-[4,5-dihydro-4-methyl-4-(1-methylethyl)-5-oxo-1*H*-imidazol-2-yl]-5-methyl-3-pyridinecarboxylic acid, consiste também num herbicida com características de ácido fraco (pKa 3.9), com solubilidade em água de 2200 mg L⁻¹ (25°C). A meia-vida do herbicida no solo é de 120 dias e, assim como para o imazethapyr, suas perdas por volatilização são insignificantes.

Outra tecnologia utilizada em lavouras comerciais do RS consiste na supressão de arroz-vermelho com a utilização do herbicida clomazone em sementes tratadas com protetor. O clomazone, {2-[(2-clorobenzil)]-4,4-dimetil-1,2-oxazolidin-3-ona}, tem solubilidade em água de 1100 mg L⁻¹ (25°C) e pressão de vapor de 19.2 mPa (25°C). A meia-vida do clomazone no solo é de 24 dias, mas esse período pode variar com o tipo do solo e as circunstâncias ambientais (Vencill, 2002). O clomazone é absorvido pelas raízes e move-se no xilema até as folhas das plantas. Esse herbicida inibe a biossíntese de pigmentos de clorofila e do carotenóide, causando uma aparência descorada em espécies suscetíveis, ocasionando plantas brancas, amarelas ou verde-claro (Duke & Paul, 1986).

Zhang et al. (2004), pesquisando a tolerância de diferentes cultivares de arroz à aplicação de clomazone, verificaram que o herbicida pode injuriar algumas cultivares da cultura, resultando em redução da estatura de plantas e diminuindo, assim, a produtividade de grãos da lavoura. Para os autores, a maioria das cultivares de arroz tem a habilidade de se recuperar das injúrias, e de manter seus potenciais de produtividade de grãos, no entanto, os resultados de pesquisas revelam a existência de tolerância diferenciada à aplicação de clomazone entre as cultivares do arroz. Taylor (2004), ao avaliar tratamentos com clomazone na lavoura de arroz, também verificou que o aumento da dose deste herbicida acima de 240 g i.a ha⁻¹, algumas vezes, causou excessiva injúria às plantas. Em função disso, necessita-se utilizar, junto ao clomazone, sementes tratadas com protetor e que se tornam, portanto, tolerantes a doses elevadas de tal herbicida. Segundo Hatzios & Burgos (2004), protetores são agentes químicos que reduzem a fitotoxicidade de herbicidas nas culturas, através de mecanismo fisiológico ou molecular, sem comprometer a eficiência do controle de plantas daninhas. Estes agentes são usados para a proteção de sementes de algumas gramíneas, assim como milho, sorgo e arroz.

A aplicação de ambas as tecnologias - Sistema Clearfield e supressão de arroz-vermelho com utilização de clomazone em sementes tratadas com protetor - apresentam-se, portanto, como alternativa para o controle químico do arroz-vermelho nas lavouras de arroz irrigado. Contudo, sabe-se que a aplicação de herbicidas, principalmente quando utilizada de forma inadequada, sem respeitar as recomendações constantes no rótulo do produto, pode

provocar prejuízos ambientais ao sistema de cultivo. Apesar de sua importância social e econômica, tem sido levantados muitos questionamentos quanto ao potencial poluente da lavoura arrozeira.

Em 1997, a Organização das Nações Unidas (ONU) fez um alerta mundial: em 28 anos, a carência de água no mundo atingiria dois terços da população, exigindo a racionalização de seu uso. Diante da necessidade de preservação dos recursos hídricos, a agricultura como um todo tem sido foco de debate, pois responde por 69% uso anual de água no mundo (FAO, 2003). Além da alta demanda por água, a agricultura ainda oferece riscos de contaminação das águas superficiais e subterrâneas pelo uso de agroquímicos na lavoura. Diante das práticas agriculturáveis, a condução da lavoura de arroz irrigado é uma das primeiras na demanda por água. No Rio Grande do Sul, são produzidas, anualmente, cerca de seis milhões de toneladas de arroz, sendo que, para a produção de 1 kg de grãos, são necessários de 1 a 3 m³ de água (FAO, 2003). Além disso, para maior produtividade da lavoura, a utilização de agroquímicos no controle de plantas daninhas tem sido bastante empregada, ocasionando especulações acerca da responsabilidade da lavoura orizícola na contaminação de mananciais hídricos.

A irrigação da cultura do arroz é conduzida, por bombeamento ou gravidade, de rios, riachos, lagoas, barragens ou açudes. Para tanto, na sua maioria, as lavouras localizam-se em baixadas que ficam às margens de mananciais de água. Segundo Machado et al. (2001), devido aos processos naturais de movimento das águas superficiais, é provável que resíduos de agroquímicos sejam transportados para recursos hídricos importantes, contaminando os mananciais à jusante da lavoura, ainda que a concentração de herbicidas na água seja, em geral, baixa. O escoamento superficial, portanto, é o principal mecanismo que contribui para a contaminação das águas por agroquímicos. Uma vez aplicados, os herbicidas podem ser transportados, via água da chuva ou drenagem, para mananciais hídricos à jusante da lavoura de arroz.

Largamente utilizados na lavoura orizícola, os herbicidas, quando na água, espalham-se por todo o meio líquido, o que torna difícil conter sua dispersão e inativar sua ação sobre outros organismos. O resíduo dos agroquímicos pode se ligar às partículas em suspensão, se depositar no fundo dos rios ou ser absorvido por organismos, podendo então ser detoxicado ou acumulado (Tomita & Beyruth, 2002). Para os autores, o grau de acumulação dos resíduos nos organismos depende do tipo de cadeia alimentar, da disponibilidade e persistência do herbicida na água e especialmente de suas características físico-químicas. Peixes e invertebrados, por exemplo, podem acumular os agroquímicos em concentrações muito acima

daquelas encontradas na água, devido à ligação dos resíduos às partículas em suspensão e à ingestão deles pelos organismos aquáticos (Tomita & Beyruth, 2002). Portanto, ainda que em concentrações baixas, os agroquímicos representam riscos para algumas espécies de organismos aquáticos, que podem concentrar os produtos em até 1000 vezes (Dores & De-Lamonica-Freire, 2001).

Herbicidas persistentes e com grande mobilidade têm sido detectados em águas de superfície (Deschamps et al., 2003; Marchezan et al., 2002), bem como em águas subterrâneas (Kolpin et al., 1998). Eventos como a precipitação pluvial, o escoamento superficial e a suplementação de água são fatores que podem modificar a concentração dos herbicidas, resultando em perdas e picos de concentração. Diante disso, as agências ambientais têm proposto legislação rigorosa a respeito da qualidade da água. A Comunidade Européia estabeleceu em $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$ a concentração máxima admissível de qualquer pesticida para água potável e em $0,5 \mu\text{g L}^{-1}$ para o total de resíduos (Hamilton et al., 2003). Segundo a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde no Brasil, de 25 de março de 2004, que estabelece procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, o herbicida propanil pode ser encontrado na água potável em quantidade inferior a $20 \mu\text{g L}^{-1}$. Além deste herbicida, a Portaria estabelece os valores máximos permitidos para outros agroquímicos também utilizados na lavoura de arroz, como o 2,4 D e o glifosato, que não podem ultrapassar 30 e $500 \mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente. Para Machado et al. (2003), a provável presença de resíduos de herbicidas em águas de córregos, lagoas, riachos e rios que recebam o aporte da água de drenagem das lavouras de arroz irrigado é indicador de que práticas de manejo mais adequadas devam ser adotadas, com vistas a evitar a saída desta água contaminada da lavoura. Além disso, Machado (2003) aponta também como de grande necessidade estudos que determinem os resíduos de herbicidas na água e no solo da lavoura, com o objetivo de identificar, quantificar e solucionar possíveis problemas ambientais e biológicos.

Para além da poluição aquífera, o herbicida pode ser transportado ao interior do solo pela água da chuva ou da própria irrigação, contaminando-o. Persistentes no solo, resíduos destes herbicidas podem causar injúrias à cultura em rotação não-tolerante a eles. O comportamento e o destino dos herbicidas no ambiente dependem de fatores externos à sua composição, tais como as condições meteorológicas, composição das populações de microrganismos no solo, presença ou ausência de plantas, localização do solo na topografia, e práticas de manejo dos solos (Spadotto, 2002). Gebler & Spadotto (2004) citam também como fundamentais à mobilidade e persistência do herbicida no solo as propriedades intrínsecas do

agroquímico, como seu princípio ativo e suas características físico-químicas. O comportamento dos herbicidas no ambiente se dá por processos de transferência (sorção-desorção, escoamento superficial, percolação, volatilização e absorção por plantas e animais) e degradação (fotodecomposição, biodegradação, degradação química e detoxificação) (Mattos, 2004).

A sorção é o processo geral de retenção das moléculas no solo, sem distinção aos processos específicos de adsorção ou absorção (Paraíba et al., 2005). A sorção tem forte impacto na distribuição, biodisponibilidade e persistência do herbicida no ambiente. Herbicidas excessivamente móveis podem se deslocar para camadas mais profundas do solo, onde a atividade microbiana é frequentemente menor que aquela nas camadas superficiais, acarretando em implicações na persistência de resíduos desses herbicidas. A adsorção, por sua vez, é um processo físico-químico reversível que ocorre quando moléculas do pesticida são atraídas para a superfície da matéria sólida ou para a matéria orgânica do solo por mecanismos químicos ou físicos tais como reações de coordenação, interações por transferência de cargas, trocas iônicas, forças de van der Waals, ligações covalentes ou interações hidrofóbicas (Lavorenti et al., 2003). A adsorção ao solo é o processo que mais influi na percolação de herbicidas, porém as condições de umidade e temperatura também têm papel relevante nesse processo. Já a absorção é um fenômeno puramente físico que consiste na penetração de moléculas do pesticida nos espaços microscópicos do solo.

O escoamento superficial consiste na água, somada ao material dissolvido ou em suspensão, que escorre sobre uma superfície que atingiu seu ponto de saturação. Geralmente, o destino final do escoamento superficial é um ponto de captação de água, como reservatórios, rios ou lagos. A percolação e a volatilização, outros possíveis processos de transferência dos herbicidas no ambiente, compreendem, respectivamente, o transporte dos agroquímicos em profundidade, através do perfil do solo, e a transferência do elemento químico de uma superfície seca ou molhada para a atmosfera.

O processo de volatilização está diretamente relacionado com a taxa de pressão de vapor (P_a) e com a constante de Henry (K_h) do agroquímico. Ainda que seja difícil mensurar a taxa de volatilização dos herbicidas, podem-se obter as quantidades envolvidas levando-se em conta o fluxo de volatilização por unidade de área e a meia-vida de volatilização do produto. Segundo Gebler & Spadotto (2004), há expectativa de que, em solos com baixos teores de matéria orgânica, sob temperaturas altas, presença de vento e baixa umidade do ar, haja maior volatilização que em condições de frio, solos argilosos secos, com altos teores de matéria orgânica, ausência de vento e umidade do ar próxima a 100%. O grau de solubilidade do

herbicida em água também exerce influência sobre a taxa de volatilização, pois quanto menos miscível em água (apolar), o herbicida estará mais exposto tanto na superfície da água quanto no solo. Em contrapartida, no caso de herbicidas polares, haverá tendência a uma menor volatilização pela maior miscibilidade em água.

A degradação refere-se a mudanças na estrutura molecular dos herbicidas, resultando em produtos mais simples, geralmente menos fitotóxicos ou não-fitotóxicos (Mattos, 2004). O processo de degradação por fotodecomposição ocorre quando a luz formada por pacotes de energia denominados fótons, que se movimentam na forma de ondas, provoca a quebra das ligações químicas entre as moléculas dos herbicidas, primariamente através de reações fotoquímicas e, secundariamente, pela reação de radicais livres. A fotólise atinge principalmente moléculas com alto grau de volatilidade. Além da fotólise direta, existe o processo de fotólise indireta, em que a luz funciona como catalisador para outros processos físico-químicos, como redução ou oxidação. É preciso considerar ainda que a presença de radicais livres também afeta a taxa de degradação do agroquímico, sendo que radicais hidróxi (OH^\cdot) são os que mais aceleram a taxa, enquanto que radicais ozona (O_3^\cdot) têm menor influência sobre ela (Gebler & Spadotto, 2004).

A biodegradação dos herbicidas no solo, ou degradação biológica, é o processo pelo qual microorganismos reduzem a molécula inicial do agroquímico até seus componentes básicos, como carbono, fósforo e nitrogênio. A biodiversidade está presente em todo o perfil do solo, porém apresenta uma ação mais acentuada nas camadas superficiais. Isto se deve principalmente à presença de grande quantidade de bactérias aeróbicas, cuja eficiência em degradar produtos xenobióticos é superior às anaeróbicas por utilizar o oxigênio como agente oxidante, à maior presença de matéria orgânica e às relações solo-água-ar dessa região. Para que haja biodegradação, é necessária a conjunção de alguns fatores, como temperatura, umidade, população inicial de microorganismos, presença de substrato apropriado e meio de suporte. Por fim, a detoxificação dos herbicidas significa a perda da fitotoxicidade, mas pode também estar relacionada com a perda de toxicidade para animais (Mattos, 2004).

Além dos processos de transferência e degradação dos herbicidas descritos por Mattos (2004) e conceituados anteriormente, existe a hidrólise, quebra de ligações químicas nas moléculas e sua substituição por componentes da água (H^+ e OH^-) formando novos compostos. A hidrólise é considerada o principal meio de degradação de agroquímicos em corpos de água. O pH do meio interfere na hidrólise dos agroquímicos, devido à interação com as características físico-químicas inerentes à sua molécula. Também a temperatura e o

teor de matéria orgânica do solo influenciam no processo, sendo que solos ricos em argila são mais eficientes na degradação por hidrólise que solos arenosos.

Quanto à persistência dos herbicidas no ambiente, segundo Qureshi (1987), os agroquímicos persistentes no solo usualmente têm uma ou mais das seguintes propriedades: baixa solubilidade em água; moderado grau de adsorção; baixa volatilidade; baixa susceptibilidade à decomposição pela luz, à degradação química e à decomposição microbiana. Já a persistência dos herbicidas na água pode ser explicada pelo coeficiente de adsorção no carbono orgânico (K_{oc}), meia-vida ($t_{1/2}$), constante da lei de Henry (K_H) e também pelas condições hidrometeorológicas. Portanto, cada agroquímico em particular, com suas propriedades intrínsecas, comporta-se de diferente maneira no ambiente.

A taxa de degradação e a persistência dos herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, por exemplo, sofrem influência da temperatura, umidade, matéria orgânica do solo e da adsorção do herbicida ao solo (Goetz et al., 1990). O imazethapyr pode ser liberado por volatilização, fotodecomposição, degradação microbiana, degradação química ou pela taxa de absorção da planta (Goetz et al., 1990). Contudo, esse herbicida dissipa-se principalmente por biodegradação (Flint & Witt, 1997), com meia-vida que varia de 53 a 122 dias em solo aeróbico. Em contrapartida, Shaner & O'Conner (1991) afirmam que, sob condições anaeróbicas, como em lavouras de arroz irrigado, nenhuma degradação significativa ocorreu em um período de dois meses. Marcolin et al. (2003) verificaram que, aos 30 dias após a aplicação, a concentração do herbicida na lâmina de água da lavoura de arroz ficou abaixo de $3 \mu\text{g L}^{-1}$.

Pesquisas indicam que, com o aumento do pH do solo, a adsorção do imazethapyr ao solo diminui, já com o incremento da matéria orgânica do solo, a adsorção do herbicida aumenta (Che et al., 1992; Goetz et al., 1990). Isso ocorre devido à natureza aniônica das moléculas do herbicida (Loux & Reese, 1993), e ocasiona redução na disponibilidade do imazethapyr para degradação microbiana. Segundo Avila (2006), a adsorção do imazethapyr nos colóides pode afetar também a fotólise, pelo fato de o herbicida estar dentro de espaços coloidais, ou seja, protegido da luz. Persistentes no solo, resíduos do imazethapyr podem causar fitotoxicidade em culturas sucessoras ao arroz e não-tolerantes ao herbicida.

Renner et al. (1998) afirmam que os herbicidas do grupo químico das imidazolinonas podem apresentar residual no solo por até dois anos e, dependendo da cultura sucessora, podem causar fitotoxicidade (Ball et al., 2003). Johnson et al. (1993) verificaram injúrias no milho, algodão, sorgo e arroz, 52 semanas após a aplicação de imazethapyr. Também Curran et al. (1992) observaram injúrias na cultura do milho devido a resíduos do imazethapyr

aplicado na soja no ano precedente. Essas injúrias podem ser caracterizadas por sintomas como encurtamento dos entrenós e amarelecimento das folhas (York et al., 2000), redução na altura da planta e aumento da ramificação lateral (Ball et al., 2003), redução no estande da planta ou redução da produtividade (Loux & Reese, 1993). Em experimentos após um ano da aplicação de imazethapyr, Loux & Reese (1993) observaram injúrias em plantas de milho através da diminuição da produtividade, sendo que a injúria aumentava com a diminuição do pH do solo e como aumento da dose de aplicação do herbicida.

Quanto ao clomazone, a concentração do herbicida disponível na solução do solo depende da quantidade de carbono e de água deste solo (Lee et al., 2004). Segundo o California Department of Pesticide Regulation (EUA), os valores de K_{oc} para o clomazone, em estudo de adsorção e desorção do solo, indicaram que o herbicida tem de baixa à média mobilidade no solo. O Departamento afirma também que o estudo da hidrólise indicou que o clomazone é hidroliticamente estável após 34 ou 40 dias na água, sob diferentes pHs. No solo, o clomazone degrada lentamente sob condições aeróbicas, com meia-vida que varia de 90 a 276 dias; entretanto, em solo anaeróbico (campo inundado), a degradação é mais rápida, com meia-vida média de 60 dias (California Department of Pesticide Regulation, 2003). Portanto, o metabolismo desse herbicida é mais rápido em condições anaeróbicas que em condições aeróbicas.

Dissolvido em água, o clomazone não degrada prontamente na presença da luz, com meia-vida de 30 dias. Os estudos em água do metabolismo e da dissipação indicam que o clomazone tem uma meia-vida relativamente curta. Machado et al. (2003) encontraram persistência do herbicida na lâmina de água da lavoura de arroz até os 28 dias após sua aplicação, nas condições edafoclimáticas do RS, e Noldin et al. (1997) evidenciaram concentração de $0,6 \mu\text{g L}^{-1}$ de clomazone na água aos 32 dias após sua aplicação.

