

## **FITOREMEDIÇÃO EM VASOS CONTENDO SOLO DE CULTIVO DE ARROZ IRRIGADO COM RESIDUAL DE IMIDAZOLINONAS**

BALBINOT, A. (UFSM, Santa Maria/RS – andribalbinot@hotmail.com), SOUTO, K. M. (UFSM, Santa Maria/RS – kelenmuller85@gmail.com), AVILA, L. A. (FAEM – UFPel, Pelotas/RS – laavilabr@gmail.com), MACHADO, S. L. O. (UFSM, Santa Maria/RS – slomachado@yahoo.com.br), PICCININI, F. (UFSM, Santa Maria/RS – piccininiroca@hotmail.com).

**RESUMO:** A fitorremediação de herbicidas que apresentam persistência significativa no ambiente é uma tecnologia promissora para a agricultura sustentável. Em vista do exposto, esse trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade de espécies vegetais na remediação dos herbicidas imazetapir, imazapique e imazapir, utilizados isolados e em mistura. Os tratamentos foram compostos pela combinação entre seis espécies vegetais e cinco doses de herbicidas (zero, 25%, 50%, 100% e 200% da dose de referência para cada herbicida estudado). Para a avaliação do potencial fitorremediador dessas espécies foi realizado um bioensaio com arroz irrigado (*Oryza sativa*), cultivar IRGA 417, onde foram avaliadas a estatura, massa seca da parte aérea e sintomas de fitointoxicação. Soja, feijão-de-porco, ervilhaca e consórcio de trevo branco e cornichão, são plantas fitorremediadoras de solo de cultivo de arroz irrigado contaminado com os herbicidas imazetapir, imazapique e imazapir, quando presentes em mistura ou isolados. O azevém e o arroz CL não são remediadoras de solo contaminado com herbicidas do grupo químico das imidazolinonas.

**Palavras-chave:** Biorremediação, *Oryza sativa*, imazetapir, imazapique, imazapir.

### **INTRODUÇÃO**

Os herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, que são recomendados para o controle de arroz vermelho na cultura do arroz (*Oryza sativa*) Clearfield® (STEELE et al., 2002), são herbicidas que possuem como principal característica a elevada persistência no solo, podendo causar fitointoxicação e redução no rendimento de grãos de culturas semeadas em sucessão/rotação que não sejam tolerantes a esses compostos (SOUSA et al., 2012).

Buscando alternativas para a utilização de áreas agrícolas com presença de compostos persistentes e fitotóxicos no solo, tem-se dado ênfase para o emprego de espécies vegetais com capacidade de remover e/ou degradar xenobióticos presentes no mesmo (PROCÓPIO et al., 2009) e, conseqüentemente diminuir o riscos de fitotoxicidade a culturas sensíveis (*carryover*) e de contaminação ambiental, processo esse denominado

Fitorremediação (D'ANTONIO et al., 2009). Em vista do exposto, objetivou-se nesse trabalho avaliar a capacidade fitorremediadora das culturas estivais feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), soja (*Glycine max*) e arroz Clearfield® (*Oryza sativa* cultivar Puitá INTA CL); e das culturas hibernais, azevém (*Lolium multiflorum*), consórcio de trevo branco (*Trifolium repens*) + cornichão (*Lotus corniculatus*), ervilhaca (*Vicia sativa*), na diminuição do residual dos herbicidas imazetapir, imazapique e imazapir, isolados e em mistura.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia junto à Universidade Federal de Santa Maria, RS, no ano agrícola de 2011/2012; tendo sido utilizado como substrato o solo coletado do horizonte A classificado como Planossolo Háplico eutrófico arênico (EMBRAPA, 2006).

**Experimento de verão** - O experimento foi conduzido em blocos ao acaso, em esquema fatorial 4x5x5, com três repetições. Os tratamentos foram compostos pela combinação entre fatores, sendo o Fator A as espécies vegetais feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), soja (*Glycine max*) e arroz Clearfield® (*Oryza sativa* cultivar Puitá INTA CL), cultivadas durante os meses de dezembro (2011) e janeiro (2012), mais um tratamento controle – sem cultivo prévio, o Fator B os herbicidas imazetapir+imazapique, imazapir+imazapique, imazetapir, imazapique e imazapir; e o Fator C: zero, 25%, 50%, 100% e 200% da dose de referencia, levando-se em consideração a quantidade de g/L de equivalente ácido de cada herbicida testado. Admitindo-se como dose de referencia o uso de 150 g de ingrediente ativo/ha para todos os herbicidas (dose baseada na quantidade de ingrediente ativo presente na dosagem recomendada para a aplicação a campo da mistura formulada de imazetapir+imazapique - 1500 ml ha<sup>-1</sup> = 150 g e.a. ha<sup>-1</sup>). Totalizando 300 unidades experimentais (vasos). O experimento foi conduzido em vasos de polietileno com capacidade de 3,6 dm<sup>3</sup>.

