

# ATIVIDADE RESIDUAL DE IMAZETHAPYR + IMAZAPIC EM ARROZ SEMEADO EM ROTAÇÃO COM O ARROZ CLEARFIELD®<sup>1</sup>

*Residual Soil Activity of Imazethapyr + Imazapic to Rice Planted in Rotation After Clearfield Rice®*

PINTO, J.J.O.<sup>2</sup>, NOLDIN, J.A.<sup>3</sup>, SOUSA, C.P.<sup>4</sup>, AGOSTINETTO, D.<sup>2</sup>, PIVETA, L.<sup>5</sup> e DONIDA, A.<sup>6</sup>

RESUMO - Objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos da atividade residual da mistura comercial do herbicida Only® (imazethapyr+imazapic) sobre o arroz convencional, cultivar IRGA 417, em solo cultivado em uma e três safras sequenciais de arroz Clearfield® (CL). Quatro experimentos foram conduzidos no município de Capão do Leão, RS, em delineamento de blocos ao acaso, com quatro e oito repetições, respectivamente para dois experimentos de campo (EC<sub>1</sub> e EC<sub>3</sub>) e dois em casa de vegetação (CV<sub>1</sub> e CV<sub>3</sub>). Os tratamentos foram arranjados em esquema fatorial; o fator A, dentro da mesma safra, comparava resíduos em repetições de anos de cultivo, e o fator B avaliava a dose aplicada sobre o arroz CL e a atividade residual do herbicida ao arroz não mutado. Os tratamentos utilizados foram os herbicidas imazethapyr (75 g L<sup>-1</sup>) + imazapic (25 g L<sup>-1</sup>) nas doses de 0, 100, 150 e 200 g ha<sup>-1</sup> do produto comercial Only®, acrescido de 0,5% do adjuvante Dash®. As doses foram aplicadas nos estádios V<sub>3</sub>-V<sub>4</sub> do arroz CL. As variáveis estudadas foram: massa seca da parte aérea, peso de mil grãos e produtividade, nos experimentos em campo (EC<sub>1</sub> e EC<sub>3</sub>) e altura de plantas, massa seca da parte aérea e massa seca de raiz, nos experimentos em casa de vegetação (CV<sub>1</sub> e CV<sub>3</sub>). Os resultados demonstraram que o sistema CL de arroz irrigado pode restringir o cultivo em safras que intercalam cultivares tolerantes e não tolerantes ao herbicida Only, uma vez que a dose de 100 g ha<sup>-1</sup>, recomendada para controlar plantas daninhas nesse sistema de produção, deixa resíduo no solo em quantidade suficiente para interferir negativamente na safra seguinte, em relação ao crescimento e à produtividade do arroz convencional, cultivar IRGA 417.

**Palavras-chave:** arroz-vermelho, imidazolinonas, persistência no solo, *Oryza sativa*.

**ABSTRACT -** The aim of this work was to evaluate the residual soil activity of the herbicide Only (imazethapyr+imazapic) to susceptible rice, cv. IRGA 417, after one or three years of Clearfield® (CL) rice cultivation. Four experiments were conducted at the Universidade Federal de Pelotas, Capão do Leão, RS, southern Brazil. The experimental design was a randomized complete block, with four or eight replications, respectively, for the two field experiments (EC<sub>1</sub> and EC<sub>3</sub>) or the two greenhouse experiments (CV<sub>1</sub> and CV<sub>3</sub>). The treatments were arranged as a factorial with factor A, in the same season, compared residuals per year and factor B, compared herbicide residual rates applied to CL rice. The herbicide used was Only - imazethapyr (75 g L<sup>-1</sup>) + imazapic (25 g L<sup>-1</sup>), applied at 0; 100; 150 and 200 g ha<sup>-1</sup> with surfactant Dash added at 0.5% v/v. The herbicide was applied when CL rice was at the 3-4 leaf stage. The variables measured were aboveground dry biomass, 1000-grain weight and rice yield for experiments EC<sub>1</sub> and EC<sub>3</sub>, and plant height, aboveground dry biomass and root dry biomass for experiments CV<sub>1</sub> and CV<sub>3</sub>. For statistical analysis, the data were pooled together. The results showed that the CL rice system may restrict the cultivation of non-tolerant rice after CL rice. The herbicide Only at the recommended rate (100 g ha<sup>-1</sup>) stays in the soil long enough to affect the growth and yield of susceptible rice.

**Keywords:** red rice, imidazolinones, soil persistence, *Oryza sativa*.

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 4.12.2009 e na forma revisada em 18.2.2011.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup>-Agr<sup>o</sup>, Dr., Professor, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas – UFPel, Campus Capão do Leão, Caixa Postal 354, 96010-900 Pelotas-RS, <jesus.pinto@terra.com.br>; <sup>3</sup> Eng<sup>o</sup>-Agr<sup>o</sup>, Ph.D., Pesquisador da Epagri/EEI; <sup>4</sup> Eng<sup>o</sup>-Agr<sup>o</sup>, M.Sc., Aluna do Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, UFPel; <sup>5</sup> Eng<sup>o</sup>-Agr<sup>o</sup>, Aluno do Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade da UFPel; <sup>6</sup> Engenheiro-Agrônomo, colaborador.



## INTRODUÇÃO

Pesquisas têm sido realizadas com herbicidas do grupo químico das imidazolinonas (inibidores de ALS), visando esclarecer fatores envolvidos na persistência e mobilidade desses produtos no solo, através de injúrias a culturas subsequentes (Basham et al., 1987; Hart et al., 1991; Curran et al., 1992; Ball et al., 2003; Tracy & Penner, 2005). Trabalhos relatados há mais de três décadas mostram que o comportamento de um herbicida no solo é influenciado por processos de retenção, transformação e transporte, que ocorrem de forma simultânea e/ou imediatamente à ocorrência da aplicação (Weber & Weed, 1974). Esses processos são dependentes da interação de diversos fatores, destacando-se o pH (Renner et al., 1988; Rocha et al., 2000), o teor de matéria orgânica, a textura e a mineralogia (Loux et al., 1989; Goetz et al., 1990; Rocha et al., 2000), a temperatura (Flint & Witt, 1997), a umidade do solo (Curran et al., 1992) e a dose aplicada (Gazziero et al., 1997; Silva et al., 1999; Alister & Kogan, 2005).