O clomazone tem controle residual eficaz para algumas espécies de plantas daninhas. Entretanto, foram documentadas injúrias nas plantas de alfalfa (*Medicago sativa* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.) e aveia (*Avena sativa* L.) cultivadas um ano após a aplicação do clomazone nos EUA (Ahrens & Fuerst, 1990; Gunsolus et al., 1986). Para Scherder et al. (2004), a clorose (descoramento) e outras formas de injúrias, tais como redução do estande e atraso na maturidade das plantas, advindas da aplicação de clomazone, variam de acordo com o tipo e o teor de matéria orgânica do solo. Geralmente, com o aumento da taxa de clomazone de $0,28 \text{ kg i.a. ha}^{-1}$ para $2,23 \text{ kg ha}^{-1}$, a clorose na planta aumenta (Bollich et al., 2000).

Segundo Spadotto (2002), o entendimento dos processos de retenção, transformação e transporte de herbicidas no ambiente, particularmente em condições brasileiras, é essencial

para direcionar trabalhos de monitoramento e avaliação de impactos ambientais, nos quais é imprescindível que os atributos e indicadores ambientais de alteração e de impacto sejam conhecidos para que a avaliação seja possível. Nesse sentido, a presente dissertação tem como objetivo avaliar não apenas a eficiência da aplicação de Only (imazethapyr + imazapic) e clomazone no controle do arroz-vermelho, mas verificar também a persistência desses herbicidas na lâmina da água e no solo da lavoura do arroz irrigado, buscando indicativos dos reflexos de sua aplicação nas culturas subseqüentes ao arroz tolerante e suscetíveis ao seu residual. Para isso, foram conduzidos três experimentos. O primeiro deles visou à avaliação do Sistema Clearfield e da utilização de clomazone com uso de protetor de sementes no controle do arroz-vermelho. Por sua vez, o segundo experimento teve o objetivo de analisar a persistência dos herbicidas imazethapyr e clomazone na lâmina de água da lavoura do arroz irrigado. Por fim, o último experimento avaliou o efeito residual no solo dos herbicidas (imazethapyr + imazapic) e clomazone em culturas não-tolerantes a esses herbicidas estudados. A descrição dos experimentos realizados, bem como os resultados encontrados a partir de sua condução, segue nos próximos capítulos.

2. CONTROLE QUÍMICO DE ARROZ-VERMELHO NA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO

RESUMO

A ocorrência de arroz-vermelho (*Oryza* spp.) em áreas de arroz irrigado reduz a produtividade de grãos da lavoura e a qualidade do produto colhido. Em vista disso, desenvolveu-se um experimento com o objetivo de comparar duas ferramentas para o controle do arroz-vermelho, uma usando o Sistema Clearfield para o controle de arroz-vermelho e outra usando-se doses elevadas de clomazone em sementes tratadas com protetor para supressão de arroz-vermelho. Os tratamentos aplicados constituíram-se de uma testemunha, sem aplicação de herbicida, três tratamentos referentes à aplicação do herbicida Only (imazethapyr 75 g i.a. L⁻¹ + imazapic 25 g i.a. L⁻¹) e outros três referentes à aplicação do herbicida Gamit (clomazone 500 g i.a. L⁻¹). O tratamento mais eficiente no controle de arroz-vermelho foi a aplicação de 0,7 L ha⁻¹ do herbicida Only em pré-emergência, seguido da mesma dose em pós-emergência. Este tratamento proporcionou 100% de controle de arroz-vermelho, além de não prejudicar o estande inicial de plantas e proporcionar altas produtividades de grãos do arroz irrigado.

Palavras-chave: Sistema Clearfield, (imazethapyr + imazapic), clomazone, *Oryza sativa*

RED RICE CHEMICAL CONTROL IN RICE

ABSTRACT

Red rice (*Oryza* spp.) reduces rice (*Oryza sativa* L.) yield and quality. Field study was conducted with the objective of compare two tools to red rice control, the first using the Clearfield™ system and the second using Gamit™ in high rates associated with rice treated seeds to suppress red rice emergence. The treatments included: check control without herbicide application, three treatments for the herbicide Only™ (imazethapyr 75 g i.a. L⁻¹ + imazapic 25 g i.a. L⁻¹) in the Cleafield system, and three Gamit treatments (clomazone 500 g i.a. L⁻¹). The most efficient treatment for red rice control was the use of Cleafield system with the split application of Only (0.7 L ha⁻¹ PRE followed by 0.7 L ha⁻¹ POS). This treatment promoted 100% red rice control, without affecting plant stand and promoting high grain yield.

Key words: Clearfield System, (imazethapyr + imazapic), clomazone, *Oryza sativa*.

2.1 INTRODUÇÃO

O arroz-vermelho é a planta daninha que mais causa danos à lavoura orizícola gaúcha, por ocasionar redução da produtividade, apresentar dificuldade de controle, extensão e alto grau de infestação das áreas cultivadas. Além disso, ela provoca elevação do custo de produção e deprecia o valor comercial do produto final e das áreas cultivadas com arroz. Estimativas indicam que as perdas diretas decorrentes da competição com arroz-vermelho possam atingir 20% da produção de arroz irrigado no Rio Grande do Sul (Marchezan et al., 2004). Pesquisas anteriores mostram, ainda, que cada panícula de arroz vermelho m^{-2} reduz a produtividade de grãos de arroz em 16 a 18 $kg\ ha^{-1}$ (Souza & Fischer, 1986; Avila et al., 1999).

Devido às semelhanças morfofisiológicas existentes entre o arroz cultivado e o arroz-vermelho, os herbicidas tradicionalmente utilizados na lavoura são ineficientes no controle dessa planta daninha. O degrane natural e o elevado grau de dormência das sementes de arroz-vermelho dificultam ainda mais o controle desta planta daninha (Noldin et al., 1999). Nesse contexto, buscam-se alternativas que minimizem a infestação do arroz-vermelho nas lavouras sem causar danos ao arroz cultivado.

Uma dessas alternativas, o Sistema Clearfield, foi desenvolvida inicialmente na Universidade de Louisiana (EUA) e consiste em plantas de arroz tolerantes a herbicidas pertencentes ao grupo químico das imidazolinonas (imazethapyr, imazapic, etc...). Nos EUA, independente da textura do solo, preconiza-se a aplicação seqüencial do imazethapyr, na dose de 70 g i.a. ha^{-1} em pré-plantio incorporado (PPI) ou pré-emergência (PRE), seguida da mesma dose em pós-emergência (POS), com o arroz no estágio de três a cinco folhas (Ottis et al., 2003). Já no Brasil, o Sistema Clearfield constitui-se na aplicação do herbicida Only (imazethapyr 75 g i.a. L^{-1} + imazapic 25 g i.a. L^{-1}) em arroz tolerante, sendo recomendada a dose de 1,0 $L\ ha^{-1}$ do produto, aplicado em POS (Ministério da Agricultura, 2006).

Outra alternativa apresentada como útil, consiste na supressão de arroz-vermelho com a utilização do herbicida Gamit (clomazone). Zhang et al. (2004), pesquisando a tolerância de cultivares de arroz à aplicação de Gamit, verificaram que o herbicida pode injuriar algumas cultivares, resultando em redução da estatura de plantas e diminuição da produtividade de grãos da lavoura. Em função disso, utiliza-se sementes tratadas com protetor, agente químico que reduz a fitotoxicidade de herbicidas nas culturas, através de mecanismo fisiológico ou

molecular, sem comprometer a eficiência no controle de plantas daninhas (Hatzios & Burgos, 2004) e possibilitando o uso de doses maiores do herbicida. Preconiza-se, no Brasil, a aplicação de 3,0 L ha⁻¹ de Gamit (clomazone) em PRE, em sementes tratadas com o protetor Permit na dose de 1,0 kg do produto para cada 100 kg de sementes.

A busca de alternativas para o controle do arroz-vermelho é essencial na manutenção da rentabilidade da lavoura arrozeira. Contudo, são necessárias avaliações dessas alternativas, levando em consideração todos os aspectos do sistema produtivo, desde a eficiência de controle até seus possíveis efeitos no ambiente. Em vista disto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a eficiência de controle de arroz-vermelho proporcionada pelo Sistema Clearfield e pela supressão de arroz-vermelho com utilização de clomazone em sementes tratadas com protetor.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2004/05, no campo experimental do Departamento de Fitotecnia da UFSM, em solo classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico, pertencente à unidade de mapeamento Vacacaí (Embrapa, 1999), com as seguintes características: pH_{água}(1:1) = 4,5; P = 6,9 mg dm⁻³; K = 55 mg dm⁻³; M.O. = 1,2 %; Ca = 2,5 cmol_c dm⁻³; Mg = 1,3 cmol_c dm⁻³; Al = 1,4 cmol_c dm⁻³; e argila = 17 %.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com sete tratamentos (Tabela 1) e cinco repetições. As unidades experimentais mediram 5,0 x 4,0 m (20,0 m²) e área útil para estimativa da produtividade de grãos de 4,0 x 1,7 m (6,8 m²).

Para homogeneizar o banco de sementes de arroz-vermelho, foi incorporado ao solo 125 kg ha⁻¹ de sementes, obtendo-se população média de 219 plantas de arroz-vermelho m⁻². A cultivar IRGA 422 CL foi semeada em linhas espaçadas a 0,17 m, um dia após a incorporação das sementes de arroz-vermelho, em 28/10/2004, na densidade de 120 kg de sementes ha⁻¹, sendo que a emergência do arroz irrigado ocorreu aos 12 dias após a semeadura (DAS). A adubação de base foi realizada concomitantemente à semeadura do arroz irrigado, aplicando-se 7, 70 e 105 kg ha⁻¹ de Nitrogênio (N), P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Na adubação de cobertura, foram utilizados 120 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia, aplicando-se a metade da dose no início do perfilhamento (V4) e o restante na iniciação da panícula (R₀), segundo escala de Counce et al. (2000). Juntamente com a segunda aplicação de N em cobertura, foram utilizados 500 g i.a. ha⁻¹ do inseticida carbofuran, para o controle do gorgulho-aquático-do-arroz (*Oryzophagus oryzae*).

A aplicação dos herbicidas em PRE foi realizada dois DAS, utilizando-se pulverizador costal pressurizado com CO₂ munido de quatro pontas 11002 do tipo leque e calibrado para vazão de 125 L ha⁻¹. A aplicação em POS foi efetuada aos 16 dias após a emergência (DAE), quando a maioria das plantas do arroz cultivado encontrava-se no estágio V4, ou seja, com quatro folhas formadas, enquanto as plantas de arroz-vermelho encontravam-se no estágio V5. Para aplicação em POS, utilizou-se o mesmo pulverizador referido, com vazão de 150 L ha⁻¹ e adição de 0,5% v.v. de óleo mineral emulsionável. A área foi inundada um dia após a aplicação do tratamento em POS, com lâmina d'água de aproximadamente 5 cm de altura.

O estande inicial foi determinado aos 15 DAE, através da contagem da população de plantas em um metro linear da linha de semeadura. Neste local, efetuou-se a determinação do número de colmos de arroz aos 25, 37 e 49 DAE.

A avaliação de fitotoxicidade às plantas de arroz foi realizada aos 5, 12, 19, 26, 33, 40, 47 e 77 DAE e do controle de arroz-vermelho foi realizado na pré-colheita; os valores foram estimados visualmente usando uma escala de 0 a 100%, onde 0% corresponde a ausência de fitotoxicidade ou não-controle de arroz-vermelho e 100% correspondem a morte das plantas de arroz ou controle total do arroz-vermelho. Ainda na área demarcada para obtenção do estande inicial, determinou-se a estatura de plantas, o número de panículas por planta e coletou-se 10 panículas para obtenção do número de grãos por panícula, da massa de mil grãos e da esterilidade de espiguetas.

Para avaliar a produtividade de grãos, foi realizada colheita manual da área útil de cada parcela (6,8 m²), quando os grãos atingiram umidade média de 20%. Este material foi submetido à trilha, pesagem e determinação da umidade de colheita dos grãos, sendo esta última corrigida para 13%, para estimativa da produtividade. Separou-se uma amostra de 500 g por parcela, da qual se determinou o teor de impurezas. Posteriormente, as amostras foram submetidas à secagem, com temperatura da massa de grãos de 40^oC. De cada amostra, retirou-se 100 gramas de arroz com casca para fazer o beneficiamento em um processador de amostras (engenho de provas), obtendo-se, então, a porcentagem de grãos inteiros.

As variáveis determinadas foram submetidas à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey (P≥0,05). Os dados de controle de arroz-vermelho foram transformados para $yt = \arcsen \frac{\sqrt{(y+0,5)}}{100}$. Os demais dados em porcentagem foram transformados para $yt = \sqrt{y+1}$.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O controle de arroz-vermelho foi maior nos tratamentos com o herbicida Only (Tabela 1). O controle de 100% foi obtido com a aplicação de $0,7 \text{ L ha}^{-1}$ de Only em PRE, seguida de $0,7 \text{ L ha}^{-1}$ em POS, demonstrando que o tratamento constitui-se em uma alternativa eficiente para o controle da planta daninha. A aplicação seqüencial de imazethapyr como melhor tratamento para o controle do arroz-vermelho também foi verificada por Steele et al. (2002) e Ottis et al. (2003), que apontam o controle total de arroz-vermelho, ou níveis próximos a 100%, com utilização de duas aspersões do produto, uma em PRE e outra em POS. Em contrapartida, o uso de maior dose de Only pode potencializar problemas de resíduos do herbicida no solo, resultando em prejuízos para o arroz semeado no ano seguinte, caso o produtor opte por uma cultivar não-tolerante, ou para o desenvolvimento de outras culturas, tais como azevém, sorgo e milho. Segundo Williams et al. (2002), a utilização de espécies não tolerantes pode ser comprometida caso o intervalo entre a aplicação de imazethapyr e a semeadura da cultura em rotação não for observado. Nos EUA, onde o sistema Clearfield foi desenvolvido, recomenda-se a utilização do herbicida imazethapyr por dois anos consecutivos, deixando o solo em pousio por, no mínimo, um ano. De acordo com os mesmos autores, para o cultivo de arroz não-tolerante, preconiza-se que seja semeado a partir do 18º mês após a aplicação de imazethapyr.

Na dose recomendada de Only, $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ em POS, observou-se controle de arroz-vermelho em 96%, possibilitando a ocorrência de cruzamento entre o arroz-vermelho e a planta de arroz cultivado e comprometendo, assim, o sistema. Gealy et al. (2003) salientam a importância do controle total da planta daninha para evitar o cruzamento, minimizando o aparecimento de biótipos resistentes ao imazethapyr. Para evitar esses escapes de controle, segundo Steele et al. (2002), a aplicação do herbicida em PRE deve ser complementada por outra aplicação em POS. Além disso, outros aspectos do manejo devem ser levados em consideração, como a entrada da água na lavoura o mais cedo possível, para auxiliar no controle da planta daninha e na emergência de novas plantas.

O estande de plantas foi maior na testemunha e no tratamento sem aplicação de herbicida em PRE (Tabela 1). Esses tratamentos não diferenciaram da utilização de $0,7 \text{ L ha}^{-1}$ de Only em PRE, que apresentou estande com mais de $300 \text{ plantas m}^{-2}$, demonstrando que a aplicação seqüencial não promove redução no estande de plantas. Contudo, o aumento da dose para $1,0 \text{ L ha}^{-1}$, aplicado em dose única, em PRE, ocasiona redução de 35% no estande, em relação à testemunha. A população de plantas foi influenciada, também, pelas doses do herbicida Gamit e pela utilização ou não de Permit nas sementes.

Tabela 1. Controle do arroz-vermelho na colheita (CAV), estande de plantas (EP), colmos por planta em dias após a emergência (DAE), estatura de planta na colheita (EPC), número de panículas (NP), número de espiguetas por panícula (NEP), massa de mil grãos (MMG), esterilidade de espiguetas (EE), produtividade de grãos (PG) e grãos inteiros (GI), em resposta a doses e épocas de aplicação do herbicida Only (imazethapyr + imazapic), utilizado na cultivar IRGA 422 CL, e à aplicação de doses altas do herbicida Gamit (clomazone) em sementes tratadas com Pemit®. Santa Maria-RS, 2005.

Tratamentos	Doses L ha ⁻¹		CAV (%) ^{6,7/}	EP (m ²)	Colmos por planta			EPC (cm)	NP (m ⁻²)	NEP	MMG (g)	EE (%) ^{11/}	PG (kg ha ⁻¹)	GI (%) ^{11/}
	PRE ^{1/}	POS ^{2/}			25 DAE ^{10/}	37 DAE ^{10/}	49 DAE ^{10/}							
Testemunha	0	0	0 f ^{8/}	392 a	2,1 ab	2,0 c	1,7 c	67 cd	317 d	53 c	25 c	42 a	2996 f	33 d
Only ^{3/}	0,7	0,7	100 a	319 abc	2,0 ab	3,9 ab	3,5 bc	71 abcd	680 a	69 abc	28 ab	17 b	7868 ab	63 a
Only	1,0	0	90 c	255 c	1,8 ab	3,5 bc	3,1 bc	78 a	457 cd	81 a	29 a	14 b	8411 a	62 a
Only	0	1,0	96 b	362 ab	1,7 ab	2,8 bc	3,2 bc	69 bcd	650 ab	62 bc	28 ab	18 b	7613 b	63 a
Gamit ^{4/} c/ Permit ^{5/}	3,0	0	63 e	292 bc	2,3 a	3,2 bc	2,8 bc	72 abc	502 bc	64 abc	27 abc	33 a	5424 d	53 c
Gamit c/ Permit	6,0	0	74 d	158 d	1,3 b	3,8 b	4,2 b	73 ab	395 cd	77 ab	28 a	35 a	6546 c	57 b
Gamit s/ Permit	3,0	0	---- ^{9/}	71 e	1,3 b	5,4 a	9,3 a	65 d	121 e	72 ab	25 c	34 a	3588 e	33 d
Média			70,5	264	1,8	3,5	4,0	71	446	68	28	28	6055	52
CV (%)			2,16	14,89	26,90	23,06	23,61	4,57	18,07	13,10	5,56	13,09	4,79	1,41

^{1/} Aplicação em pré-emergência; ^{2/} Aplicação em pós-emergência com o arroz-vermelho no estágio V₅, segundo escala de Counce et al. (2000); ^{3/} Mistura formulada de imazethapyr (75 g i.a. L⁻¹) + imazapic (25 g i.a. L⁻¹); ^{4/} Clomazone (500 g i.a. L⁻¹); ^{5/} 0,0-dietil-0-fenil fosforotioato (500 g i.a. kg⁻¹); ^{6/} Controle de arroz-vermelho foi avaliado visualmente em percentagem, onde 0 corresponde a ausência de controle e 100 para controle total; ^{7/} Para a análise, os dados foram transformados para $y_t = \arccos \sqrt{(y+0,5)/100}$; ^{8/} Para cada parâmetro analisado, médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna diferem pelo teste de Tukey (P≥0.05); ^{9/} ---- Tratamento não avaliado em função do grande desenvolvimento das plantas de arroz-vermelho devido ao baixo estande de plantas; ^{10/} Dias após a emergência do arroz; ^{11/} Para a análise, os dados foram transformados para $y_t = \sqrt{y+1}$, (dados apresentados são valores não transformados).