A diversidade de fatores relacionados à velocidade de degradação de um composto herbicida dificulta estimar o tempo necessário para sua dissipação após a aplicação, uma vez que, no ambiente, diversas são as variáveis que podem influenciar a sua meia-vida. Estudos realizados por Goetz et al. (1990) e Vischetti (1995) com o herbicida imazethapyr indicam que, em condições de campo, a meia-vida desse herbicida pode variar de 2,6 a 10 meses.

Admite-se que a quantidade de herbicida transportada pelo movimento da molécula no perfil do solo seja geralmente menor do que 1% do total aplicado (Carter, 2000). Entretanto, para herbicidas derivados de ácidos fracos, como os pertencentes ao grupo químico das imidazolinonas (Sensemann, 2007), aplicados em solo com pH tendendo à neutralidade, a lixiviação é mais significativa, podendo ter sua atividade alterada, assim como sua persistência no solo e no ambiente (Inoue et al., 2002). Trabalhos demonstram que a movimentação de herbicidas no perfil do solo para áreas de menor atividade microbiana prolonga o período de atividade desses compostos (Sarmah et al., 1999; Costa et al., 2000; Prata et al., 2000).

Geralmente, a atividade residual no solo, da maioria dos herbicidas, é muito alterada pelo pH, pelos teores de argila, pela matéria orgânica e também pela microbiota do solo. Quando as condições de sorção do herbicida são favorecidas, ocorre redução na sua atividade e mobilidade. Ao comparar a sorção ao solo de herbicidas do grupo das imidazolinonas, Goetz et al. (1990) e Loux & Reese (1992) verificaram que a adsorção de imazaquin aumenta com o decréscimo de pH, enquanto Renner et al. (1988) observaram que a adsorção de imazethapyr é maior que a de imazaquin, em diferentes valores de pH. O grau de sorção de um herbicida ao solo é um fator que influencia a taxa de degradação, devido à não disponibilidade das moléculas adsorvidas aos microrganismos responsáveis pela degradação. Como consequência, geralmente os herbicidas persistem mais em solos com maiores teores de argila e matéria orgânica e baixo pH (Milanova & Grigorov, 1996). Paralelamente, Marsh & Lloyd (1996) relataram que a dissipação de imazaquin no solo foi rápida durante as 12 primeiras semanas após a aplicação em solo com pH superior a 5,5 e mais lenta em pHs mais baixos.

Os fatores climáticos também influenciam a persistência de herbicidas no solo (Flint & Witt, 1997). O regime de chuvas pode ser determinante na degradação de herbicidas, uma vez que a umidade ideal para a degradação de imazaquin e imazethapyr é de 75% da capacidade de campo; ao mesmo tempo, verificou-se que a persistência de ambos os produtos foi duas vezes maior em temperatura menor, quando submetidos a 15 e 30 °C.

Objetivou-se com este trabalho avaliar a atividade residual no solo da mistura formulada comercialmente Only® (imazethapyr + imazapic), pertencente ao grupo das imidazolinonas (inibidores de ALS), aplicada sobre o cultivar de arroz sensível IRGA 417, em uma ou três safras sequenciais de arroz Clearfield®.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos quatro experimentos: dois em condições de campo e dois em condições de ambiente semicontrolado, em casa de vegetação.

Os dois primeiros foram instalados no Centro Agropecuário da Palma (CAP), e os dois últimos, em casa de vegetação da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), locais pertencentes à Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), município de Capão do Leão-RS. Os experimentos conduzidos em campo foram denominados de (EC<sub>1</sub>) e (EC<sub>3</sub>), respectivamente, para representar estudos que envolveram a atividade residual de Only aplicado em uma e três safras sequenciais de arroz CL, ocupando áreas contíguas, cultivadas em sistema de sucessão com uma ou três safras de arroz CL, intercaladas pela cultura do azevém nas estações frias.

O solo em que se conduziram os experimentos é classificado como Planossolo Háplico Eutrófico solódico, Unidade de Mapeamento Pelotas (Embrapa, 2006). As características químicas e granulométricas (Tabela 1) do solo foram determinadas no laboratório de análises de solos da FAEM. Os resultados da análise química serviram de diagnóstico para os procedimentos de correção e manutenção de fertilidade, realizados conforme as recomendações técnicas da cultura do arroz (SOSBAI, 2007).

Os manejos nas áreas dos experimentos EC<sub>1</sub> e EC<sub>3</sub> constaram, respectivamente, de um e três anos de cultivos de arroz CL e azevém de cultivar indefinido, semeado na entressafra, em sucessão ao arroz CL. No primeiro ano semeou-se o cultivar Cypress CL e, nos dois últimos, IRGA 422 CL. Na segunda e quarta safras, respectivamente para EC<sub>1</sub> e EC<sub>3</sub>, cultivou-se o arroz convencional, cultivar IRGA 417, para servir como espécie indicadora de atividade residual do herbicida Only.