A aplicação de $3,0 \text{ L ha}^{-1}$ do herbicida, com tratamento de sementes, apresentou estande 85% maior que a utilização do dobro da dose em sementes tratadas e 311% maior que a aplicação da mesma dose sobre sementes não-tratadas com Permit. Este tratamento apresentou também maior fitotoxicidade ao arroz irrigado avaliada aos cinco DAE (Figura 1). Observa-se, assim, a necessidade do uso de protetor de sementes quando da aplicação de altas doses de Gamit (Hatzios & Burgos, 2004).

Além do efeito no estande, a fitotoxicidade afetou o número de colmos por planta, aos 25 DAE. Nessa data, os tratamentos com redução no número de colmos, aplicação de $6,0 \text{ L ha}^{-1}$ de Gamit com Permit e $3,0 \text{ L ha}^{-1}$ de Gamit sem protetor, são os que causaram maior intoxicação nas plantas (Figura 1). Em contrapartida, na avaliação realizada aos 37 DAE, a utilização de $3,0 \text{ L ha}^{-1}$ de Gamit sem Permit apresentou o maior número de colmos, indicando que a emissão de perfilhos ocupou o espaço deixado pelo menor estande e evidenciando também a recuperação da fitotoxicidade nas plantas restantes. Yoshida (1981) afirma que as plantas de arroz podem compensar o menor estande através da emissão de um maior número de colmos.

Ainda na avaliação realizada aos 37 DAE, a testemunha apresentou menor número de colmos por planta, provavelmente devido à competição com o arroz-vermelho, que apresenta maior capacidade de perfilhamento que as plantas de arroz (Diarra et al., 1985), competindo por espaço físico com o arroz cultivado (Marchezan, 1994). Na última avaliação, realizada aos 49 DAE, o maior e o menor número de colmos corresponderam aos mesmos tratamentos da segunda avaliação e os demais tratamentos não apresentaram diferença entre si.

As maiores estaturas de plantas, por sua vez, foram observadas nos tratamentos com aplicação do herbicida Only em PRE e Gamit com utilização de Permit nas sementes. Quanto aos tratamentos com Only, verificou-se uma diferença de 9 cm na estatura de plantas entre a utilização de $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ em PRE e a aplicação de $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ em POS, tratamentos que apresentaram, respectivamente, maior e menor estatura. Essa diferença pode ser atribuída à maior fitotoxicidade da aplicação de Only em POS ($1,0 \text{ L ha}^{-1}$), aos 77 DAE (Figura 1). Masson & Webster (2001) também observaram redução visível na altura do arroz como resultado da fitotoxicidade provocada pelos herbicidas do grupo químico das imidazolinonas. Dentre todos os tratamentos, as menores estaturas de plantas foram obtidas na aplicação de $3,0 \text{ L ha}^{-1}$ de Gamit sem Permit e na testemunha, sendo ambas as reduções atribuídas à competição com o arroz-vermelho e, no caso do tratamento sem utilização de protetor, também em função da alta fitotoxicidade ocasionada pela aplicação do Gamit (Figura 1).

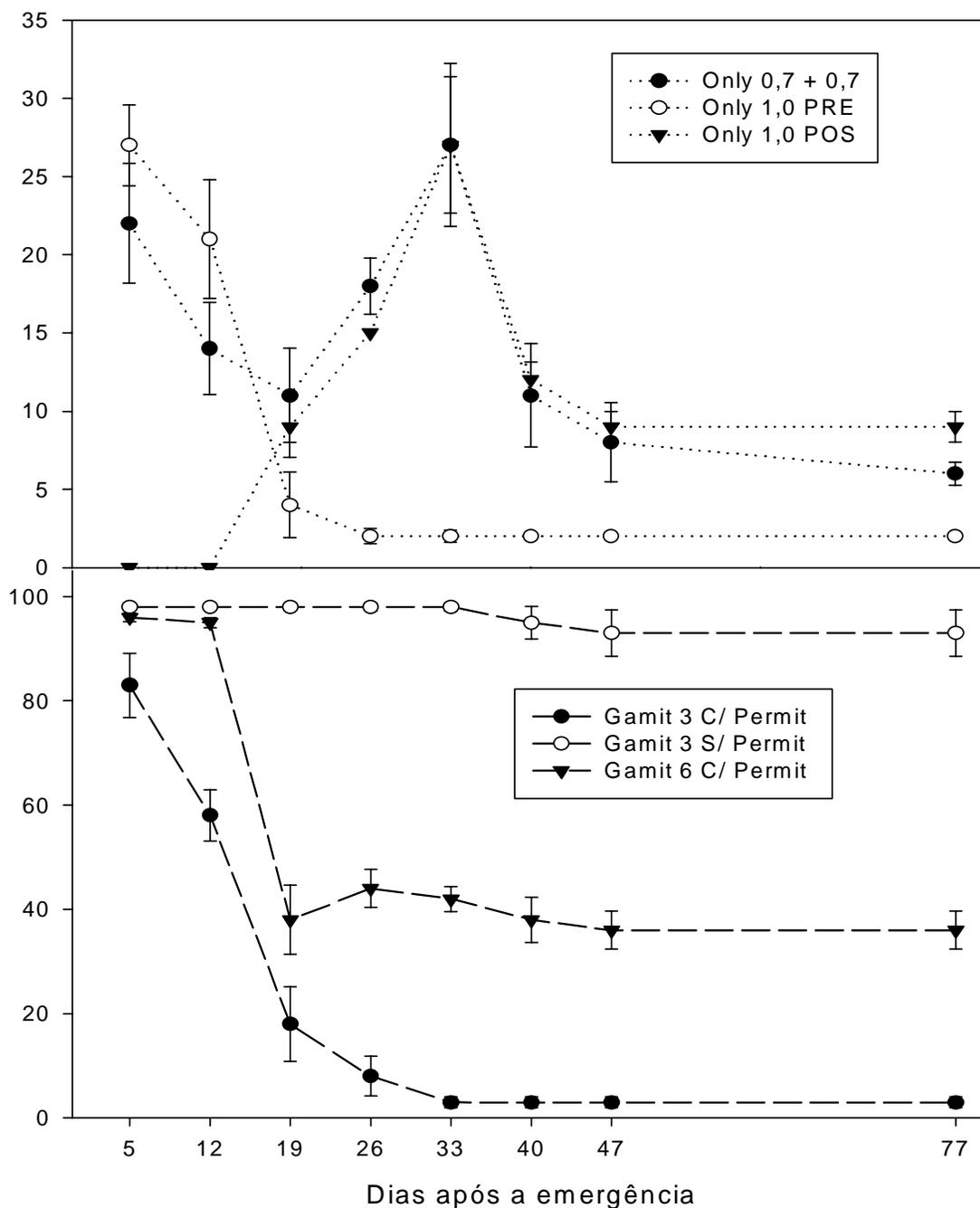


Figura 1. Fitotoxicidade dos tratamentos para o controle de arroz-vermelho sobre a cultivar IRGA 422CL. Legenda: PRE = Aplicação em pré-emergência; POS = Aplicação em pós-emergência, (Only 0,7 + 0,7) = Only 0,7 L ha⁻¹ PRE + 0,7 L ha⁻¹ POS; (Only 1,0 PRE) = Only 1,0 L ha⁻¹ PRE; (Only 1,0 POS) = Only 1,0 L ha⁻¹ POS; (Gamit 3 C/ Permit) = Gamit 3,0 L ha⁻¹ com Permit; (Gamit 3 S/ Permit) = Gamit 3,0 L ha⁻¹ PRE sem Permit; (Gamit 6 C/ Permit) = Gamit 6,0 L ha⁻¹ PRE com Permit; As barras verticais representam 95% de intervalo de confiança. Santa Maria, RS. 2006.

A avaliação dos componentes da produção de grãos demonstrou que o número de panículas m^{-2} esteve diretamente relacionado ao estande de plantas. Os tratamentos com maior número de panículas foram a aplicação de $0,7 L ha^{-1}$ de Only em PRE, seguida de $0,7 L ha^{-1}$ em POS, e utilização de $1,0 L ha^{-1}$ de Only em POS, que obtiveram também as maiores populações de plantas. Essa relação entre estande e número de panículas só não foi observada na testemunha, onde a competição por espaço físico com o arroz-vermelho prejudicou o desenvolvimento do arroz. Balbinot Jr. et al. (2003) também citam a relação entre o controle da planta daninha e o número de panículas m^{-2} , afirmando que menores números de colmos por planta de arroz são obtidos quando estas se encontram em competição com o arroz-vermelho, resultando em menor número de panículas m^{-2} .

Para o número de espiguetas por panícula, observa-se que a aplicação dos tratamentos em PRE, tanto para Only quanto para Gamit, não teve efeito na variável. Já a aplicação da dose recomendada, $1,0 L ha^{-1}$ de Only em POS, diminuiu o número de espiguetas. A testemunha, por sua vez, foi o tratamento que obteve o menor número de espiguetas por panícula, o que pode ter decorrido do sombreamento das plantas de arroz-vermelho sobre as plantas de arroz cultivado, relação já observada por Balbinot Jr. et al. (2003).

Os tratamentos afetaram também a esterilidade de espiguetas e a porcentagem de grãos inteiros do arroz; tratamentos com menos de 90% de controle da planta daninha apresentaram maior esterilidade de espiguetas e menor porcentagem de grãos inteiros. Neste contexto, os tratamentos com Only apresentaram maior quantidade de grãos inteiros, por terem obtido maior grau de controle de arroz-vermelho. Já os tratamentos com Gamit ocasionaram o dobro de espiguetas estéreis em relação às aplicações de Only, fator fundamental para a menor produtividade de grãos encontrada naqueles tratamentos. Quanto à massa de mil grãos, a testemunha e a utilização de $3,0 L ha^{-1}$ de Gamit sem Permit, tratamentos com maior infestação de arroz-vermelho, apresentaram também menor massa. O aumento na esterilidade de espiguetas, assim como a diminuição da massa de mil grãos, podem ser explicados pela interceptação da luz ocasionada pela maior estatura das plantas de arroz-vermelho, prejudicando o enchimento dos grãos de arroz (Balbinot Jr. et al, 2003).

Os resultados obtidos no experimento demonstram também que a produtividade de grãos foi maior com a aplicação de $1,0 L ha^{-1}$ de Only em PRE, tratamento que resultou em $8411 kg ha^{-1}$, apesar da redução do estande e do número de panículas por m^{-2} , decorrentes da aplicação do herbicida. A utilização seqüencial de Only produziu $7868 kg ha^{-1}$, não diferindo significativamente da maior produtividade. Já a aplicação do herbicida somente em POS, na dose de $1,0 L ha^{-1}$, apresentou menor produtividade em relação à aplicação da mesma dose

somente em PRE, o que pode ter decorrido da maior fitotoxicidade no arroz aos 77 DAE (Figura 1) e conseqüente diminuição do número de espiguetas por panículas. Esse dado confirma resultados obtidos por Steele et al. (2002), que indicam redução na produtividade do arroz com o acréscimo das taxas de imazethapyr em POS de 52 para 70 g i.a. ha⁻¹.

A produtividade de grãos foi menor nos tratamentos com Gamit, em comparação à utilização de Only. Dentre as aplicações de Gamit, verificou-se maior produtividade no tratamento em que foi utilizado Permit, o que pode ser explicado pelo maior estande e estatura de plantas, maior número de panículas m⁻² e maior massa de mil de grãos, proporcionados pela aplicação do protetor de sementes. A alta competição do arroz-vermelho com o arroz cultivado afetou negativamente a produtividade de grãos da testemunha, tratamento que obteve redução de 64% na produtividade em relação à maior produtividade de grãos obtida.

Em geral, a fitotoxicidade no arroz foi maior na aplicação de Gamit, em comparação com a utilização de Only (Figura 1). Os resultados encontrados demonstram que não houve relação direta entre a fitotoxicidade e o controle de arroz-vermelho, pois mesmo resultando em maior fitotoxicidade às plantas de arroz, os tratamentos com o herbicida Gamit apresentaram menor controle da planta daninha. Quanto à aplicação de Gamit, o tratamento sem a utilização de Permit apresentou a maior fitotoxicidade, aos 77 DAE. Nessa avaliação, houve diferença ainda entre as doses utilizadas em PRE, sendo que a aplicação de 3,0 L ha⁻¹ de Gamit com Permit obteve menor fitotoxicidade que a aplicação do dobro dessa dose. A recuperação da fitotoxicidade das plantas, para ambas as doses, ocorreu aos 19 DAE.

Já a fitotoxicidade do Only atingiu valores próximos a 25% em todas as doses e épocas de aplicação do herbicida. Essa alta fitotoxicidade pode estar relacionada à baixa temperatura no período inicial de desenvolvimento da cultura pois, segundo Malefy & Quakenbush (1991), o metabolismo parece ser um fator importante na tolerância do arroz a imidazolinonas e a temperatura influencia na taxa de metabolismo. Também Masson & Webster (2001) apontam temperaturas mais baixas como responsáveis pela diferença na fitotoxicidade do arroz em dois anos consecutivos. Segundo os autores, uma menor injúria foi encontrada sob o período de temperaturas mais altas.

Em relação aos tratamentos com Only, as doses de 0,7 L ha⁻¹ e 1,0 L ha⁻¹, em PRE, proporcionaram maior fitotoxicidade às plantas aos 5 DAE, alcançando a recuperação aos 19 DAE. Já para as aplicações em POS, nas doses de 0,7 L ha⁻¹ e 1,0 L ha⁻¹, observou-se maior fitotoxicidade aos 33 DAE, ou seja, 17 dias após a aplicação do produto, tendo a planta se recuperado visualmente da intoxicação aos 40 DAE (Figura 1). Tais resultados evidenciam que, a partir da maior fitotoxicidade, a recuperação mais rápida da planta se dá nas aplicações

em POS, possivelmente em função da planta estar em estágio de maior desenvolvimento, tornando seu metabolismo mais eficiente na desintoxicação do herbicida.

Quanto às épocas e doses de aplicação, o experimento demonstra que, aos 77 DAE, a menor fitotoxicidade foi obtida com a utilização do herbicida Only somente em PRE, seguida da aplicação seqüencial (PRE+POS). Já a maior fitotoxicidade foi encontrada na aplicação somente em POS. Hackworth et al. (1998) e Steele et al. (2000) também afirmam que a injúria causada pelo imazethapyr é mais severa com a aplicação em POS, se comparado à aplicação em PRE. Em relação à dose utilizada, Steele et al. (1999) relatam ainda aumento da fitotoxicidade no arroz tolerante a imidazolinonas com o aumento da dose de 70 para 175 g i.a. ha⁻¹ em POS.

2.4 CONCLUSÕES

Para o controle do arroz-vermelho na lavoura de arroz irrigado, a utilização do Sistema Clearfield é mais eficiente que a aplicação de Gamit associado ao protetor de sementes. A aplicação de 0,7 L ha⁻¹ de Only em PRE, seguida da mesma dose em POS, apresenta controle de 100% da planta daninha, não prejudica o estande de plantas e não se diferencia da maior produtividade de grãos obtida no ensaio. Quanto ao tratamento referência do produto, 1,0 L ha⁻¹ de Only em POS, observa-se que não houve controle total do arroz-vermelho, possibilitando escape da planta daninha, o que pode resultar em seu cruzamento com o arroz cultivado, gerando biótipos de arroz-vermelho tolerantes ao herbicida.

2.5 LITERATURA CITADA

AVILA, L. A. et al. Interferência do arroz-vermelho sobre o arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 23., 1999, Pelotas. **Anais**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p.594-596.

BALBINOT Jr., A.A. et al. Competitividade de cultivares de arroz irrigado com cultivar simuladora de arroz-vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.1, p.53-59, 2003.

COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A.J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v.40, p.436-443, 2000.

DIARRA, A.; SMITH JUNIOR, R.J.; TALBERT, R. E. Growth and morphological characteristics of red rice (*Oryza sativa*) biotypes. **Weed Science**, Champaign, v. 33, n.3, p. 310-314, 1985.

- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília: Embrapa-SPI, 1999. p. 412.
- GEALY, D. R.; MITTEN, D. H.; RUTGER, J. N. Gene flow between red rice (*Oryza sativa*) and herbicide-resistant rice (*O. sativa*): implications for weed management. **Weed Technology**, v.17, n.3, p.627-645, 2003.
- HACKWORTH, H. M.; SAROKIN, L. P.; WHITE, R. H. 1997 field evaluation of imidazolinone tolerant rice. Proc. South. **Weed Science**. Soc. 51:221. 1998.
- HATZIOS, K. K.; BURGOS, N. Metabolism-based herbicide resistance: regulation by safeners. **Weed Science**, v. 52, n.3, p.454-467, 2004.
- MALEFYT, T.; QUAKENBUSH, L. Influence of environmental factors on the biological activity of the imidazolinone herbicides. In: SHANER, D. L. & O'CONNOR, S. L. eds. The Imidazolinone Herbicides. **Boca Raton, FL: CRC Press**. pp.104-127. 1991.
- MARCHEZAN, E. Arroz-vermelho: caracterização, prejuízos e controle. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.24, n.2, p.415-421, 1994.
- MARCHEZAN, E. et al. Controle do arroz-vermelho. In: GOMES, A. S; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de (ed.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília/DF: Embrapa Informação, 2004. p.547-577.
- MASSON, J. A. & WEBSTER, E. P. Use of Imazethapyr in Water-Seeded Imidazolinone-Tolerant Rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**. v.15, p.103-106. 2001.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Disponível em: http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 21 de outubro de 2006.
- NOLDIN, J.A.; CHANDLER, J.M.; MCCAULEY, G.N. Red rice (*Oryza sativa*) biology. I. Characterization of red rice ecotypes. **Weed Technology**, v.13, p.12-18, 1999.
- OTTIS, B.V.; CHANDLER, J.M.; MCCAULEY, G.N. Imazethapyr application methods and sequences for imidazolinone-tolerant rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, v.17, p.526-533, 2003.
- SOUZA, P. R.; FISCHER, M. M. Arroz-vermelho: danos causados à lavoura gaúcha. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 39, nº 368, p. 19-20, 1986.
- STEELE, G.L.; CHANDLER, J. M.; MCCAULEY, G. N. Control of red rice (*Oryza sativa*) in imidazolinone-tolerant rice (*O. sativa*). **Weed Technology**, v.16, p.627-630, 2002.
- STEELE, G. et al. Red rice (*Oryza sativa* L.) control with varying rates and application timings of imazethapyr. Proc. South. **Weed Science**. Soc. 53:19. 2000.
- STEELE, G. L.; CHANDLER, J. M.; MCCAULEY, G. N. Evaluation of imazethapyr rates and application times on red rice (*Oryza sativa*) control in imidazolinone tolerant rice. Proc. South. **Weed Science**. Soc. 52:237. 1999.
- YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños, Int. Rice Res. Inst., 269p, 1981.

WILLIAMS, B.J. et al. Weed management systems for Clearfield Rice. **Louisiana Agriculture**, v.45, p.16-17, 2002.

ZHANG, W. Differential Tolerance of Rice (*Oryza sativa*) Varieties to Clomazone. **Weed Technology**, v.18, 2004.

3. PERSISTÊNCIA DOS HERBICIDAS IMAZETHAPYR E CLOMAZONE NA LÂMINA DE ÁGUA DA LAVOURA DO ARROZ IRRIGADO

RESUMO

Os herbicidas, agroquímicos altamente utilizados na lavoura orizícola, podem persistir no solo ou ser carregados para fora da área, contaminando os mananciais hídricos à jusante da lavoura. Em vista disso, o presente trabalho visa estimar a persistência dos herbicidas imazethapyr e clomazone na lâmina de água da lavoura arrozeira. Para tanto, constituiu-se um ensaio com diferentes doses e épocas de aplicação dos herbicidas Only (imazethapyr 75 g i.a. L⁻¹ + imazapic 25 g i.a. L⁻¹) e Gamit (clomazone 500 g i.a. L⁻¹). Os resultados obtidos no experimento demonstram que as concentrações iniciais de clomazone foram maiores que as de imazethapyr na lâmina da água. No entanto, o período de detecção dos herbicidas na água de irrigação foi mais longo para o imazethapyr que para o clomazone. A meia-vida do imazethapyr na lâmina da água foi de 9,8 e a do clomazone foi de 25 dias.

Palavras-chave: imazethapyr, clomazone, residual na água.

IMAZETHAPYR AND CLOMAZONE PERSISTENCE IN RICE PADDY WATER

ABSTRACT

Herbicides, agrochemicals heavily used in rice fields, can persist in soil and be carried away from the application site and contaminate the environment. An experiment was conducted to estimate imazethapyr and clomazone persistence in rice paddy water. The treatments included, application of Only (imazethapyr 75 g i.a. L⁻¹ + imazapic 25 g i.a. L⁻¹) and Gamit (clomazone 500 g i.a. L⁻¹). The initial clomazone concentration was higher than imazethapyr, but the period of herbicide detection in water was longer for imazethapyr. Imazethapyr half-life in paddy water was 9,8 days and clomazone half-life was 25 days.

Key words: imazethapyr, clomazone, herbicide residue.

3.1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural renovável de reservas limitadas e demanda crescente. A agricultura demanda grande consumo de água, sendo responsável pela extração anual de 69% da água no mundo (FAO, 2003). Além dessa alta demanda, a agricultura ainda oferece riscos de contaminação dos mananciais hídricos superficiais e subterrâneos devido ao uso de agroquímicos nas lavouras. Nos Estados Unidos, estima-se que de 50 a 60% da carga poluente de lagos e rios provenha de práticas agrícolas (Gburek & Sharpley, 1997).

A lavoura de arroz irrigado é um dos sistemas de produção que mais demanda por água. No Rio Grande do Sul, são utilizados anualmente cerca de 1 milhão de hectare para a cultura do arroz, sendo usados em média 5.374 a 6.422 m³ de água por hectare de arroz (Machado et al. 2006). Além disso, para maior produtividade da lavoura, o uso de agroquímicos têm sido largamente empregado, ocasionando especulações acerca da responsabilidade da lavoura orizícola na contaminação dos mananciais hídricos.

Amplamente utilizados na lavoura de arroz, os herbicidas, quando na água, espalham-se por todo o meio líquido, o que torna difícil conter sua dispersão e inativar sua ação sobre outros organismos. Esses produtos se movimentam no ambiente por escoamento superficial, lixiviação, translocação pelas plantas e volatilização, sendo então degradados através de processos químicos, físicos e biológicos. Os processos químicos ocorrem principalmente no ar e na água (por oxidação, redução, hidrólise e fotólise). Já os processos biológicos se dão preferencialmente no solo, através de organismos vivos que promovem biodegradação. Fatores como temperatura, umidade, tipo de solo, presença de matéria orgânica e modo de aplicação do herbicida podem influenciar na dissipação dos herbicidas no ambiente. Além disso, Gebler & Spadotto (2004) relatam que as propriedades intrínsecas do produto (estrutura molecular, princípio ativo e características físico-químicas) são fundamentais para o processo de dissipação dos herbicidas na atmosfera, no solo, na água e na biota.

O herbicida Only, que é a mistura formulada de imazethapyr {2-[4,5-dihydro-4-methyl-4-(1-methylethyl)-5-oxo-1*H*-imidazol-2-yl]-5-ethyl-3-pyridinecarboxylic acid} e imazapic {2-[4,5-dihydro-4-methyl-4-(1-methylethyl)-5-oxo-1*H*-imidazol-2-yl]-5-methyl-3-pyridine-carboxylic acid} (75 g i.a. L⁻¹ e 25 g i.a. L⁻¹, respectivamente) é um dos herbicidas mais utilizados na lavoura orizícola gaúcha, para o controle do arroz-vermelho. Essas duas moléculas herbicidas pertencem ao grupo químico das imidazolinonas e são caracterizados pela eficácia em baixas doses, pelo largo espectro de controle de plantas daninhas e pela longa persistência no solo (Shaw & Wixson, 1991; Loux & Reese, 1993). Estudos indicam que a

persistência desses herbicidas no solo é influenciada pelas propriedades do solo, como o pH (Loux & Reese, 1992), a umidade (Baughman & Shaw, 1996) e o teor de matéria orgânica (Stougaard et al., 1990). Os herbicidas do grupo químico das imidazolinonas apresentam como principais mecanismos de dissipação a degradação microbiana (Goetz et al., 1990) e a decomposição fotolítica, especialmente quando expostos à luz ultravioleta (Mallipudi et al., 1991). Tanto o imazethapyr, quanto o imazapic, sofrem limitada biodegradação sob condições anaeróbicas (Vencill, 2002).

O herbicida clomazone {2-[(2-clorobenzil)]-4,4-dimetil-1,2-oxazolidin-3-ona}, outro agroquímico utilizado em lavouras de arroz, tem sua atividade influenciada fortemente por fatores do solo, incluindo a matéria orgânica e a porcentagem de argila (Loux & Slife 1989). A meia-vida do clomazone no solo varia de 5 a 117 dias, dependendo do tipo do solo e das circunstâncias ambientais (Curran et al. 1992; Kirksey et al. 1996; Mervosh et al. 1995). Vencill (2002) relata que a persistência do clomazone é menor em solos arenosos que em solos argilosos. A degradação do clomazone é mais rápida em condições anaeróbicas que em condições aeróbicas (Vencill, 2002); em solo aeróbico, a meia-vida do herbicida varia de 90 a 276 dias e, em solo anaeróbico, sua meia-vida média é de 60 dias (California Department of Pesticides Regulation, 2003).

Em grande parte das lavouras de arroz, a aplicação dos herbicidas é seguida pela inundação da área e, dependendo do manejo de água adotado e da precipitação pluvial, os herbicidas podem persistir por maior tempo no ambiente e podem ser carregados para fora da área, contaminando os mananciais hídricos à jusante da lavoura. Logo, são necessários estudos que avaliem o destino dos herbicidas aplicados na lavoura de arroz. Em vista disso, o presente trabalho visa estimar a persistência dos herbicidas imazethapyr e clomazone na lâmina de água da lavoura arrozeira.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2004/05, no campo experimental do Departamento de Fitotecnia da UFSM. O solo é classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico, com as seguintes características: $\text{pH}_{\text{água}}(1:1) = 4,5$; $\text{P} = 6,9 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{K} = 55 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{M.O.} = 1,2\%$; $\text{Ca} = 2,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Mg} = 1,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Al} = 1,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; e argila = 17%. O clima é classificado como subtropical úmido, classe 'Cfa', sendo que as temperaturas mínimas, máximas e médias, a insolação e a precipitação verificadas durante o período de ensaio seguem descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Temperaturas mínimas, máximas e médias, insolação e precipitação pluvial, por decêndio, ocorridas durante o período de detecção dos herbicidas Only e Gamit na lâmina d'água do experimento. Santa Maria, RS. 2006.

Mês	Decêndios	Temperatura (°C)			Insolação (horas)	Precipitação (mm)
		Máxima	Mínima	Média		
Outubro	01 – 10	25,5	10,9	18,2	10,1	4,4
	11 – 20	24,7	13,2	19,0	7,2	94,3
	21 – 31	26,8	12,3	19,6	8,6	21,0
Novembro	01 – 10	25,9	14,7	20,3	5,2	123,6
	11 – 20	25,7	14,9	20,3	8,5	24,1
	21 – 30	27,7	15,4	21,6	6,2	0,0
Dezembro	01 – 10	30,5	19,7	25,1	6,5	29,0
	11 – 20	30,2	16,7	23,5	9,7	32,8
	21 – 31	30,5	17,0	23,7	10,7	0,4
Janeiro	01 – 10	21,8	34,9	28,3	8,0	14,1
	11 – 20	19,2	33,2	26,2	10,4	35,7
	21 – 31	18,6	32,4	25,5	8,6	0,0

*Dados coletados na Estação Meteorológica da Universidade Federal de Santa Maria/RS/Brasil.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, contendo 4 tratamentos e 5 repetições, com unidades experimentais medindo 5,0 x 4,0 m (20,0 m²). Os tratamentos foram constituídos de doses e épocas de aplicação dos herbicidas Only (imazethapyr 75 g i.a. L⁻¹ + imazapic 25 g i.a. L⁻¹) e Gamit (clomazone 500 g i.a. L⁻¹): aplicação de 52,5 g ha⁻¹ de imazethapyr em pré-emergência (PRE), seguido de 52,5 g ha⁻¹ de imazethapyr em pós-emergência (POS); aplicação de 75 g ha⁻¹ de imazethapyr em PRE, sem aplicação em POS; aplicação de 75 g ha⁻¹ de imazethapyr em POS, sem aplicação em PRE e aplicação de 1500 g ha⁻¹ de clomazone em PRE.

O preparo do solo foi realizado no sistema convencional, consistindo em duas gradagens pesadas e três gradagens leves para nivelamento do terreno. A cultivar IRGA 422 CL foi semeada em linhas espaçadas a 0,17 m, em 28/10/04, na densidade de 120 kg de sementes ha⁻¹, sendo que a emergência do arroz ocorreu aos 12 dias após a semeadura (DAS). Juntamente à semeadura do arroz, foi realizada a adubação de base aplicando-se 7, 70 e 105 kg ha⁻¹ de Nitrogênio (N), P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Para a adubação de cobertura, foram utilizados 120 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia, aplicando-se a metade da dose no início do

perfilhamento (V4) e o restante na iniciação da panícula (R0), segundo escala de Counce et al. (2000). Juntamente com a segunda aplicação de N em cobertura, foram utilizados 500 g i.a. ha⁻¹ do inseticida carbofuran, para o controle de larvas do gorgulho-aquático-do-arroz (*Oryzophagus oryzae*).

A aplicação do herbicida em PRE foi efetuada dois DAS, utilizando-se pulverizador costal pressurizado com CO₂ munido de pontas 11002 do tipo leque, calibrado para aplicar uma vazão de 125 L ha⁻¹. A aplicação em POS foi efetuada aos 16 dias após a emergência (DAE), quando a maioria das plantas do arroz cultivado encontrava-se no estágio V4, ou seja, com quatro folhas formadas, enquanto as plantas de arroz-vermelho encontravam-se no estágio V5. Para aplicação em POS, utilizou-se o mesmo pulverizador acima referido, com vazão de 150 L ha⁻¹ e adição de 0,5% vv de óleo mineral emulsionável. A inundação da área foi realizada um dia após a aplicação do tratamento em POS, com lâmina d'água de 10 cm de altura, aproximadamente. Em cada parcela havia entrada e saída de água individual, como forma de evitar a contaminação entre os tratamentos, sendo a irrigação mantida durante todo o ciclo da cultura.

Durante o período entre a aplicação dos herbicidas em PRE e a entrada d'água na lavoura ocorreram precipitações cujos volumes de água não demandaram de drenagem nas parcelas. No entanto, aos 11 dias após a aplicação dos tratamentos em PRE, devido à precipitação de 63 mm, realizou-se coleta d'água, para detecção dos resíduos de herbicidas na água da chuva, e posterior drenagem das parcelas. Foram realizadas ainda coletas de água, em cada parcela, no 1º, 2º, 3º, 5º, 7º, 10º, 14º, 21º, 28º, 35º, 42º, 49º, 56º e 62º dia após a inundação do ensaio, sendo que o período entre a aplicação dos tratamentos em PRE e a entrada de água foi de 26 dias. Depois de coletadas, as amostras foram armazenadas em frasco de vidro âmbar, acidificadas com H₃PO₄ 1:1 (v.v.⁻¹) e, sob refrigeração, transportadas para a análise química no Laboratório de Análise de Resíduos de Pesticidas (LARP) do Departamento de Química da UFSM para análise seguindo metodologia descrita Zanella et al. (2003). Alíquota de 250 mL de amostra foi acidificada e pré-concentrada em cartuchos contendo 200 mg de C₁₈, sendo a eluição executada por duas vezes com 500 µL de metanol. A detecção e a quantificação dos herbicidas foram realizadas utilizando-se HPLC-UV, a 220 nm, munidas de uma coluna Bondesil C₁₈ (250×4,6 mm i.d; 5 µm), com fase móvel constituída de metanol e água (60:40 vv⁻¹), ajustada a pH 4,0 com ácido fosfórico, com vazão de 0,8 mL min⁻¹. O logaritmo natural da concentração restante do imazethapyr [ln (C/Co)] foi calculado e, através da plotagem deste valor com o tempo em horas, foi obtida a constante da taxa de dissipação dos herbicidas na água (k_p). Os valores da meia-vida dos herbicidas foram

calculados usando a equação:

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k_p}$$

sendo k_p o valor absoluto da inclinação e a constante a taxa de dissipação dos herbicidas na água. As constantes da taxa de dissipação dos herbicidas foram submetidas a análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ($P \geq 0,05$).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações iniciais de clomazone na água de irrigação foram maiores que as concentrações de imazethapyr, visto que a dose inicial de clomazone foi maior. No entanto, o período de detecção dos herbicidas na água de irrigação foi maior para o imazethapyr que para o clomazone. A maior persistência de imazethapyr foi observada com a aplicação de 52,5 g ha⁻¹ de imazethapyr, em PRE + POS, com níveis detectáveis em água até 27 dias após a entrada d'água no experimento (Tabela 3).

Tabela 3. Concentração dos herbicidas imazethapyr e clomazone na água de irrigação do arroz, período de detecção (PD), constante da taxa de dissipação (k) e meia-vida dos herbicidas na água ($t_{1/2}$). Santa Maria, RS. 2006.

Tratamentos	Doses g ha ⁻¹		Concentração (µg L ⁻¹)				PD (dias)	k	$t_{1/2}$ (dias)
	PRE ^{1/}	POS ^{2/}	1º AC ^{3/}	1º EA ^{4/}	7º dia ^{5/}	Final ^{6/}			
imazethapyr ^{7/}	52,5	52,5	6,12	11,4	8,44	0,6	27	0,1126 a	6,2
imazethapyr	75	0	15,1	3,68	4,86	1,7	13	0,0739 b	9,8
imazethapyr	0	75	0	18,9	12,1	1,6	20	0,1142 a	6,1
clomazone ^{8/}	1500	0	87,48	16,4	18,8	15	13	0,0329 c	25,1

^{1/} Aplicação em pré-emergência; ^{2/} aplicação em pós-emergência; ^{7/} Imazethapyr (75 g i.a. L⁻¹); ^{8/} clomazone (500 g i.a. L⁻¹); ^{3/} AC = amostra da coleta da água realizada após forte chuva, o limite de quantificação do procedimento analítico após a etapa de pré-concentração foi de 0,1 µg.L⁻¹ para o clomazone e 0,5 µg.L⁻¹ imazethapyr, atendendo as exigências da legislação. ^{4/} EA = coleta realizada no 1º dia de entrada d'água no ensaio; ^{5/} coleta realizada no 7º dia após a entrada d'água; ^{6/} concentração final do herbicida em sua última coleta com resíduo.