O arroz CL foi cultivado no experimento EC<sub>1</sub> somente na safra 2004/05, e no experimento EC<sub>3</sub>, nas safras 2002/03, 2003/04 e 2004/05. No primeiro ano de cultivo, utilizou-se o sistema convencional; nos demais anos foi empregado o sistema de semeadura direta.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram arrançados em esquema fatorial, em que o fator A, dentro da mesma safra, comparou resíduos da mistura comercial dos herbicidas imazethapyr+imazapic em repetições de anos de cultivo, e no fator B avaliou-se o efeito de dose na atividade

residual do herbicida. As unidades experimentais constaram de parcelas de 15 m<sup>2</sup> (5,0 x 3,0 m), com área útil de 8,8 m<sup>2</sup>. As parcelas foram separadas por taipas, com a finalidade específica de proteger os tratamentos de possíveis contaminações com os tratamentos adjacentes e também para manter nas parcelas o nível desejado da água de irrigação. Os blocos foram constituídos por quatro unidades experimentais, as quais receberam por sorteio os herbicidas, que corresponderam a 0, 100, 150 e 200 g ha<sup>-1</sup> do herbicida Only®, acrescido de 0,5% v/v do adjuvante Dash®. O herbicida foi aplicado em pós-emergência, quando o arroz se encontrava no estágio fenológico V<sub>3</sub>-V<sub>4</sub> (SOSBAI, 2007), utilizando-se um pulverizador costal, pressurizado a CO<sub>2</sub>, munido de quatro pontas de pulverização do tipo leque (110.02) e à pressão constante de 210 kPa. A regulagem utilizada no equipamento proporcionou a aplicação equivalente ao volume de 150 L ha<sup>-1</sup> de calda herbicida. A irrigação permanente do arroz foi mantida a partir do 6<sup>a</sup>, 7<sup>a</sup> e 11<sup>a</sup> dias após a aplicação dos tratamentos, respectivamente, nas safras 2002/03, 2003/04 e 2004/05. Para aplicação dos tratamentos no experimento EC<sub>3</sub>, onde foi repetido mais de um cultivo de arroz CL, foram mantidos o sorteio dos tratamentos e o croqui de campo utilizado no primeiro ano.

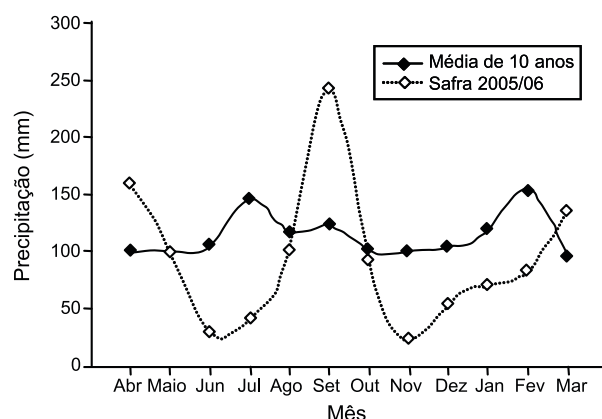
O cultivar IRGA 417 foi semeado em 13 linhas, no espaçamento de 17 cm, em sistema direto, sobre a palha contendo restos culturais de arroz CL e, principalmente, de azevém, que foi a última cultura que antecedeu ao arroz convencional. As condições climáticas relativas à precipitação pluvial (Figura 1), à temperatura (Figura 2) e à evaporação (Figura 3) no período foram registradas pela Embrapa/UFPEL, cuja estação meteorológica dista 4,0 km do local onde foram conduzidos os dois experimentos de campo.

As variáveis-resposta estudadas nos experimentos EC<sub>1</sub> e EC<sub>3</sub> foram: massa seca da parte aérea (MSA), massa de mil grãos P(1000) e produtividade. A MSA foi avaliada quando as plantas de arroz atingiram o estágio V6, coletando-se a parte aérea delas, e transferiu-se para uma estufa de circulação forçada de ar em temperatura de 65±5 °C até atingir massa constante.

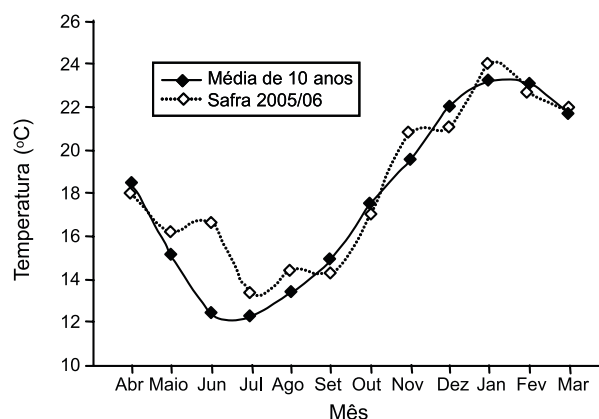


**Tabela 1** - Diagnóstico para calagem do solo, recomendações de adubação NPK, S, micronutrientes e relações molares e análise granulométrica das amostras

Registro	pH água	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC efetiva	Saturação (%)		Índice SMP		
		(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )					Al	Bases			
Amostra	5,0	1,8	0,7	1,0	3,0	3,6	29	46	6,3		
Registro	% Mat. Org. m/v	% Argila		Textura	P-Mehlich (mg dm <sup>-3</sup> )	P-Resina	CTC Ph 7 (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )		(K mg dm <sup>-3</sup> )		
Amostra	1,2	16		4,0	11,4	---	5,5		17		
Registro	S	Cu	Zn	B	Fe	Mn	Na	Relações			
	(mg dm <sup>-3</sup> )							Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	K/(Ca+Mg)
Amostra	---	0,9	1,0	---	13	17	17	2,5	43,6	17,8	0,027
Registro	Granulometria (%)										
	Argila		Silte			Areia			Argila dispersa em água		
Amostra	15,4		41,4			43,2			9,6		



**Figura 1** - Precipitação, em mm, observada na Estação Meteorológica de Pelotas (Embrapa/UFPel). Capão do Leão-RS - 2007.

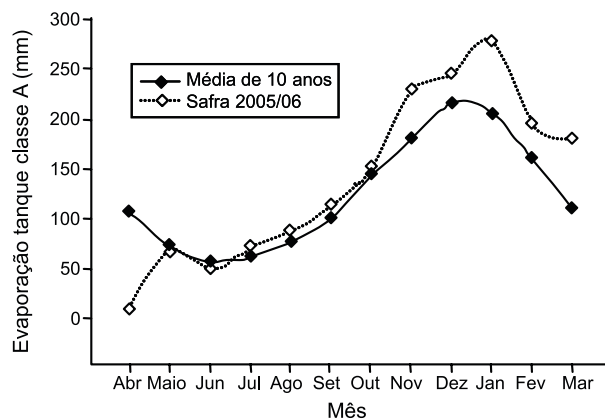


**Figura 2** - Temperatura média (°C) mensal no período de condução do experimento, observada na Estação Meteorológica de Pelotas (Embrapa/UFPel). Capão do Leão-RS - 2007.