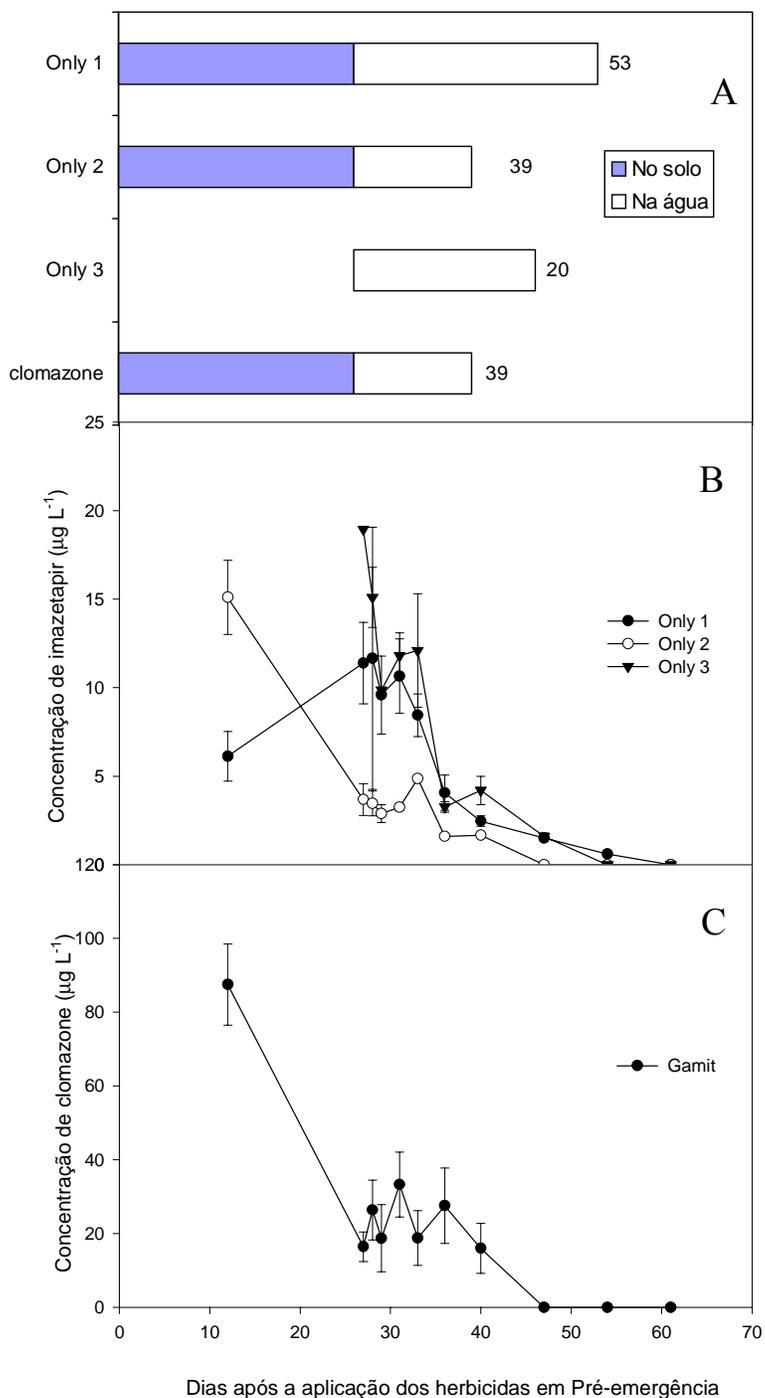
Resultados similares foram encontrados por Marcolin et al. (2003), que verificaram concentração detectável de imazethapyr na lâmina d'água até os 30 dias após sua aplicação. Já a detecção de clomazone foi observada até 13 dias após a entrada da água, comportamento similar à aplicação somente em PRE de imazethapyr, na dose de 75 g ha⁻¹. Machado et al. (2003) encontraram persistência de 28 dias do clomazone na lâmina de água, para condições edafoclimáticas do RS.

A primeira coleta da água do ensaio para avaliação foi realizada aos 12 dias após a aplicação dos herbicidas em PRE, depois da ocorrência de uma precipitação de 63 mm,

correspondente a 50% do volume de chuvas do primeiro decênio de novembro (Tabela 2). Nessa coleta, detectou-se 6 e 15 $\mu\text{g L}^{-1}$ do herbicida imazethapyr, aplicado em PRE, nas doses de 52,5 e 75 g ha^{-1} , respectivamente, e 87 $\mu\text{g L}^{-1}$ do herbicida clomazone (Tabela 3). Tais resultados permitem inferir que a aplicação dos herbicidas em PRE, com a ocorrência de forte precipitação, pode ocasionar extravasamento de resíduos dos herbicidas para mananciais hídricos próximos à lavoura.

A concentração do herbicida decresceu, tanto para o imazethapyr quanto para o clomazone, em função do tempo (Figuras 2B e 2C). Esse decréscimo, no período que antecedeu a entrada d'água no ensaio, pode ser explicado pela existência de condições climáticas favoráveis à degradação dos herbicidas, tais como precipitações, insolação e temperatura (Tabela 2). Durante o período entre a aplicação do imazethapyr em PRE e a entrada d'água, a média de temperatura ficou em 20°C (Tabela 2) e as precipitações ocorridas proporcionaram umidade ao solo, fatores que podem ter favorecido a degradação do imazethapyr através de microorganismos, que se desenvolvem sob temperaturas de 20 a 30°C e alta umidade no solo. Também o clomazone sofre degradação microbiana em solos úmidos e sob altas temperaturas (Ministério do Ambiente da Colômbia, 2005). As características do solo podem ter influenciado também a degradação do clomazone e do imazethapyr, no período entre a aplicação do herbicida em PRE e a entrada d'água no experimento (Figura 2A). Em solo arenoso, a degradação do clomazone é mais rápida, devido a sua disponibilidade na solução do solo. Cumming & Doyle (2002), avaliando quatro tipos diferentes de solo, encontraram maior persistência do clomazone em solo com mais argila. Valores baixos de percentagem de argila (arenoso) e matéria orgânica também contribuem na dissipação do imazethapyr, pois o torna menos persistente no solo e mais disponível na solução do solo (Avila, 2005). Ainda segundo o mesmo autor, maior quantidade de água na solução do solo facilita a diluição do herbicida e sua mobilidade, diminuindo, com isso, sua concentração.

Em contrapartida, a elevada solubilidade do imazethapyr, com as precipitações do período, pode ter facilitado sua percolação, proporcionando concentrações mais altas do herbicida em camadas mais profundas do solo, onde a degradação microbiana não é tão eficiente. Estudos indicam que o imazethapyr, em solos não-revolvidos, move-se na coluna do solo até 30 cm (O'Dell et al. 1992). O imazethapyr é adsorvido fortemente em pH baixo (Che et al., 1992; Gennari et al., 1998), tornando-se menos móvel e mais persistente no solo (Loux & Reese, 1993). A sorção tem, portanto, forte impacto na distribuição, biodisponibilidade e persistência de herbicidas no ambiente.



Legenda: (Only 1) = imazethapyr 52,5 g ha⁻¹ PRE + 52,5 g ha⁻¹ POS; (Only 2) = imazethapyr 75 g ha⁻¹ PRE; (Only 3) = imazethapyr 75 g ha⁻¹ POS. (Gamit) = Clomazone 3,0 L ha⁻¹ em PRE.

Figura 2. A: Presença dos herbicidas imazethapyr e clomazone no solo e período de detecção desses herbicidas na água de irrigação do arroz em função da época de aplicação. B: Período de detecção do herbicida imazethapyr na água de irrigação do arroz em função da época de aplicação. C: Período de detecção do herbicida clomazone na água de irrigação do arroz. As barras verticais representam 95% de intervalo de confiança. Santa Maria, RS. 2006.

Para o clomazone, a volatilidade é outro fator que contribui em sua dissipação. Além de possuir elevada pressão de vapor, o que proporciona alta volatilidade, a umidade do solo, decorrente das precipitações no período, pode ter acelerado as perdas do herbicida por volatilização. Thelen et al. (1988) encontraram perdas de clomazone por volatilização com o aumento da umidade do solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Cumming & Doyle (2002), que citam as perdas por vapor, em local de elevada umidade no solo.

Os fatores acima expostos (precipitações, características do solo e propriedades físico-químicas dos herbicidas) podem ter ocasionado a redução da concentração do imazethapyr e do clomazone encontrada na coleta realizada logo após a entrada d'água no experimento, que ocorreu 26 dias após a aplicação dos herbicidas em PRE. Com a inundação da área, outros fatores influenciaram na degradação dos herbicidas, até estes alcançarem sua concentração mínima detectável na água (Tabela 3). O herbicida que apresentou maior meia-vida na água foi o clomazone. Estudos demonstram que, dissolvido em água, tal herbicida não degrada facilmente sob a luz, apresentando meia-vida de 30 dias (California Department of Pesticides Regulation, 2003). Logo, a decomposição do clomazone na água pode ser explicada pelo fato de o herbicida ser rapidamente degradado em condições anaeróbicas. O Departamento de Pesticidas da Califórnia (2003) relata forte persistência do clomazone no solo, sob condições aeróbicas; contudo, sob condições anaeróbicas, a degradação do clomazone é acelerada.

Quanto ao herbicida imazethapyr, sua aplicação em PRE apresentou a maior meia-vida, entre as doses e épocas de sua aplicação. Para o imazethapyr, a fotólise é um dos principais mecanismos de sua dissipação em condições anaeróbicas, já que a degradação microbiana do herbicida, nessas condições, é quase insignificante (Vencill, 2002). A fotólise, por sua vez, é mais eficiente sob intensa insolação, condição satisfeita no período de detecção do herbicida na lâmina de água, devido à ocorrência de poucas precipitações (Tabela 2). Logo, a menor meia-vida do imazethapyr na aplicação somente em POS pode ter decorrido do fato de o herbicida ter disposto de menor tempo para reações com o solo antes da entrada d'água, o que diminui a adsorção dele ao solo, facilitando sua fotodecomposição em água. Avila (2005) afirma ainda que, quando aplicado em PRE, o herbicida dispõe de mais tempo para a sorção ao solo, diminuindo sua disponibilidade na solução do solo. Assim, segundo o autor, a adsorção ao solo pode afetar a fotodecomposição do imazethapyr aplicado em PRE. Em contrapartida, estudos supõem que, após algumas semanas de alagamento, essas reações do herbicida com o solo podem ser desfeitas, em função da elevação do pH a próximo da neutralidade (Snyder & Slaton, 2002), o que liberaria aos poucos os resíduos do herbicida na lâmina d'água. Essa mudança no pH, sob inundação da área, pode ocorrer semanas depois da

entrada d'água, dependendo do tipo do solo, níveis da matéria orgânica, população microbiana, temperatura e de outras propriedades químicas do solo (Snyder & Slaton 2002).

3.4 CONCLUSÃO

A aplicação sequencial de Only, dentre os tratamentos avaliados, persistiu mais tempo na lâmina d'água da lavoura de arroz, com níveis detectáveis até 27 dias após a entrada d'água no experimento. Já a detecção de clomazone foi observada até 13 dias após a entrada da água. Cabe ressaltar ainda que os herbicidas persistiram por 26 dias no solo, durante o período entre sua aplicação em PRE e a entrada da lâmina d'água na lavoura.

A meia-vida dos herbicidas na lâmina d'água foi de 9,8 dias para o imazethapyr e de 25,1 dias para o clomazone.

3.5 LITERATURA CITADA

AVILA, L. A. Imazethapyr: red rice control and resistance, and environmental fate. **Ph.D. Dissertation**. Graduate Studies of Texas A&M University, Agosto de 2005.

BAUGHMAN, T.A.; SHAW, D.R. Effect of wetting/drying cycles on dissipation patterns of bioavailable imazaquin. **Weed Science**, v.44, p.380-382, 1996.

CALIFORNIA DEPARTMENT OF PESTICIDE REGULATION. Clomazone. Public Report, 2003/I. Disponível em: <http://www.cdpr.ca.gov/docs/publicreports/3537.pdf>. Acesso em: 03 de abril de 2006.

CHE, M. et al. Effect of pH on sorption and desorption of imazaquin and imazethapyr on clays and humic acid. **Journal of Environmental Quality**, v.21, p.698-703, 1992.

COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A.J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v.40, p.436-443, 2000.

CUMMING, J.P.; DOYLE, R.B. Clomazone dissipation in four Tasmanian topsoils. **Weed Science**, v.50, p.405-409, 2002.

CURRAN, W.S.; LIEBL, R.A.; SIMMONS, F.W. Effects of tillage and application methods on clomazone, imazaquin, and imazethapyr persistence. **Weed Science**, v.40, p.482-489, 1992.

FAO. Faostat database results. 2003. Disponível em: www.fao.org/faostat. Acesso em: novembro de 2005.

GBUREK, W.J.; SHARPLEY, A.N. Hydrologic controls on phosphorus loss from upland agricultural watersheds. **Journal Environmental Quality**, Madison, n.27, p.267-277, 1997.

- GBLER, L.; SPADOTTO, C.A. Comportamento ambiental dos herbicidas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E.S. (Eds.) **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. p. 571-594.
- GENNARI, M.; NÉGRE, M.; VIDROLA, D. Adsorption of the herbicides imazapyr, imazethapyr and imazaquin on soils and humic acids. **Journal Environmental Science Health**. v.33, p.547-567, 1998.
- GOETZ, A.; LAVY, T.; GBUR, E. Degradation and field persistence of imazethapyr. **Weed Science**, v.38, p. 421-428, 1990.
- KIRKSEY, K.B. et al. Clomazone dissipation in two Tennessee soils. **Weed Science**, v.44, p. 959-963, 1996.
- LOUX, M.M.; REESE, K.D. Effect of soil type and pH on persistence and carryover of imidazolinonesherbicides. **Weed Technology**, v.7, p.452-458, 1993.
- LOUX, M.M.; REESE, K.D. Effect of soil pH on adsorption and persistence of imazaquin. **Weed Science**, v.40, n.3, p.490-496, 1992.
- LOUX, M.M.; SLIFE, F.W. Availability and persistence of imazaquin, imazethapyr, and clomazone in soil. **Weed Science**, v.37, p.259-267, 1989.
- MACHADO, S.L.O. et al. Persistência de herbicidas na água de irrigação no arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25. Balneário Camboriú, SC. **Anais...** Camboriú: EPAGRI, 2003. p.692-694.
- MACHADO, S.L.O. et al. Consumo de água e perdas de nutrientes e de sedimentos na água de drenagem inicial do arroz irrigado. **Ciência Rural**, v.36, n.1, p.65-71, 2006.
- MALLIPUDI, N.M. et al. Photolysis of imazapyr (AC 243997) herbicide in aqueous media. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.39, n.2, p.412-417, 1991.
- MARCOLIN, E.; MACEDO, V.R.M.; JUNIOR, S.A.G. Persistência do herbicida imazethapyr na lâmina de água em três sistemas de cultivo de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3, REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25. Balneário Camboriú, SC. **Anais...** Camboriú: Epagri, 2003. p.686-688.
- MERVOSH, T.L.; SIMMS, G.K.; STOLLER, E.W. Clomazone fate as affected by microbial activity, temperature, and soil moisture. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.43, p.537-543, 1995.
- MINISTÉRIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLO TERRITORIAL. REPÚBLICA DE COLOMBIA. **Resolução nº681, de 02 de junho de 2005**. “Por la cual se expide un dictamen técnico ambiental para el producto Saat Minuetto ® 480 EC del ingrediente activo clomazone dentro del trámite administrativo de registro”. Colômbia, 2005.
- O'DELL, J.D.; WOLT, J.D.; JARDINE, P.M. Transport of imazethapyr in undisturbed soil columns. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v.56, p.1711-1715, 1992.

SHAW, D.; WIXSON, M. Postemergence combinations of imazaquin or imazethapyr with AC 263,222 for weed control in soybean (*Glycine max*). **Weed Science**, v.39, p.644–649, 1991.

SNYDER, C.S.; SLATON, D.N. Effects of soil flooding and drying on phosphorus reactions. **News and Views**, p.1-3, 2002.

STOUGAARD, R.N.; SHEA, P.J.; MARTIN, A.R. Effect of soil type and pH on adsorption, mobility and efficacy of imazaquin and imazethapyr. **Weed Science**, v.36, p.67-73, 1990.

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

VENCILL, W. K. (Ed.). **Herbicide Handbook**. 8 ed. Lawrence, KS: Weed Science Society of America, 2002.

ZANELLA, R et al. Development and validation of a high-performance liquid chromatographic procedure for the determination of herbicide residues in surface and agriculture waters. **Journal of Separation Science**, v.26, p.935-938, 2003.

4. EFEITO DO RESIDUAL NO SOLO DE (IMAZETHAPYR + IMAZAPIC) E CLOMAZONE EM CULTURAS NÃO-TOLERANTES

RESUMO

A aplicação de herbicidas é, hoje, a tecnologia mais empregada no controle de plantas daninhas da lavoura de arroz. Contudo, resíduos de herbicidas podem ocasionar injúrias à cultura não-tolerante subsequente ao arroz. Diante disso, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar o efeito residual dos herbicidas Only (imazethapyr + imazapic) e clomazone no solo, através do uso de cultura sucessora não-tolerante à sua aplicação. Para tanto, desenvolveu-se um experimento contendo sete tratamentos e cinco repetições, no ano agrícola de 2005/06, em campo experimental do Departamento de Fitotecnia da UFSM. O ensaio consistiu na semeadura de azevém (*Lolium multiflorum* Lam) e da cultivar de arroz IRGA 417 subsequentemente à cultura de arroz irrigado com aplicação dos herbicidas Only e clomazone. Em geral, os resultados revelam a existência de residual no solo do herbicida Only um ano após a sua aplicação, sendo que esses resíduos ocasionam redução na produtividade de grãos de cultivares não-tolerantes implementadas na safra posterior à sua utilização. Quanto ao Gamit, as análises realizadas evidenciaram ausência de residual após um ano de sua aplicação nas doses de 3 e 6 L ha⁻¹.

Palavras-chave: residual no solo; Only; Gamit; IRGA 417; *Lolium multiflorum* Lam.

(IMAZETHAPYR + IMAZAPIC) AND CLOMAZONE CARRYOVER TO NON-TOLERANT RICE

ABSTRACT

Herbicide application is today, the most used tool to weed control in rice. Depending on the herbicide, it can cause carryover effects to non-tolerant crops. For this reason, it was conducted an experiment with the objective of to evaluate herbicide carryover to non-tolerant crops (ryegrass and non-tolerant rice). The experiment was conducted in an area with previous application of (imazethapyr + imazapic) and clomazone. The herbicide Only (imazethapyr + imazapic) caused injury to cultivated rice one year after herbicide application,

affecting rice grain yield. Clomazone did not affect either ryegrass or the non-tolerant rice cultivar.

Key words: herbicide carryover; Only; Gamit; IRGA 417; *Lolium multiflorum* Lam.

4.1 INTRODUÇÃO

A infestação de arroz-vermelho ocasiona elevação do custo de produção da lavoura de arroz e deprecia o valor comercial do produto final. Em vista disso, têm sido desenvolvidas novas tecnologias de controle químico da planta daninha, que é responsável por grandes prejuízos na lavoura orizícola do estado do Rio Grande do Sul. Uma dessas tecnologias foi desenvolvida na Universidade de Louisiana (EUA) e consiste no uso de plantas de arroz tolerantes a herbicidas pertencentes ao grupo químico das imidazolinonas. No Brasil, essa alternativa, denominada Sistema Clearfield, constitui-se na aplicação do herbicida Only (imazethapyr 75 g i.a. L⁻¹ + imazapic 25 g i.a. L⁻¹) em arroz tolerante. Outra alternativa de supressão de arroz-vermelho consiste na utilização do herbicida clomazone em sementes tratadas com protetor, agente químico que reduz a fitotoxicidade do herbicida nas culturas, através de mecanismo fisiológico ou molecular (Hatzios & Burgos, 2004).

A aplicação de herbicidas, portanto, é a tecnologia mais empregada no controle do arroz-vermelho; contudo, as conseqüências desta utilização, muitas vezes, não são mensuradas e os impactos ambientais ocasionados por sua aplicação não são conhecidos. Uma vez no solo, resíduos de herbicidas podem ocasionar injúrias à cultura subsequente ao arroz, devido a não tolerância da nova cultura ao herbicida aplicado anteriormente. Além disso, parte do herbicida que atinge o solo pode ser transportada por seu perfil, através da água da chuva ou da própria irrigação, causando prejuízos ambientais. Segundo Clay (1993), os resíduos de herbicidas podem alcançar grandes profundidades do solo e atingir até o lençol freático. Nesse processo, influenciam a molécula do herbicida (suas propriedades físicas e químicas), as condições climáticas e o método de aplicação do agroquímico.

Estudos indicam que a persistência no solo de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, ao qual pertencem o imazapic e o imazethapyr, entre outros, é influenciada por propriedades que vão além da textura do solo, tais como o pH (Loux & Reese, 1992), a umidade (Baughman & Shaw, 1996) e o teor de matéria orgânica (Stougaard et al., 1990). Souza et al. (2000), ao comparar dois tipos diferentes de solo, detectaram, por exemplo, que a mobilidade do herbicida imazapyr foi maior no solo de textura franco-arenosa que no solo

argiloso. De acordo com Renner et al. (1998), herbicidas do grupo químico das imidazolinonas podem apresentar residual no solo por até dois anos e, dependendo da cultura sucessora, causam fitotoxicidade nas plantas (Ball et al., 2003), prejudicando a rotação de culturas e diminuindo a renda dos produtores. Nas plantas de algodão, essa fitotoxicidade é caracterizada por sintomas como entre-nós curtos e cor laranja-amarelada (York et al., 2000). Já na canola, resíduos de imazamox causaram injúrias como redução na altura da planta, leve clorose na folha e tendência ao aumento da ramificação lateral (Ball et al., 2003). Cobucci et al. (1998) também constataram injúrias nas plantas de milho (*Zea mays* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* L.) e arroz (*Oryza sativa* L.) cultivadas em rotação depois da aplicação de imazamox.

Para o clomazone, a concentração do herbicida disponível na solução do solo depende da quantidade de carbono e de água deste solo (Lee et al., 2004). Estudos de Santos et al. (2003) indicam que o clomazone, aplicado na cultura de soja no verão, afetou culturas sucessivas de cereais, tais como trigo, aveia e cevada, causando branqueamento nestas culturas. Duke et al. (1991) explicam, ainda, que resíduos de clomazone no solo causam redução ou impedimento do acúmulo de pigmentos em espécies não-tolerantes, resultando em plantas com aparência descorada (branco, amarelo ou verde-pálido).

Devido às injúrias causadas em culturas não-tolerantes, recomendam-se intervalos de segurança entre a aplicação de herbicidas e a implantação subsequente de culturas não-tolerantes. Santos et al. (2003) afirmam que, usualmente, um mínimo de 150 dias depois da aplicação de clomazone é requerido para a implantação de cultura subsequente. Esse período pode ser ainda maior, uma vez que, no solo, o clomazone degrada lentamente, sob condições aeróbicas, com meia-vida que varia de 90 a 276 dias (California Department of Pesticide Regulation, 2003). Já para os herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, a maioria das recomendações de intervalos de segurança baseia-se em estudos realizados nos Estados Unidos e na Europa, onde as condições edafoclimáticas são diferentes das encontradas no Brasil. São necessários, assim, estudos que avaliem o residual no solo dos herbicidas aplicados na lavoura de arroz sob as condições edafoclimáticas brasileiras, buscando o desenvolvimento de estratégias de manejo para a rotação de culturas. Nesse sentido, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar o residual dos herbicidas Only (imazethapyr + imazapic) e clomazone no solo, através do uso de cultura sucessora não-tolerante à sua aplicação, como o azevém e a cultivar de arroz irrigado IRGA 417.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no ano agrícola 2005/06, no campo experimental do Departamento de Fitotecnia da UFSM, em solo classificado como Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico, pertencente à unidade de mapeamento Vacacaí (Embrapa, 1999), com as seguintes características: $\text{pH}_{\text{água}}(1:1) = 4,5$; $\text{P} = 6,9 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{K} = 55 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{M.O.} = 1,2\%$; $\text{Ca} = 2,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Mg} = 1,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Al} = 1,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; e argila = 17%. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com sete tratamentos (Tabela 5) e cinco repetições. As unidades experimentais mediram 5,0 x 4,0 m (20,0 m²) e a área útil para estimativa da produtividade de grãos foi de 3,0 x 1,7 m (5,1 m²).

A aplicação dos herbicidas Only e Gamit sobre a cultura de arroz tolerante, na safra de 2004/05, foi realizada dois dias após a semeadura (DAS) do arroz, em pré-emergência (PRE), utilizando-se pulverizador costal pressurizado com CO₂ munido de quatro pontas 11002 do tipo leque e calibrado para vazão de 125 L ha⁻¹. Já a aplicação em pós-emergência (POS), na mesma safra, foi efetuada aos 16 dias após a emergência (DAE), quando a maioria das plantas de arroz cultivado encontrava-se no estágio V4, ou seja, com quatro folhas formadas, enquanto as plantas de arroz-vermelho encontravam-se no estágio V5, segundo escala de Counce et al. (2000). Para a aplicação em POS, utilizou-se o mesmo pulverizador referido, com vazão de 150 L ha⁻¹ e adição de 0,5 % vv de óleo mineral emulsionável.

Após a colheita da safra 2004/05, a área foi roçada, em 22/03/05, e dessecada por duas vezes, em 31/03/05 e 28/04/05. Realizou-se, então, a semeadura do azevém (*Lolium multiflorum* Lam), a lanço, na densidade de 40 kg de sementes ha⁻¹, no dia 09/05/05, sendo que a emergência das plantas ocorreu 10 DAS. A adubação de cobertura foi realizada com a aplicação de 11,25 kg ha⁻¹ de N, aos 61 DAE. Para avaliar o efeito residual no solo dos herbicidas aplicados na safra 2004/05, foi coletada a massa seca da cultura do azevém, em área de 0,5 x 0,5 m, aos 129 DAE.

Realizada a avaliação do efeito residual dos herbicidas sobre o azevém, a área foi novamente dessecada por duas vezes, em 27/09/05 e 30/10/05, para a semeadura do arroz no sistema de plantio direto. A cultivar IRGA 417 foi semeada no dia 02/11/2005, na densidade de 110 kg de sementes ha⁻¹, em linhas espaçadas a 0,17 m, sendo que a emergência do arroz ocorreu aos 11 DAS. A adubação de base foi realizada concomitantemente à semeadura do arroz irrigado, aplicando-se 17,5; 70 e 105 kg ha⁻¹ de Nitrogênio (N), P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Na adubação de cobertura, foram utilizados 120 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia, aplicando-se a metade da dose no início do perfilhamento (V4) e o restante na iniciação

da panícula (R_0). Juntamente com a segunda aplicação de N em cobertura, foram utilizados 500 g i.a. ha^{-1} do inseticida carbofuran, para o controle do gorgulho-aquático-do-arroz (*Oryzophagus oryzae*).

Em função da fitotoxicidade causada pela utilização de Only na safra 2004/05, foi necessário atrasar em 10 dias as aplicações de N, o controle de planta daninha e a entrada da água nas parcelas em que havia sido aplicado Only em relação às demais parcelas. A área foi inundada com lâmina d'água de aproximadamente 5 cm de altura um dia após a aplicação de N e o controle de plantas daninhas. Esse controle foi realizado com a aplicação de bispyribac-sodium, na dose de 52 g i.a. ha^{-1} .

O estande inicial da cultivar IRGA 417 foi determinado aos 10 DAE, através da contagem da população de plantas em um metro linear da linha de semeadura. Neste local, efetuou-se a determinação do número de colmos de arroz aos 29 e 49 DAE. Ainda nessa área demarcada para obtenção do estande inicial, determinou-se o número de panículas por planta e coletou-se 10 panículas para obtenção do número de grãos por panícula, da massa de mil grãos e da esterilidade de espiguetas.

A avaliação de fitotoxicidade às plantas de arroz foi realizada aos 10 e 37 DAE, sendo que os valores foram estimados visualmente através da escala de 0 a 100%, onde 0% corresponde à ausência de fitotoxicidade e 100% correspondem à morte das plantas de arroz.

Para a avaliação da re-infestação de arroz-vermelho, foi realizada, na pré-colheita, a contagem do número de panículas de arroz-vermelho em uma área de 0,5 x 0,5 m. A avaliação da produtividade de grãos foi realizada através de colheita manual da área útil de cada parcela (6,8 m^2), quando os grãos atingiram umidade média de 20%. Este material foi submetido à trilha, pesagem e determinação da umidade de colheita, sendo esta corrigida para 13%, para estimativa da produtividade de grãos.

As variáveis determinadas foram submetidas à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ($P \geq 0,05$). Os dados em porcentagem foram transformados para $yt = \sqrt{y + 1}$.

Tabela 4. Temperaturas mínimas, máximas e médias, precipitação pluvial e insolação, por decêndio, ocorridas durante o período de avaliação do residual no solo dos herbicidas Only e Gamit na cultura do azevém e do arroz. Santa Maria, RS. 2006.

Mês Ano	Decêndios	Temperatura (°C)			Precipitação (mm)	Insolação (horas)
		Máxima	Mínima	Média		
Abr. 2005	01 – 10	27,9	17,8	22,8	122,8	3,9
	11 – 20	25,2	15,6	20,4	71,6	4,1
	21 – 30	22,2	11,5	16,8	29,7	5,2
Mai. 2005	01 – 10	24,7	14,1	19,4	39,6	4,8
	11 – 20	24,4	17,5	20,9	120,4	1,3
	21 – 31	21,3	10,0	15,7	23,0	6,4
Junh. 2005	01 – 10	28,1	17,9	23,0	3,0	6,2
	11 – 20	19,9	15,2	17,5	74,8	1,0
	21 – 30	19,8	11,2	15,5	36,7	3,9
Julh. 2005	01 – 10	21,1	10,6	15,9	12,9	7,3
	11 – 20	20,2	9,3	14,8	23,9	5,7
	21 – 31	19,3	9,2	14,3	19,4	5,1
Agos. 2005	01 – 10	24,6	13,8	19,2	9,3	7,1
	11 – 20	23,4	11,6	17,5	3,5	4,4
	21 – 31	21,3	11,5	16,4	68,3	3,0
Set. 2005	01 – 10	18,8	9,5	14,1	33,7	4,6
	11 – 20	16,6	9,5	13,1	116,8	1,1
	21 – 30	23,7	13,8	18,8	62,0	7,3
Out. 2005	01 – 10	21,7	14,0	17,8	172,6	3,2
	11 – 20	24,0	14,6	19,3	81,4	8,2
	21 – 31	23,7	15,6	19,6	30,3	9,1
Nov. 2005	01 – 10	25,2	12,6	18,9	33,4	8,2
	11 – 20	29,5	16,8	23,2	3,6	7,0
	21 – 30	33,3	17,6	25,5	20,2	10,0
Dez. 2005	01 – 10	29,1	16,6	22,8	84,2	9,1
	11 – 20	30,8	17,8	24,3	1,4	10,7
	21 – 31	30,8	17,4	24,1	16,3	8,3
Jan. 2006	01 – 10	33,4	20,3	26,9	51,2	8,7
	11 – 20	31,9	21,5	26,7	81,9	6,5
	21 – 31	30,1	20,5	25,3	64,9	7,9
Fev. 2006	01 – 10	31,9	19,8	25,9	3,2	8,6
	11 – 20	29,2	19,4	24,3	3,3	8,3
	21 – 28	30,4	17,7	24,0	39,0	8,4
Mar. 2006	01 – 10	30,3	18,2	24,2	29,0	7,8
	11 – 20	32,9	19,5	26,2	3,9	7,3
	21 – 31	28,0	16,8	22,4	48,3	6,9

*Dados coletados na Estação Meteorológica da Universidade Federal de Santa Maria/RS/Brasil.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no experimento não evidenciaram diferença entre os tratamentos quanto à massa seca da cultura do azevém, que produziu em média 1377 kg ha^{-1} . Esse baixo acúmulo pode ser explicado pelas altas precipitações ocorridas no mês de maio de 2005 (Tabela 4), que afetaram o estabelecimento do azevém, e à escassez de chuva durante os meses de julho e agosto, que prejudicou o desenvolvimento da cultura. De acordo com Difante et al. (2005), o excesso hídrico interfere negativamente no estabelecimento das plantas de azevém em áreas sistematizadas de várzea.

O residual no solo dos herbicidas Only e Gamit, aplicados na safra precedente, causou fitotoxicidade na cultivar IRGA 417, semeada 367 dias após a aplicação dos herbicidas em PRE (Tabela 5). Essa fitotoxicidade foi observada tanto na avaliação realizada aos 10 DAE quanto aos 37 DAE da cultivar. Os resultados evidenciaram diferença na fitotoxicidade de acordo com a dose e a época de aplicação dos herbicidas, sendo que maiores fitotoxicidades foram observadas com a aplicação de Only em relação ao Gamit.

Nas duas avaliações de fitotoxicidade realizadas aos 10 DAE e aos 37 DAE, dentre os tratamentos com Only, maiores fitotoxicidades ocorreram com a aplicação seqüencial ($0,7 \text{ L ha}^{-1}$ em PRE seguida de $0,7 \text{ L ha}^{-1}$ em POS) e com a utilização de 1 L ha^{-1} em POS do herbicida. Já a menor fitotoxicidade foi observada com a aplicação de 1 L ha^{-1} em PRE de Only.

A menor fitotoxicidade encontrada no tratamento com a aplicação de 1 L ha^{-1} de Only em PRE pode ser explicada pelo maior período de biodegradação do herbicida em ambiente aeróbico, condição satisfeita durante os 26 dias decorridos entre a aplicação do herbicida e a entrada da água no ensaio, na safra de 2004/05. Isto ocorreu porque tanto o imazethapyr quanto o imazapic, herbicidas que compõem o Only, sofrem limitada biodegradação em condições anaeróbicas (Vencill, 2002). Logo, os tratamentos com aplicação de 1 L ha^{-1} de Only em POS e seqüencial, por passarem mais tempo sob condições anaeróbicas, tiveram possibilidade de biodegradação reduzida e, em consequência, apresentaram maior residual no solo.

Quanto aos tratamentos com Gamit, na avaliação realizada aos 10 DAE não foi verificada diferença entre as doses do herbicida, que apresentaram em média 16% de fitotoxicidade. Já na avaliação realizada aos 37 DAE, nenhuma fitotoxicidade foi observada nos tratamentos com a aplicação de Gamit.

Tabela 5. Fitotoxicidade no arroz aos 10 e 37 dias após a emergência (DAE), estande de plantas (EP), colmos por planta aos 29 e 49 DAE, infestação por arroz-vermelho (IAV), número de panículas (NP), número de espiguetas por panícula (NEP), massa de mil grãos (MMG), esterilidade de espiguetas (EE) e produtividade de grãos (PG) da cultivar IRGA 417, em resposta ao residual no solo de doses e épocas de aplicação dos herbicidas utilizados para o controle do arroz-vermelho na safra anterior. Santa Maria-RS, 2006.

Tratamentos ^{1/}	Doses L ha ⁻¹		Fitotoxicidade (%) ^{2/}		EP (m ²)	Colmos por planta		IAV (panic. m ⁻²)	NP (m ⁻²)	NEP	MMG (g)	EE (%) ^{7/}	PG (kg ha ⁻¹)
	PRE ^{2/}	POS ^{3/}	10 DAE ^{8/}	37 DAE ^{8/}		29 DAE ^{8/}	49 DAE ^{8/}						
Testemunha*	0	1,0	0 d ^{10/}	0 c	295 a	4,5 a	3,7 ^{ns}	0 c	648 a	79 a	27 a	11 ^{ns}	8928 a
Only ^{4/}	0,7	0,7	87 a	90 a	191 b	1,6 d	2,3	33 bc	358 b	73 b	23 b	10	5262 b
Only	1,0	0	68 b	60 b	199 b	1,8 cd	3,0	117 b	338 b	72 b	22 b	12	3989 bc
Only	0	1,0	92 a	86 a	171 b	1,5 d	2,5	93 b	303 b	71 b	23 b	12	4158 bc
Gamit ^{5/} c/ Permit ^{6/}	3,0	0	17 c	0 c	204 b	3,0 b	2,7	232 a	219 b	55 b	21 b	17	2694 c
Gamit c/ Permit	6,0	0	16 c	0 c	204 b	3,3 b	2,9	256 a	273 b	62 b	21 b	15	2665 c
Gamit s/ Permit	3,0	0	17 c	0 c	231 b	2,4 bc	2,1	286 a	169 b	60 b	22 b	19	2253 c
Média			42	34	214	2,6	2,7	145	330	68	22	14	4278
CV (%)			10,19	14,63	15,67	24,61	29,72	32,23	28,27	10,36	6,75	23,12	23,64

^{1/} Residual no solo dos tratamentos aplicados na safra de 2004/05 e avaliados na safra de 2005/06; ^{2/} Aplicação em pré-emergência; ^{3/} Aplicação em pós-emergência com o arroz-vermelho no estágio V₅, segundo escala de Counce et al. (2000); ^{4/} Mistura formulada de imazethapyr (75 g i.a. L⁻¹) + imazapic (25 g i.a. L⁻¹); ^{5/} Clomazone (500 g i.a. L⁻¹); ^{6/} 0,0-dietil-0-fenil fosforotioato (500 g i.a. kg⁻¹); ^{7/} Para a análise, os dados foram transformados para $y_t = \sqrt{y+1}$, (dados apresentados são valores não transformados); ^{8/} Dias após a emergência do arroz; ^{10/} Para cada parâmetro analisado, médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna diferem pelo teste de Tukey (P≥0.05)

* IRGA 422 CL, com aplicação de 1 L ha⁻¹ em POS do herbicida Only na safra de 2004/05 e 2005/06.