Os dados referentes à variável-resposta produtividade de arroz foram obtidos a partir da colheita manual das panículas quando atingiram umidade próxima a 22%, em área útil de 4 m<sup>2</sup> (4 x 1 m) da área central de cada parcela, corrigindo-se o teor de umidade para 13% e extrapolando os dados para kg ha<sup>-1</sup>. Para determinar o P(1000) de arroz, foram tomadas, ao acaso, oito amostras de 100 sementes, conforme Brasil (1992).

Para os dois experimentos conduzidos em casa de vegetação, CV<sub>1</sub> e CV<sub>3</sub>, que se referem,

respectivamente, a solo com resíduo de uma e três safras sucessivas de arroz CL, foram utilizados solos dos experimentos conduzidos em campo. Da área útil de cada parcela, antes do início da irrigação permanente, foram coletadas duas amostras de solo, com auxílio de um anel cilíndrico de ferro com 15 cm de diâmetro e altura. As amostras foram transferidas para vasos com as mesmas dimensões do coletor, evitando-se assim alterações da estrutura e do perfil do solo. Os vasos foram construídos com tubos de PVC e vedados com tampões do mesmo material em uma das



**Figura 3** - Evaporação em tanque classe A (mm), observada na Estação Meteorológica de Pelotas (Embrapa/UFPel). Capão do Leão-RS - 2007.

extremidades, para evitar o escoamento da água de irrigação. Os vasos foram transportados para casa de vegetação e, em ambos os experimentos, dispostos num arranjo de blocos casualizados, com oito repetições. No dia seguinte à coleta, foram semeadas 10 sementes de arroz cultivar IRGA 417, considerado, entre cinco cultivares testados previamente, o mais sensível ao herbicida Only® (Dal Magro et al., 2006). No sétimo dia após a emergência (DAE), a população foi corrigida para cinco plantas por vaso, e a partir dos 15 DAE a irrigação dos dois experimentos passou a ser mantida por inundação.

As plantas foram colhidas aos 32 DAE, quando, no tratamento testemunha, estavam em estágio V5. Foi avaliada, nessa ocasião, a estatura de plantas, MSA e massa seca do sistema radical (MSR).

A estatura de plantas foi obtida medindo-se a distância entre o colo da planta até o ápice

da folha mais jovem. A seguir, as plantas foram retiradas dos vasos e colocadas sobre uma peneira com malha de 2 mm, efetuando-se a separação de raiz e solo com auxílio de água para separar os materiais. A parte aérea e as raízes foram armazenadas, separadamente, em sacos de papel e acondicionadas em estufa elétrica, com circulação de ar e temperatura de  $65 \pm 5$  °C, até atingirem massa constante.

Para ambos os experimentos, campo e casa de vegetação, foram realizadas análises conjuntas. Os dados gerados foram submetidos à análise da variância ( $p \leq 0,05$ ); sendo significativos, foram testados por modelos de regressão polinomial (Machado & Conceição, 2007). A escolha dos modelos baseou-se na significância estatística (teste F), no ajuste do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e no significado biológico do modelo, conforme proposto por Adati et al. (2006). Na plotagem das figuras foi utilizado o programa SigmaPlot, versão 8.0.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação entre os fatores anos de cultivo com arroz CL e dose herbicida para a variável produtividade de grãos, enquanto MSA e P(1000) apresentaram significância somente para o fator dose (Tabela 2).

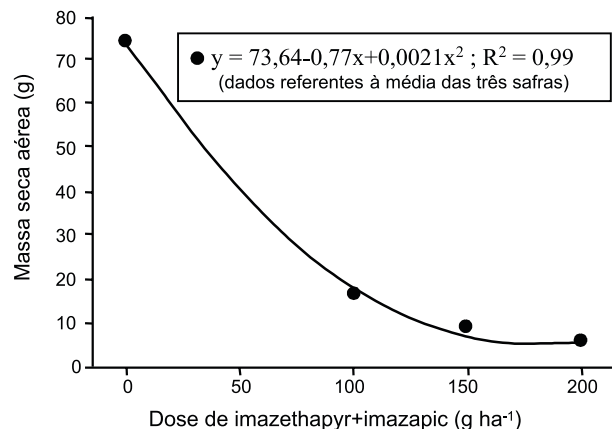
A inclinação da curva relativa à MSA (Figura 4) mostra, comparativamente à testemunha sem aplicação ( $0 \text{ g ha}^{-1}$ ), a ação residual da mistura comercial dos herbicidas (imazethapyr+imazapic) nas doses avaliadas sobre as plantas de arroz. Estas, quando cultivadas em solo tratado com 100, 150 e  $200 \text{ g ha}^{-1}$  desses produtos, diminuíram, respectivamente, em 76, 95 e 96% a produção de MSA do arroz convencional (Figuras 4 e 5).

**Tabela 2** - Resumo das análises estatísticas – experimentos de campo

Fonte	GL	Massa seca parte aérea	P(1000)	Produtividade de grãos	
p DOSE	3	$5,95 \times 10^{-10}$ *	0,0311*	$3,40 \times 10^{-008}$	
p AMBIENTE	1	0,6578	0,9594	0,7423	
p DOSE x AMBIENTE	3	0,0642	0,9294	0,00097*	
p Linear	1	$9,99 \times 10^{-011}$	0,0088*	EC1: $5,57 \times 10^{-009}$ *	EC3: $5,98 \times 10^{-005}$ *
p Quadrática	1	0,0001*	0,1344	EC1: 0,8101	EC3: 0,4993
p Cúbica	1	0,4939	0,899	EC1: 0,0417	EC3: 0,0119
CV (%)	---	42,50	2,84	26,26	

\* Valores significativos a 5% de probabilidade.