Essa baixa fitotoxicidade pode ter decorrido da degradação do herbicida durante o período de 100 dias de inundação do solo, na safra de 2004/05. Segundo Vencill (2002), a degradação do clomazone é mais rápida em condições anaeróbicas que em condições aeróbicas, sendo que, em solo aeróbico, a meia-vida do herbicida varia de 90 a 276 dias e, em solo anaeróbico, sua meia-vida média cai para 60 dias (California Department of Pesticides Regulation, 2003).

Além do residual dos herbicidas no solo, a fitotoxicidade encontrada pode ter sido potencializada pela baixa temperatura no período inicial de desenvolvimento do arroz (Tabela 4), pois, segundo Masson & Webster (2001), temperaturas mais baixas são responsáveis pela diferença na fitotoxicidade do arroz, sendo que uma menor injúria foi observada sob temperaturas mais altas.

O estande de plantas da cultivar IRGA 417 foi maior na testemunha em relação aos demais tratamentos, demonstrando que a utilização dos herbicidas Only e Gamit na safra de 2004/05 afetou negativamente o estande de plantas, devido ao efeito de seu residual no solo. A testemunha apresentou uma população de 295 plantas m^{-2} , enquanto os demais tratamentos não apresentaram diferença entre si e tiveram média de 200 plantas m^{-2} . Estes resultados vão ao encontro das avaliações de Villa (2006), que verificou menor estande da cultivar IRGA 417 nos tratamentos com aplicação de Only no ano anterior, indicando que havia quantidade de herbicida no solo suficiente para causar fitotoxicidade ao arroz não-tolerante. Scherder et al. (2004) também verificaram redução no estande de plantas e atraso na maturidade das plantas de arroz, advindas da aplicação de clomazone.

Além do efeito no estande, a fitotoxicidade encontrada aos 29 DAE, em função do residual dos herbicidas, afetou também o número de colmos por planta. Nessa avaliação, a testemunha apresentou maior número de colmos por planta em relação aos demais tratamentos, seguida da aplicação de Gamit e da utilização de Only, que apresentaram, respectivamente, médias de 2,9 e 1,6 colmos por planta. Por outro lado, na avaliação realizada aos 49 DAE, as plantas compensaram a diminuição do número de colmos através da emissão de novos perfilhos e foram observadas diferenças significativas entre as doses e épocas de aplicação dos herbicidas. Yoshida (1981) afirma que as plantas de arroz podem compensar o menor estande através da emissão de um maior número de colmos.

Os resultados da avaliação da re-infestação de arroz-vermelho apontam para a importância do controle da planta daninha na safra 2004/05, uma vez que os tratamentos que apresentaram maior controle nesta safra responderam pelos menores índices de re-infestação. Nos tratamentos com a aplicação de Only na safra 2004/05, foi observada uma média de 81

panículas de arroz-vermelho m^{-2} . Já nos tratamentos com Gamit, a re-infestação de arroz-vermelho foi em torno de 258 panículas m^{-2} . Embora esses resultados evidenciem uma maior eficiência do Only em relação ao Gamit no controle do arroz-vermelho, cabe ressaltar que os índices de re-infestação encontrados demonstram que a utilização do Sistema Clearfield durante apenas uma safra não é suficiente para o controle dessa planta daninha. Destaca-se ainda que, devido à possibilidade de fluxo gênico, parte das plantas re-infestantes podem ser oriundas do cruzamento da cultivar Clearfield com as plantas de arroz-vermelho.

A avaliação dos componentes da produção de grãos apontou para uma relação direta entre o número de panículas m^{-2} e o estande de plantas, sendo que o tratamento com o maior número de panículas foi a testemunha, que obteve também a maior população de plantas. Observa-se ainda que o menor número de panículas m^{-2} encontrado nos tratamentos com o herbicida Only, em relação à testemunha, pode ter decorrido do residual no solo deste herbicida. Na segunda avaliação de fitotoxicidade, ainda foram observadas plantas que não conseguiram se recuperar da intoxicação causada por resíduos do agroquímico e que, em consequência, sofreram necrose total.

Já nos tratamentos com Gamit, o menor número de panículas m^{-2} pode ser atribuído à competição do arroz com a população re-infestante de arroz-vermelho, uma vez que, na segunda avaliação de fitotoxicidade, esses tratamentos já não apresentavam nenhum sintoma de injúrias causadas pela aplicação de Gamit na safra precedente. Balbinot Jr. et al. (2003) também se referem à relação entre o controle da planta daninha e o número de panículas m^{-2} , afirmando que menores números de colmos por planta de arroz são obtidos quando estas se encontram em competição com o arroz-vermelho, resultando, assim, em menor número de panículas m^{-2} . Essa mesma relação observada por Balbinot Jr. et al. (2003) para o número de panículas m^{-2} , foi detectada para o número de espiguetas por panícula e para a massa de mil grãos. Nos tratamentos com maior re-infestação de arroz-vermelho, o desenvolvimento das plantas de arroz foi prejudicado, devido ao sombreamento ocasionado pela planta daninha sobre a cultivar IRGA 417.

A esterilidade de espiguetas não foi afetada em nenhum dos tratamentos, apresentando média de 15%, considerada normal para a cultivar IRGA 417. Terres & Galli (1985) destacam que a temperatura mínima do ar, crítica à fecundação das flores de arroz, está na faixa de 15°C, sendo que a percentagem de esterilidade de espiguetas tende a aumentar com o aumento da duração e da intensidade destas temperaturas. Observando a Tabela 2, verifica-se temperatura favorável ao desenvolvimento da cultivar de arroz durante o mês de janeiro e início de fevereiro, período que coincidiu com o florescimento da cultura.

Quanto às médias de produtividade, os resultados obtidos no experimento demonstram maior produção de grãos, 8928 kg ha^{-1} , na testemunha (IRGA 422 CL), tratamento que apresentou também maior estande inicial, número de panículas m^{-2} , número de espiguetas por panícula e massa de mil grãos. Os tratamentos com a utilização do herbicida Only na safra precedente produziram, em média, 4470 kg ha^{-1} , não apresentando diferenças significativas entre as doses e épocas de aplicação. Destaca-se, ainda, uma redução de 53% na produtividade de grãos entre a dose recomendada, $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ de Only em POS, e a testemunha. Essa redução de produtividade, em decorrência da fitotoxicidade causada pelo resíduo de imazethapyr, foi anteriormente observada por Loux & Reese (1993), para a cultura do milho.

A produtividade de grãos foi menor nos tratamentos com Gamit, em comparação à utilização de Only. Isso decorreu da alta competição do arroz cultivado com o arroz-vermelho, que afetou negativamente a produtividade de grãos nos tratamentos com Gamit, ocasionando redução de 72% na produtividade em relação à testemunha. Pesquisas anteriores mostram que cada panícula de arroz vermelho m^{-2} reduz a produtividade de grãos de arroz em 16 a 18 kg ha^{-1} (Souza & Fischer, 1986; Avila et al., 1999). Cabe ressaltar também que a alta re-infestação de arroz-vermelho nos tratamentos com Gamit originou acamamento de 65%, fator que prejudicou a produtividade de grãos nesses tratamentos.

4.4 CONCLUSÃO

Há efeito residual no solo do herbicida Only um ano após a sua aplicação, sendo que esses resíduos ocasionam redução na produtividade de grãos de cultivares não-tolerantes implementadas na safra posterior à sua utilização, sem revolvimento do solo. Quanto ao Gamit, os resultados não evidenciaram residual significativo um ano após sua aplicação nas doses de 3 e 6 L ha^{-1} . Contudo, a alta re-infestação de arroz-vermelho, ocasionada pelo baixo controle da planta daninha nas parcelas onde foi aplicado o Gamit na safra precedente, causou a diminuição na produtividade de grãos da cultivar IRGA 417, em decorrência da competição do arroz cultivado com o arroz-vermelho.

4.5 LITERATURA CITADA

AVILA, L. A. et al. Interferência do arroz-vermelho sobre o arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ

- IRRIGADO, 23., 1999, Pelotas. **Anais**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p.594-596.
- BALBINOT Jr., A.A. et al. Competitividade de cultivares de arroz irrigado com cultivar simuladora de arroz-vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.1, p.53-59, 2003.
- BALL, D.A.; YENISH, J.P.; ALBY, T. Effect of imazamox soil persistence on dryland rotational crops. **Weed Technology**, v.17, n.1, p.161-165, 2003.
- BAUGHMAN, T.A.; SHAW, D.R. Effect of wetting/drying cycles on dissipation patterns of bioavailable imazaquin. **Weed Science**, v.44, n.2, p.380-382, 1996.
- CALIFORNIA DEPARTMENT OF PESTICIDE REGULATION. Clomazone. Public Report, 2003/I. Disponível em: <http://www.cdpr.ca.gov/docs/publicreports/3537.pdf>. Acesso em: 03 de abril de 2006.
- CLAY, D.V. Herbicide residues in soils and plants and their bioassay. In: STREIBIG, J.C.; KUDSK, P. **Herbicide bioassays**. Florida: CRC Press, Inc, 1993, p. 153-171.
- COBUCCI, T.H.T. et al. Effect of imazamox, fomesafen, and acifluorfen soil residue on rotational crops. **Weed Science**. v.46, p.258-263, 1998.
- COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A.J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v.40, p.436-443, 2000.
- DIFANTE, G.S. et al. Produção de forragem e rentabilidade da recria de novilhos de corte em área de várzea. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.2, p.433-441, 2005.
- DUKE, S.O. et al. Clomazone causes accumulation of sesquiterpenoids in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Weed Science**, v.39, p.339-346, 1991.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília: Embrapa-SPI, 1999. p.412.
- HATZIOS, K.K.; BURGOS, N. Metabolism-based herbicide resistance: regulation by safeners. **Weed Science**, v.52, n.3, p.454-467, 2004.
- LEE, D.J. et al. Soil characteristics and water potential effects on plant-available clomazone in rice. **Weed Science**, n.52, p.310-318, 2004.
- LOUX, M.M.; REESE, K.D. Effect of soil type and pH on persistence and carryover of imidazolinone herbicides. **Weed Technology**, v.7, p.452-458, 1993.
- LOUX, M.M.; REESE, K.D. Effect of soil pH on adsorption and persistence of imazaquin. **Weed Science**, v.40, n.3, p.490-496, 1992.
- MASSON, J.A.; WEBSTER, E.P. Use of Imazethapyr in Water-Seeded Imidazolinone-Tolerant Rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, v.15, p.103-106. 2001.
- RENNER, K.A.; SCHABENBERGER, O.; KELLS, J.J. Effect of tillage application method on corn (*Zea mays*) response to imidazolinone residues in soil. **Weed Technology**, v.12, n.2, p.281-285, 1998.
- SANTOS, R.L. de B.; SPEHAR, C.R.; VIVALDI, L. Quinoa (*Chenopodium quinoa*) reaction to herbicide residue in a Brazilian Savannah soil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.38, n.6, p.771-776, 2003.

- SCHERDER, E.F.; TALBERT, R.E.; CLARK, S.D. Rice (*oryza sativa*) cultivar tolerance to clomazone. **Weed Technology**, v.18, p.140–144, 2004.
- SOUZA, A.P.de et al. Lixiviação de glyphosate e imazapyr em solos com diferentes texturas e composição química. I – Método de Bioensaio. **Planta Daninha**, v. 18, n.1, 2000.
- SOUZA, P.R.; FISCHER, M.M. Arroz-vermelho: danos causados à lavoura gaúcha. **Lavoura Arroeira**, Porto Alegre, v.39, n.368, p.19-20, 1986.
- STOUGAARD, R.N.; SHEA, P.J.; MARTIN, A.R. Effect of soil type and pH on adsorption, mobility and efficacy of imazaquin and imazethapyr. **Weed Science**, v.36, n.1, p.67-73, 1990.
- TERRES, A.L.; GALLI, J. **Fundamentos para a cultura do arroz irrigado**. Efeitos do frio em cultivares de arroz irrigado no Rio Grande do sul. Campinas: Fundação Cargil, 1985, p. 83-94.
- VENCILL, W. K. (Ed.). **Herbicide handbook**. 8 ed. Lawrence, KS: Weed Science Society of America, 2002.
- VILLA, S.C.C. Arroz tolerante a imidazolinonas: controle do arroz-vermelho, persistência de herbicidas e fluxo gênico. 2006. 53f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS.
- YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños, Int. Rice Res. Inst., 269p, 1981.
- YORK, A.C. et al. Cotton response to imazapic and imazethapur applied to a preceding peanut crop. **The Journal of Cotton Science**, v.4, p.210-216, 2000.

5. CONCLUSÕES GERAIS

A utilização do Sistema Clearfield consiste em uma alternativa eficiente no controle do arroz-vermelho, principalmente quando aplicada a dose seqüencial de 0,7 L ha⁻¹ de (imazethapyr + imazapic) em pré-emergência, seguida de 0,7 L ha⁻¹ em pós-emergência, utilização que proporciona controle de 100% da planta daninha. Contudo, essa aplicação seqüencial de (imazethapyr + imazapic), dentre todos os tratamentos avaliados, gerou maior período de detecção do herbicida na lâmina da água, resíduos esses que podem extravasar para mananciais hídricos à jusante da lavoura caso haja ocorrência de precipitações. Além disso, cabe ressaltar que a própria utilização dos herbicidas em pré-emergência, frente à intensa precipitação, pode levar ao extravasamento de resíduos de agroquímicos para mananciais hídricos.

Os resultados obtidos no segundo ano de experimento revelaram a existência de residual no solo do herbicida (imazethapyr + imazapic) um ano após a sua aplicação, sendo que esses resíduos ocasionaram redução na produtividade de grãos da cultivar susceptível IRGA 417, cultivada na safra posterior à utilização do herbicida. Diante disso, podem ser adotadas estratégias de manejo que visem aumentar a possibilidade de degradação microbiana do herbicida (imazethapyr + imazapic), tais como o revolvimento do solo durante o período de inverno, o que possibilita a aeração do solo e o desenvolvimento de maior número de microorganismos em suas diferentes camadas. Outra alternativa importante, e já recomendada nos EUA, é o pousio da área por um ano após a aplicação de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas.

Já a aplicação de clomazone, tanto na dose de 3 quanto de 6 L ha⁻¹, não proporcionou controle satisfatório do arroz-vermelho e, portanto, não constitui-se em alternativa eficiente no controle da planta daninha. Em contrapartida, o período de detecção do clomazone na lâmina da água foi menor que o período do imazethapyr e as análises realizadas após um ano de sua aplicação evidenciaram também ausência de residual do clomazone no solo.

Diante desses resultados, a presente Dissertação demonstra a necessidade de estudos futuros acerca de estratégias de manejo posterior da área onde foi aplicado herbicida do grupo químico das imidazolinonas. Recomendam-se pesquisas sobre diferentes preparos do solo durante o período de inverno em áreas nas quais será semeado culturas não-tolerantes a herbicidas de tal grupo químico.

6. BIBLIOGRAFIA GERAL

AGOSTINETTO, D. et al. Arroz vermelho: ecofisiologia e estratégias de controle. **Ciência Rural**, v. 31, nº 2, p. 341-349, Santa Maria/RS: 2001

AHRENS, W.H.; FUERST, E.P. Carryover injury of clomazone applied in soybeans (*Glycine max*) and fallow. **Weed Technology**, v.4, p.855– 861, 1990.

AVILA, L.A. Imazethapyr: red rice control and resistance, and environmental fate. **Ph.D. Dissertation**. Graduate Studies of Texas A&M University, Agosto de 2005.

AVILA, L. A. Evolução do banco de sementes e controle do arroz-vermelho (*Oryza sativa* L.) em diferentes sistemas de manejo do solo de várzea. 1999. 86f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS.

AVILA, L.A. et al. Imazethapyr aqueous photolysis, reaction quantum yield, and hydroxyl radical rate constant. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.54, p.2635-2639, 2006.

AVILA, L.A. et al. The effect os flooding time and red rice control with Newpath applied at different rice stages. In: SOUTHERN WEED SCIENCE SOCIETY MEETING, 56., 2003. **Proceedings...** SWSSA, 2003, p. 48.

AVILA, L.A. et al. Interferência do arroz-vermelho sobre o arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 23., 1999, Pelotas. **Anais**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 594-596.

BALBINOT Jr., A.A. et al. Competitividade de cultivares de arroz irrigado com cultivar simuladora de arroz-vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, nº 1, p. 53-59, janeiro de 2003.

BALL, D.A; YENISH, J.P.; ALBY, T. Effect of imazamox soil persistence on dryland rotational crops. **Weed Technology**, v. 17, n.1, p.161-165, 2003.

BAUGHMAN, T.A.; SHAW, D.R. Effect of wetting/drying cycles on dissipation patterns of bioavailable imazaquin. **Weed Science**, v. 44, p.380-382, 1996.

BOLLICH, P. K. et al. Rice (*Oryza sativa*) response to the microencapsulated formulation of clomazone. **Weed Technology**, v.14, p.89–93, 2000.