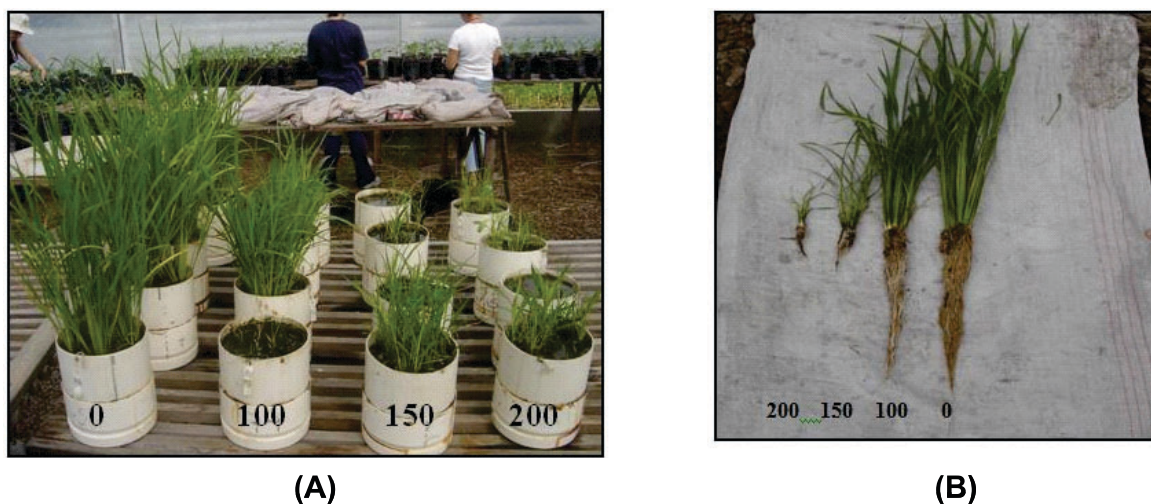


**Figura 4** - Atividade residual da mistura dos herbicidas imazethapyr+imazapic na massa seca da parte aérea das plantas de arroz cultivar IRGA 417, semeado em rotação com o arroz Clearfield®. FAEM/UFPel, Capão do Leão-RS, 2007.

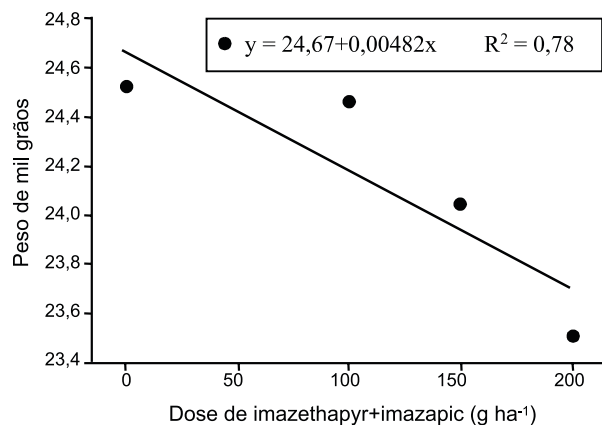
Quanto ao P(1000), à semelhança da MSA, ele também não foi afetado pelo número de safras com arroz CL que antecederam ao cultivar IRGA 417, indicando também não ter havido, no solo, efeito acumulativo da aplicação de imazethapyr+imazapic (Figura 6). Contudo, diferentemente da MSA, essa variável mostrou redução linear com o aumento da dose do herbicida. A atividade residual advinda da dose de 100 g ha<sup>-1</sup>, indicada para controle de arroz-vermelho no sistema CL, reduziu em 2% o P(1000) do arroz cultivar IRGA 17.

No tocante à produtividade de grãos (Figura 7), observou-se interação significativa entre a dose dos herbicidas imazethapyr+imazapic e o número de safras com arroz CL anteriores à semeadura do cultivar IRGA 417. Tanto no EC<sub>1</sub> como no EC<sub>3</sub>, os resultados encontrados ajustaram-se a equações lineares e mostraram que todos os tratamentos mantiveram atividade residual no solo suficiente para afetar negativamente a produtividade do cultivar IRGA 417. Os resultados deste trabalho sugerem que, a cada acréscimo de 1 g à dose do herbicida, a cultura respondeu com decréscimos na produtividade de 31,0 e 15,7 kg ha<sup>-1</sup> nos experimentos EC<sub>1</sub> e EC<sub>3</sub>, respectivamente. Sobre esses valores, pode-se inferir ainda que a atividade herbicida da dose de 200 g ha<sup>-1</sup> resultou em reduções na produtividade de grãos de 90% no EC<sub>1</sub> e de 62% no EC<sub>3</sub>. Esses resultados podem servir de suporte para futuros estudos sobre aplicações aéreas na região, pois nessa prática o transpasse da aspersão é frequente, em função de variações bruscas de velocidade e deslocamento do vento.

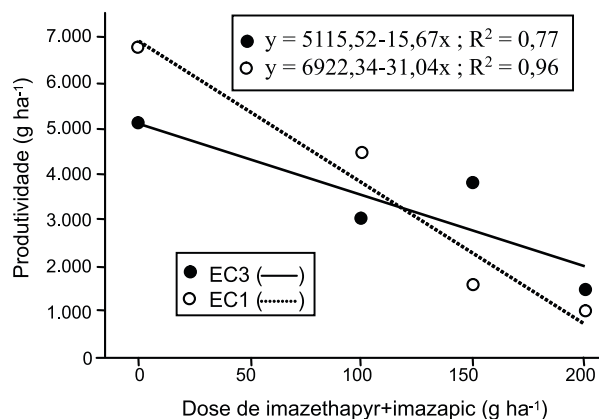
Os resultados da análise conjunta dos experimentos CV<sub>1</sub> e CV<sub>3</sub> mostraram diferença na estatura de planta para doses de imazethapyr+imazapic, ao passo que para a MSA e MSR houve interação entre doses do herbicida e número de safras consecutivas sob sistema CL de arroz irrigado (Tabela 3).