CALIFORNIA DEPARTMENT OF PESTICIDE REGULATION. Clomazone. Public Report, 2003/I. Disponível em: <http://www.cdpr.ca.gov/docs/publicreports/3537.pdf>. Acesso em: 03 de abril de 2006.

CHE, M. et al. Effect of pH on sorption and desorption of imazaquin and imazethapyr on clays and humic acid. **J. Environ. Qual.**, v.21, p.698-703, 1992.

CLAY, D. V. Herbicide residues in soils and plants and their bioassay. In: STREIBIG, J. C.; KUDSK, P. **Herbicide bioassays**. Florida: CRC Press, Inc, 1993, p. 153-171.

COBUCCI, T. H. T. et al. Effect of imazamox, fomesafen, and acifluorfen soil residue on rotational crops. **Weed Science**, v. 46, p. 258-263, 1998.

CORADINI, J.Z. et al. Sistemas de manejo em solo de várzea no controle do arroz-vermelho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ-IRRIGADO, 23, 1999, Pelotas. **Anais**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 293-295.

COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A.J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v. 40, p. 436-443, 2000.

CRAIGMILES, J.P. **Introduction**. Red Rice Research and Control. Texas Agricultural Experiment. Station Bul. 1978. 46p.

CUMMING, J. P.; DOYLE, R. B. Clomazone dissipation in four Tasmanian topsoils. **Weed Science**, v.50, p.405-409, 2002.

CURRAN, W.S.; LIEBL, R.A.; SIMMONS, F.W. Effects of tillage and application method on clomazone, imazaquin, and imazethapyr persistence. **Weed Science**, v.40, p.482-489, 1992.

CURRAN, W.S.; KNAKE, E.L.; LIEBL, R.A. Corn (*Zea mays*) injury following use of clomazone, chlorimuron, imazaquin, and imazethapyr. **Weed Technology**, v.5, p.539-544, 1991.

DE DATTA, S. K. **Produccion de arroz**: fundamentos y practicas. México: Editorial Limusa, 1986. 543p.

DEPARTAMENTO DE REGULAMENTAÇÃO DE PESTICIDAS DA CALIFÓRNIA. Clomazone. Public Report, 2003/I. Disponível em: <http://www.cdpr.ca.gov/docs/publicreports/3537.pdf>. Acesso em: 03 de abril de 2006.

DESCHAMPS, F.C. et al. Resíduos de agroquímicos em água nas áreas de arroz irrigado, em Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25, 2003, Balneário Camboriú. **Anais...** Itajaí: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, 2003, p. 683-685.

DIARRA, A.; SMITH JUNIOR, R.J.; TALBERT, R.E. Growth and morphological characteristics of red rice (*Oryza sativa*) biotypes. **Weed Science**, Champaign, v. 33, n.3, p.310-314, 1985.

DIFANTE, G. S. et al. Produção de Forragem e Rentabilidade da Recria de Novilhos de Corte em Área de Várzea. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n.2, p.433-441, 2005.

DORES, E.F.G.C.; DE-LAMONICA-FREIRE, E.M. Contaminação do ambiente aquático por pesticidas. Estudo de caso: águas usadas para consumo humano em Primavera do Leste, Mato Grosso – análise preliminar. **Química Nova**, v.24, n.1, p. 27-36, 2001.

DUKE, S.O. et al. Clomazone causes accumulation of sesquiterpenoids in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Weed Science**, v.39, p.339-346, 1991.

DUKE, S.O.; PAUL, R.N. Effects of dimethazone (FMC-57020) on chloroplast development. I. Ultrastructure effects in cowpea (*Vigna unguiculata* L.) primary leaves. **Pestic Biochem. Physiol.** v.25, p. 1-10, 1986.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília: Embrapa-SPI, 1999. p. 412.

FAO. Faostat database results. 2003. Disponível em: www.fao.org/faostat. Acesso em: novembro de 2005.

FLINT, J.L.; WITT, W.W. Microbial degradation of imazaquin and imazethapyr. **Weed Science**, v.45, p.586-591, 1997.

GBUREK, W.J.; SHARPLEY, A.N. Hydrologic controls on phosphorus loss from upland agricultural watersheds. **Journal Environmental Quality**, Madison, n.27, p.267-277, 1997.

GEALY, D.R.; MITTEN, D.H.; RUTGER, J.N. Gene flow between red rice (*Oryza sativa*) and herbicide-resistant rice (*O. sativa*): implications for weed management. **Weed Technology**, v.17, n.3, p.627-645, 2003.

GEBLER, L.; SPADOTTO, C. A. Comportamento Ambiental dos Herbicidas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. (Org.). **Manual de Manejo e Controle de Plantas Daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004, v.1, p.57-87.

GENNARI, M.; NÉGRE, M.; VIDROLA, D. Adsorption of the herbicides imazapyr, imazethapyr and imazaquin on soils and humic acids. **Journal Environmental Science Health**. v.33, p.547-567, 1998.

GOETZ, A. J.; LAVY, T. L.; GBUR, E. E. Degradation and field persistence of imazethapyr. **Weed Science**, v.38, p.421-428, 1990.

GUNSOLUS, J. L. et al. Carryover potential of AC-263,449, DPX-F6025, FMC 57020, and imazaquin in Minnesota. Proc. North. Cent. **Weed Control Conf.** p. 41:52. 1986.

HACKWORTH, H.M.; SAROKIN, L.P.; WHITE, R.H. 1997 field evaluation of imidazolinone tolerant rice. Proc. South. **Weed Science**. Soc. 51:221. 1998.

HAMILTON, D.J. et al. Regulatory limits for pesticide residues in water. **Pure Applying Chemistry**, v.75, n.8, p.1123-1155, 2003.

HATZIOS, K.K.; BURGOS, N. Metabolism-based herbicide resistance: regulation by safeners. **Weed Science**, v.52, n.3, p.454-467, 2004.

HUEY, B. A.; BALDWIN, F. L. Red rice control. In: RED RICE RESEARCH AND CONTROL. 1978, Beaumont. **Proceedings** Beaumont: Texas A&M University, 1978. p. 19-25.

IRGA - Instituto Brasileiro do Arroz Irrigado. Acompanhamento Semanal de Colheita do Arroz Irrigado/RS – Safra 2005/2006. Disponível em: www.irga.rs.gov.br. Acesso em: julho de 2006.

JOHNSON, D.H. et al. Nicolsulfuron, primusulfuron, imazethapyr, and DPX-PE350 injury to succeeding crops. **Weed Technology**, v.7, p.641–644, 1993.

KIRKSEY, K.B. et al. Clomazone dissipation in two Tennessee soils. **Weed Science**, v.44, p. 959–963, 1996.

KOLPIN, D.W., THURMAN, E.M., LINHART, S.M. The environmental occurrence of herbicides: The Importance of degradates in ground water. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v.35, p.385-390, 1998.

LAVORENTI, A.; PRATA, F.; REGITANO, J.B. Comportamento de Pesticidas em solos - Fundamentos. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.3, p.291-334, 2003.

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

LOUX, M.M.; REESE, K.D. Effect of soil type and pH on persistence and carryover of imidazolinonesherbicides . **Weed Technology**, v.7, p.452–458, 1993.

LOUX, M.M.; REESE, K. D. Effect of soil pH on adsorption and persistence of imazaquin. **Weed Science**, v. 40, n.3, p. 490-496, 1992.

LOUX, M.M.; SLIFE, F.W. Availability and persistence of imazaquin, imazethapyr, and clomazone in soil. **Weed Science**, v.37, p.259–267, 1989.

MARCOLIN, E.; MACEDO, V.R.M.; JUNIOR, S.A.G. Persistência do herbicida imazethapyr na lâmina de água em três sistemas de cultivo de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3., REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25, Balneário Camboriú – SC, 2003. **Anais...** Camboriú: Epagri, 2003. p.686-688.

MACHADO, S.L.O. Sistemas de estabelecimento do arroz irrigado, consumo de água, perdas de nutrientes, persistência de herbicidas na água e efeitos do jundiá. **TESE (Doutoramento)**. Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2003.

MACHADO, S.L.O. et al. Consumo de água e perdas de nutrientes e de sedimentos na água de drenagem inicial do arroz irrigado. **Ciência Rural**, v.36, n.1, p.65-71, 2006.

MACHADO, S.L.O. et al. Persistência de herbicidas na água de irrigação no arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25, 2003, Camboriú. **Anais...** Camboriú: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, 2003. p.692-694.

MACHADO, S.L.O. et al. Persistência de alguns herbicidas em lâmina de água de lavoura de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 2; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 24, 2001, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Instituto Riograndense do Arroz, 2001. p.775-777.

MACHADO, S.L.O.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L.A. Manejo do arroz-vermelho através da rotação de culturas e herbicidas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO,

1; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 23, 1999, Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p.285-289.

MACHADO, S.L.O. et al. Arroz-vermelho: Levantamento do banco de sementes e potencial de infestação em lavouras comerciais de arroz irrigado da Depressão Central do Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO NACIONAL DO ARROZ IRRIGADO, 6, 1998, Goiânia. **Perspectivas para a cultura do arroz nos ecossistemas de várzea e terras baixas**. Goiânia: Embrapa CNPAF, 1998. p.384-386.

MALEFYT, T.; QUAKENBUSH, L. Influence of environmental factors on the biological activity of the imidazolinone herbicides. In: SHANER, D.L.; O'CONNOR, S.L. eds. *The Imidazolinone Herbicides*. Boca Raton, FL: CRC Press. pp. 104-127. 1991.

MALLIPUDI, N.M.; STOUT, S.J.; DACUNHA, A.R.; LEE, A. Photolysis of imazapyr (AC 243997) herbicide in aqueous media. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.39, n.2, p.412-417, 1991.

MARCHEZAN, E. Arroz-vermelho: caracterização, prejuízos e controle. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.24, n.2, p.415-421, 1994.

MARCHEZAN, E. et al. Controle do arroz-vermelho. In: GOMES, A.S.; MAGALHÃES Jr., A.M. **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.547-577.

MARCHEZAN, E. et al. Dispersão de herbicidas nas águas da bacia hidrográfica do Rio Vacacaí e Vacacaí-Mirim, no período de cultivo do arroz. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA, 1., e REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DO ARROZ, 7, 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: EMBRAPA/ABRARROZ/EPAGRI, 2002, p.670-673.

MARCOLIN, E.; MACEDO, V.R.M.; JUNIOR, S.A.G. Persistência do herbicida imazethapyr na lâmina de água em três sistemas de cultivo de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3, REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25, Balneário Camboriú – SC, 2003. **Anais...** Itajaí: Epagri, 2003. p. 686-688.

MASSON, J.A.; WEBSTER, E.P. Use of Imazethapyr in Water-Seeded Imidazolinone-Tolerant Rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, v.15, p.103-106. 2001.

MATTOS, M.L.T. A cultura do arroz irrigado e o meio ambiente. In: GOMES, A. da S. & MAGALHÃES Jr., A.M. **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.861-899.

MERVOSH, T.L.; SIMMS, G.K.; STOLLER, E.W. Clomazone fate as affected by microbial activity, temperature, and soil moisture. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.43, p.537-543, 1995.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Disponível em: http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 21 de outubro de 2006.

MINISTÉRIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLO TERRITORIAL. REPÚBLICA DE COLOMBIA. **Resolução n. 681, de 02 de junho de 2005**. “Por la cual se

expide um dictamen técnico ambiental para el producto Saat Minuetto ® 480 EC del ingrediente activo clomazone dentro del trámite administrativo de registro”. Colômbia, 2005.

NOLDIN, J. A. Controle de arroz-vermelho no sistema de semeadura em solo inundado. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.41, n.377, p.11-13, 1988.

NOLDIN, J.A.; CHANDLER, J.M.; MCCAULEY, G.N. Red rice (*Oryza sativa*) biology. I. Characterization of red rice ecotypes. **Weed Technology**, v.13, p.12-18, 1999.

NOLDIN, J.A. et al. Persistência do herbicida clomazone em arroz irrigado em arroz irrigado em sistema pré-germinado. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 22, Balneário Camboriú – SC, 1997. **Anais...** Itajaí: Epagri, 1997. p.363-364.

O’DELL, J.D.; WOLT, J.D.; JARDINE, P.M. Transport of imazethapyr in undisturbed soil columns. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v.56, p.1711-1715, 1992.

OTTIS, B.V.; CHANDLER, J.M.; MCCAULEY, G.N. Imazethapyr application methods and sequences for imidazolinone-tolerant rice (*Oryza sativa*). **Weed Technology**, v.17, Champain, p.526-533, 2003.

PARAÍBA, L.C.; LUIZ, A.J.B.; PÉREZ, D.V. Estimativa da Superfície Específica de Solos e do Coeficiente de Sorção de Pesticidas. In: **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 29, Jaguariúna/SP: Embrapa, 2005. 19p.

PETRINI, J.A. et al. **Manejo para redução do banco de sementes de arroz-irrigado no solo**. Pelotas: Embrapa, 1998. 8p. (Embrapa Clima Temperado, Comunicado Técnico, 19).

QURESHI, F.A. **Herbicide carry-over**. Alberta: Alberta Environmental Center Vegreville, 1987. 31p. Relatório Técnico.

RENNER, K.A.; SCHABENBERGER, O.; KELLS, J.J. Effect of tillage application method on corn (*Zea mays*) response to imidazolinone residues in soil. **Weed Technology**, v.12, n.2, p.281-285, 1998.

SANTOS, R.L.B.; SPEHAR, C.R.; VIVALDI, L. Quinoa (*Chenopodium quinoa*) reaction to herbicide residue in a Brazilian Savannah soil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.38, n.6, p.771-776, 2003.

SCHERDER, E.F.; TALBERT, R.E.; CLARK, S.D. Rice (*oryza sativa*) cultivar tolerance to clomazone. **Weed Technology**, v.18, p.140–144, 2004.

SHANER, D.L.; O’CONNER, S. **The Imidazolinone Herbicides**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1991.

SHAW, D.; WIXSON, M. Postemergence combinations of imazaquin or imazethapyr with AC 263,222 for weed control in soybean (*Glycine max*). **Weed Science**, v.39, p.644–649, 1991.

SMITH Jr., R. J. Red rice control. In: Agribusiness worldwide, 1992, Merriam. **Proceedings**. Merriam: Sosland publishing Co, 1992. p.18-23.

- SNYDER, C.S.; SLATON, D.N. Effects of soil flooding and drying on phosphorus reactions. **News and Views**, p.1-3, 2002.
- SOUZA, A.P. et al. Lixiviação de glyphosate e imazapyr em solos com diferentes texturas e composição química. I – Método de Bioensaio. **Planta Daninha**, v.18, n.1, 2000.
- SOUZA, P.R. Arroz-vermelho: um grande problema na orizicultura gaúcha. **Seed News**, Pelotas, n.19, 1999, p.14-16.
- SOUZA, P.R.; FISCHER, M.M. Arroz-vermelho: danos causados à lavoura gaúcha. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.39, n.368, p.19-20, 1986.
- SPADOTTO, C. A. **Comportamento e Destino Ambiental de Herbicidas**. Comitê de Meio Ambiente, Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas. 2002. [online] Disponível: <http://www.cnpma.embrapa.br/herbicidas/>. Acesso em: 10 de maio de 2006.
- STEELE, G.L. et al. Red rice (*Oryza sativa* L.) control with varying rates and application timings of imazethapyr. Proc. South. **Weed Science**, v.53, p.19, 2000.
- STEELE, G.L.; CHANDLER, J.M.; MCCAULEY, G.N. Evaluation of imazethapyr rates and application times on red rice (*Oryza sativa*) control in imidazolinone tolerant rice. Proc. South. **Weed Science**, v.52, p.237, 1999.
- STEELE, G.L.; CHANDLER, J.M.; MCCAULEY, G.N. Control of red rice (*Oryza sativa*) in imidazolinone-tolerant rice (*O. sativa*). **Weed Technology**, v.16, p.627-630, 2002.
- STOUGAARD, R.N.; SHEA, P.J.; MARTIN, A.R. Effect of soil type and pH on adsorption, mobility and efficacy of imazaquin and imazethapyr. **Weed Science**, v.36, p.67-73, 1990.
- TAYLOR, M. Rotational weed control practices in rice. Rural Industries Research and Development Corporation. **Publication n.04/001**. 2004. Disponível no site: www.rirdc.gov.au. Acesso em: 01 de outubro de 2004.
- TERRES, A. L.; GALLI, J. **Fundamentos para a cultura do arroz irrigado**. Efeitos do frio em cultivares de arroz irrigado no Rio Grande do sul. Campinas: Fundação Cargil, 1985, p. 83-94.
- THELEN, K.D.; KELLS, J.J.; PENNER, D. Comparison of application methods and tillage practices on volatilization of clomazone. **Weed Technology**, v.2, p.323–326, 1988.
- TOMITA, R.Y.; BEYRUTH, Z. Toxicologia de agrotóxicos em ambiente aquático. In: **Biológico**. v.64, n.2. São Paulo, 2002. p. 135-142.
- VENCILL, W. K. (Ed.). **Herbicide handbook**. 8 ed. Lawrence, KS: Weed Science Society of America, 2002.
- VIDAL, R. A. **Herbicidas: mecanismos de ação e resistência de plantas**. Porto Alegre: R. A. Vidal, 1997. 165p.
- VILLA, S.C.C. Arroz tolerante a imidazolinonas: controle do arroz-vermelho, persistência de herbicidas e fluxo gênico. 2006. 53f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS.

VILLA, S.C.C. et al. Controle de arroz-vermelho em dois genótipos de arroz (*Oryza sativa*) tolerante/resistente a herbicidas do grupo das imidazolinonas. **Revista Planta Daninha**, (no prelo), 2006.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños, Int. Rice Res. Inst., 269p, 1981.

YORK, A.C. et al. Cotton response to imazapic and imazethapur applied to a preceding peanut crop. **The Journal of Cotton Science**, v.4, p.210-216, 2000.

WILLIAMS, B.J. et al. Weed management systems for Clearfield Rice. **Louisiana Agriculture**, v.45, p.16-17, 2002.

ZANELLA, R. et al. Development and validation of a high-performance liquid chromatographic procedure for the determination of herbicide residues in surface and agriculture waters. **Journal of Separation Science**, v.26, p.935-938, 2003.

ZHANG, W. et al. Differential Tolerance of Rice (*Oryza sativa*) Varieties to Clomazone. **Weed Technology**, v.18, p.73-76, 2004.