**Figura 5** - Efeito da atividade residual da mistura dos herbicidas imazethapyr + imazapic, aplicados nas doses de 0, 100, 150 e 200 g ha<sup>-1</sup>, no crescimento do sistema aéreo (A) e aéreo/radical (B), das plantas de arroz cultivar IRGA 417, semeado em rotação com o arroz Clearfield®. UFPEL. Capão do Leão-RS, 2007.



**Figura 6** - Atividade residual da mistura comercial dos herbicidas imazethapyr+imazapic no P(1000) de arroz cultivar IRGA 417, semeado em rotação com o arroz Clearfield®. CAP/UFPel, Capão do Leão-RS, 2007.



**Figura 7** - Atividade residual da mistura comercial dos herbicidas imazethapyr+imazapic na produtividade de grãos do cultivar IRGA 417, semeado em rotação com o arroz Clearfield®. CAP/UFPel, Capão do Leão-RS, 2007.

**Tabela 3** - Resumo das análises estatísticas – experimentos de casa de vegetação

Fonte	GL	Estatura de Plantas	Massa seca parte aérea		Massa seca raiz	
p DOSE	3	4,16x10 <sup>-010</sup> *	1,32x10 <sup>-009</sup>		3,18x10 <sup>-008</sup>	
p AMBIENTE	1	0,2616	0,0855		0,0188	
p DOSE x AMBIENTE	3	0,1674	0,0455*		0,0011*	
p Linear	1	4,07x10 <sup>-011</sup> *	CV1: 3,20x10 <sup>-007</sup>	CV3: 2,73x10 <sup>-009</sup> *	CV1: 0,0006*	CV3: 1,93x10 <sup>-009</sup>
p Quadrática	1	0,002	CV1: 0,0090*	CV3: 0,5741	CV1: 0,1285	CV3: 0,037*
p Cúbica	1	0,573	CV1: 0,8632	CV3: 0,0455	CV1: 0,7664	CV3: 0,3548
CV (%)	---	29,01	43,85		58,44	

A estatura de planta no arroz (Figura 8) também sofreu interferência da atividade residual dos herbicidas imazethapyr+imazapic. Na equação  $y=38,55-0,178x$ , verifica-se que o resíduo restante de 1 g de herbicida aplicado manteve atividade suficiente para reduzir em 0,18 cm cada cm de estatura de planta. Isso revela que a atividade residual remanescente de 100 g ha<sup>-1</sup> limitou em 53% o crescimento da estatura de planta, em ambos os experimentos.

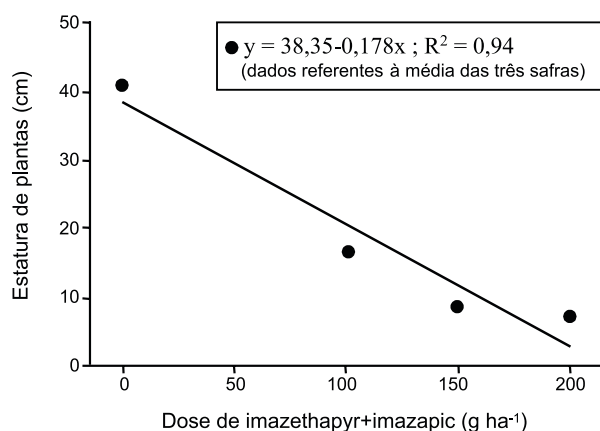
Os resultados mostram, comparativamente à testemunha, no CV<sub>1</sub>, reduções significativas nas produções de MSA nos tratamentos com resíduo do herbicida. Os resíduos que restaram das doses de 100, 150 e 200 g ha<sup>-1</sup> da mistura comercial dos herbicidas imazethapyr + imazapic reduziram, respectivamente, em 78, 93 e 93% a produção de massa, em relação aos 15,5 g produzidos

pele tratamento testemunha (Figura 9). A tendência de queda mais acentuada da curva até o ponto correspondente a 100 g ha<sup>-1</sup> mostra a elevada sensibilidade do cultivar IRGA 417 aos herbicidas imazethapyr+imazapic. No experimento CV<sub>3</sub>, diferentemente de CV<sub>1</sub>, os dados observados mostram redução da MSA através de equação linear, indicando que os decréscimos ocorreram na razão direta e proporcional ao incremento na dose, significando que para cada 1 g de produto aplicado corresponderam diminuições de 0,1 g de massa seca. Isso demonstra, nas condições em que foi conduzido o experimento, que a dose de 100 g ha<sup>-1</sup> do herbicida avaliado deixou resíduo no solo em quantidade suficiente para limitar em 53% a produção de MSA do arroz convencional.

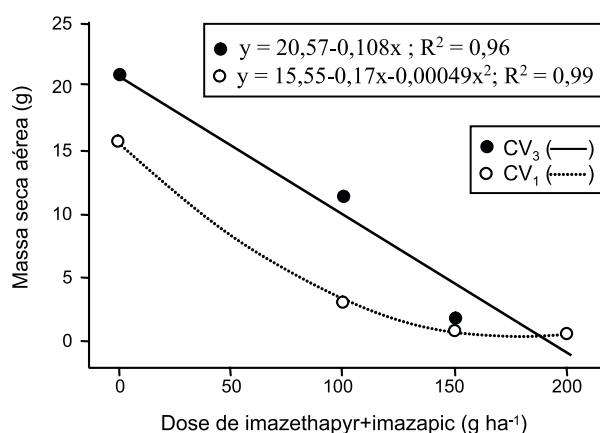
Em relação à MSR, houve significância estatística para dose do herbicida e interação entre doses e safras de arroz CL que



antecederam o arroz IRGA 417 (Figura 10). O teste de regressão polinomial indicou comportamento diferenciado da MSR entre os dois experimentos em casa de vegetação. No CV<sub>1</sub> a redução de produção de MSR foi linear com os aumentos da dose do herbicida, de modo que a cada grama do herbicida aplicado restaram resíduos suficientes para reduzir em 0,085 g a produção de MSR. O mesmo aconteceu no CV<sub>3</sub>, onde também houve redução de MSR em função dos aumentos na dose do herbicida, apresentando comportamento de regressão



**Figura 8** - Atividade residual da mistura comercial dos herbicidas imazethapyr+imazapic na estatura das plantas do cultivar IRGA 417, semeado em rotação com o arroz Clearfield®. FAEM/UFPel, Capão do Leão-RS, 2007.

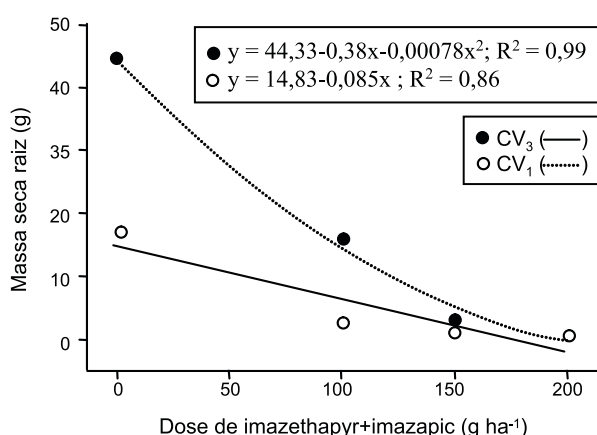


**Figura 9** - Atividade residual da mistura comercial dos herbicidas imazethapyr+imazapic na massa seca da parte aérea de plantas de arroz cultivar IRGA 417, semeado em rotação com o arroz Clearfield®. FAEM/UFPel, Capão do Leão-RS, 2007.

quadrática. Por meio da MSR, constatou-se que, um ano após a aplicação, a dose de 100 g ha<sup>-1</sup> manteve resíduo em quantidade suficiente no solo para reduzir em 57 e 68% a produção de MSR do cultivar IRGA 417, respectivamente, em áreas com um e três anos de sistema CL. A permanência desses compostos no solo além do período desejado é atribuída a um conjunto de fatores, que incluem características físico-químicas dos herbicidas e do solo, e às condições climáticas no período entre a colheita do arroz CL e a semeadura do arroz IRGA 417. Além disso, outros fatores, como aumento da dose (Silva et al., 1999) e valores reduzidos de pH (Tracy & Penner, 2005), podem igualmente contribuir para o aumento na atividade residual de herbicidas do grupo das imidazolinonas.

As análises físico-químicas do solo revelaram pH de 5,0 e CTC de 3,6, 1,2% de matéria orgânica, 15,44% de argila, 41,2% de silte e 43,19% de areia (Tabela 1). Estudos demonstraram que a elevada atividade residual dos compostos imazaquin e imazethapyr está relacionada com elevados teores de argila e matéria orgânica (Basham et al., 1987; Curran et al., 1992; Regitano et al., 2001).

Considerando que os experimentos foram conduzidos em solo franco-argiloarenoso, com baixo percentual de matéria orgânica, e que a adsorção dos herbicidas imazethapyr e



**Figura 10** - Efeito da atividade residual da mistura comercial dos herbicidas imazethapyr+imazapic na massa seca da raiz das plantas de arroz cultivar IRGA 417, semeado em rotação com o arroz Clearfield®. FAEM/UFPel, Capão do Leão-RS, 2007.



imazapic aos coloides é relativamente fraca (Sensemann, 2007), torna-se possível admitir que a inundação, mantida por um período aproximado de 90 dias, possa ter lixiviado esses compostos para camadas mais inferiores no perfil do solo. Em adição, esse solo tem a camada arável situada à profundidade máxima, entre 30 e 50 cm, limitada por uma camada de argila de alta densidade, predominando do tipo 1:1, o que reduz, nesse sentido, o movimento descendente da água e, conseqüentemente, também deve limitar a lixiviação do herbicida, além dessa camada.

As áreas experimentais de campo (EC<sub>1</sub> e EC<sub>3</sub>) foram drenadas em março de 2005 para a colheita do arroz CL. A partir dessa época até dezembro do mesmo ano, quando o arroz (IRGA 417) foi semeado, a umidade do solo passou a ser mantida pela precipitação pluvial (Figura 1). No período, a precipitação foi muito inferior à média dos últimos 10 anos, o inverno foi mais quente (Figura 2) e, conseqüentemente, a evaporação também superou a média do último decênio (Figura 3).

Nesse caso, a irrigação por inundação transportou o herbicida no sentido descendente, para áreas onde foi preservada a sua atividade. Por outro lado, a deficiência de umidade nas camadas mais superficiais do solo por um período prolongado e por efeito da temperatura e da evaporação tende a provocar, por capilaridade, o retorno do herbicida às camadas mais superficiais do solo, ao alcance do sistema radical das plantas do arroz. Isso pode explicar o menor crescimento das plantas de arroz observado em todas as variáveis avaliadas nos quatro experimentos. Os movimentos ascendente e descendente de imazethapyr+imazapic no perfil do solo sugeridos nesta pesquisa foram observados para o herbicida imazapyr (Firmino et al., 2008). Nessa investigação, a mobilidade de imazapyr em três solos com diferentes capacidades de sorção apresentou alta juntamente com a água no perfil, tanto no sentido ascendente como no descendente. Esses autores relataram ainda que a alta mobilidade do imazapyr pode levar à contaminação de corpos d'água, bem como ocasionar ciclos de permanência do produto nas camadas mais superficiais, de acordo com a disponibilidade de umidade no solo.

Diante dos resultados, conclui-se que o cultivar IRGA 417 é sensível à mistura comercial dos herbicidas imazethapyr+imazapic, podendo ser utilizado como planta indicadora da atividade residual dessa mistura em solos manejados pelo sistema Clearfield® de arroz irrigado. Esse sistema pode restringir o cultivo de safras que intercalam cultivar tolerante e não tolerante a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas. A dose de 100 g ha<sup>-1</sup> dos herbicidas imazethapyr+imazapic, recomendada para controlar plantas daninhas no sistema de produção de arroz Clearfield®, deixa resíduo no solo em quantidade suficiente para interferir negativamente no crescimento e na produtividade do arroz cultivar IRGA 417.

## LITERATURA CITADA

- ADATI, C.; OLIVEIRA, V. A.; KARAM, D. Análise matemática e biológica dos modelos de estimativa de perdas de rendimento na cultura devido à interferência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 24, n. 1, p. 1-12, 2006.
- ALISTER, C.; KOGAN, M. Efficacy of imidazolinone herbicides applied to imidazolinone-resistant maize and their carryover effect on rotational crops. **Crop Protec.**, v. 24, n. 4, p. 375-379, 2005.
- BALL, D. A.; YENISH, J. P.; ALBY, T. Effect of imazamox soil persistence on dryland rotational crops. **Weed Technol.**, v. 17, n. 1, p. 161-165, 2003.
- BASHAM, G. et al. Imazaquin persistence and mobility in three Arkansas soils. **Weed Sci.**, v. 35, n. 4, p. 576-582, 1987.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: 1992. 365 p.
- CARTER, A. D. Herbicide movement in soils: principles, pathway and process. **Weed Res.**, v. 40, n. 1, p. 22-113, 2000.
- COSTA, M. A.; MONTEIRO, R. T. R.; TORNISIELO, V. L. Degradação de ametrina em Areia Quartzosa com adição de solo rizosférico de cana-de-açúcar. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 24, n. 1, p. 43-48, 2000.
- CURRAN, W. S. et al. Photolysis of imidazolinone herbicides in aqueous solution and on soil. **Weed Sci.**, v. 40, n. 1, p. 143-148, 1992.



- DAL MAGRO, T. et al. Suscetibilidade de culturas de arroz irrigado (*Oryza sativa*) à deriva simulada do herbicida imazethapyr+imazapic. **Planta Daninha**, v. 24, n. 4, p. 751-759, 2006.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- FIRMINO, L. E. et al. Movimento do herbicida imazapyr no perfil de solos tropicais. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, p. 223-230, 2008.
- FLINT, J. L.; WITT, W. W. Microbial degradation on imazaquin and imazethapyr. **Weed Sci.**, v. 45, n. 4, p. 586-591, 1997.
- GAZZIERO, D. L. P. et al. Persistência dos herbicidas imazaquin e imazethapyr no solo e os efeitos sobre plantas de milho e pepino. **Planta Daninha**, v. 15, n. 2, p. 162-169, 1997.
- GOETZ, A. J.; LAVY, T. L.; GBUR JR, E. E. Degradation and field persistence of Imazethapyr. **Weed Sci.**, v. 38, n. 4-5, p. 421-428, 1990.
- HART, R. G.; LIGNOWSKI, E. M.; TAYLOR, F. R. Imazethapyr herbicide. In: SHANER, D. L.; O'CONNOR, S. L. eds. **The imidazolinone herbicides**. Boca Raton : CRC Press, 1991. p. 247-256.
- INOUE, M. H. et al. Calagem e o potencial de lixiviação de imazaquin em colunas de solo. **Planta Daninha**, v. 20, n. 1, p. 125-132, 2002.
- LOUX, M. M.; LIEBEL, A.; SLIFE, F. W. Adsorption of imazaquin and imazethapyr on soils, sediments and selected adsorbents. **Weed Sci.**, v. 37, n. 5, p. 712-718, 1989.
- LOUX, M. M.; REESE, K. D. Effect of soil on adsorption and persistence of imazaquin. **Weed Sci.**, v. 40, n. 3, p. 490-496, 1992.
- MACHADO, A. A.; CONCEIÇÃO, A. R. **WinStat – Sistema de análise estatística para Windows versão 1.0**. Pelotas:Universidade Federal de Pelotas, 2007.
- MARSH, B. H.; LLOYD, R. W. Soil pH effect on imazaquin persistence in soil. **Weed Technol.**, v. 10, n. 2, p. 337-340, 1996.
- MILANOVA, S.; GRIGOROV, P. Movement and persistence of imazaquin, oxyflourfen, flurochloridone and terbacil in soil. **Weed Res.**, v. 36, n. 1, p. 31-36, 1996.
- PRATA, F. et al. Degradação e adsorção de diuron em solos tratados com vinhaça. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 24, n. 1, p. 217-223, 2000.
- REGITANO, J. B.; ALLEONI, L. R.; TORNISIELO, V. L. Atributos de solos tropicais e a sorção de imazaquin. **Sci. Agric.**, v. 58, n. 4, p. 801-807, 2001.
- RENNER, K. A.; MEGITT, W. F.; PENNER, D. Effect of soil pH on imazaquin and imazethapyr adsorption to soil and phytotoxicity to corn (*Zea mays*). **Weed Sci.**, v. 36, n. 1, p. 78-83, 1988.
- ROCHA, W. S. D. et al. Influência do pH na sorção de imazaquin em um Latossolo Vermelho Acriférico. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 24, n. 3, p. 649-655, 2000.
- SARMAH, A. K.; KOOKANA, R. S.; ALSTOKN, A. M. Degradation of chlorsulfuron and triasulfuron in alkaline soils under laboratory conditions. **Weed Res.**, v. 39, n. 2, p. 83-94, 1999.
- SENSEMANN, S. A. **Herbicide handbook**. 9.ed. Lawrence: WSSA, 2007. 458 p.
- SILVA, A. A. et al. Efeito residual no solo dos herbicidas imazamox e imazethapyr para as culturas de milho e sorgo. **Planta Daninha**, v. 17, n. 3, p. 345-354, 1999.
- SOCIEDADE SUL BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO - SOSBAI. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Pelotas: Sosbai, Embrapa Clima Temperado, 2007. 164 p.
- TRACY, M. A.; PENNER, D. Adsorption, desorption, and degradation of imidazolinones in soil. **Weed Technol.**, v. 19, n. 1, p. 154-159. 2005.
- VISCHETTI, C. Measured and simulated persistence of imazethapyr in soil. **B. Environ. Contam. Toxicol.**, v. 54, p. 420-427, 1995.
- WEBER, J. B.; WEED, S. B. Effects of soil the biological activity of pesticides. In: GUENZI, W. D. ed. **Pesticides in soil and water**. Madison: Soil Science Society of America, 1974. p. 223-256.