Transcorridos 60 dias após a emergência (fevereiro de 2012), as espécies vegetais foram cortadas na altura do coleto, não tendo sido efetuada a retirada das raízes do solo. Após sete dias, foi realizada a semeadura da cultivar de arroz não tolerante ao princípio ativo do herbicida utilizado, Irga 417, como planta teste (bioindicadora), com o intuito de avaliar a capacidade fitorremediadora das espécies anteriormente cultivadas em solo contaminado. Após a emergência das plantas de arroz, efetuou-se desbaste, deixando-se quatro plantas por vaso. As características avaliadas para determinação do potencial fitorremediador das plantas anteriormente testadas ao herbicida foram fitointoxicação e estatura de plantas (dados não mostrados) e massa seca da parte aérea das plantas de arroz. Logo, aos 28 DAE, as plantas foram cortadas rente ao solo para determinação de massa da matéria seca

da parte aérea, obtida por meio de pesagem do material colhido, secado em estufa de circulação forçada ( $70 \pm 2$  °C) por 72 horas.

**Experimento de inverno-** O experimento foi conduzido do mesmo modo que o experimento de verão, porém, tendo como Fator A as espécies vegetais hibernais azevém (*Lolium multiflorum*), consórcio de trevo branco (*Trifolium repens*) + cornichão (*Lotus corniculatus*) e ervilhaca (*Vicia sativa*), cultivadas durante os meses de junho e julho de 2012 e um tratamento sem planta de cobertura (pousio). O bioensaio com a cultivar Irga 417, foi realizado durante o mês de setembro do mesmo ano (2012).

Os dados obtidos foram analisados previamente quanto ao atendimento das pressuposições da análise de variância, normalidade e homocedasticidade, e posteriormente foram submetidos à análise de variância ( $p \leq 0,05$ ). As curvas de dose resposta foram determinadas pelo modelo log-logístico, de 3 parâmetros (SEEFELDT *et al.*, 1995).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da análise das curvas de dose resposta das culturas estudadas constatou-se efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ) sobre o residual dos herbicidas testados nas variáveis estatura de plantas, fitointoxicação e massa da matéria seca da parte aérea das plantas de arroz não tolerante, IRGA 417, semeadas em sucessão às espécies estivais e hibernais testadas e, também, quando não houve cultivo anterior (testemunha).

Como para cada variável dependente analisada destacam-se diferentes culturas, foram avaliados os resultados dos valores de  $GR_{50}$  para cada uma delas, nos diferentes herbicidas testados, na variável dependente massa da matéria seca. Usou-se essa variável como base porque, dentre as três variáveis analisadas, a produção de grãos na cultura do arroz está relacionada com a produção de matéria seca, através da produção biológica e do índice de colheita (IC) (YOSHIDA, 1981). Também, o acúmulo de massa correlaciona-se com a maior capacidade de absorção de herbicidas pelas raízes (MADALÃO *et al.*, 2013).

Os valores estimados de  $GR_{50}$  para a variável analisada mostram que independente do herbicida testado, tanto as espécies estivais soja e feijão-de-porco quando as hibernais, ervilhaca e trevo branco + cornichão em consórcio, apresentaram valores superiores aos observados para o solo sem cultivo no mesmo período (testemunha), demonstrando potencial fitorremediador dessas espécies vegetais (Tabela 1).

Para a mistura formulada imazetapir + imazapique a soja foi a espécie que apresentou os maiores valores de  $GR_{50}$ , diferindo estatisticamente das demais espécies estivais testadas, da mesma forma, a ervilhaca foi a planta com maior potencial fitorremediador, diferindo significativamente das demais espécies da mesma estação de cultivo (Tabela 1). Para as plantas cultivadas no inverno, o mesmo foi observado quando o solo recebeu o herbicida imazapique (resultados não mostrados).

Tabela 1- Parâmetros das equações de regressão sigmoideal do tipo logístico, valores  $Gr_{50}$  com intervalos de confiança (IC) apresentados pela planta bioindicadora (arroz cultivar Irga 417) semeada em sucessão as espécies estivais e hibernais testadas; e valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), em resposta ao solo com residual dos herbicidas imazetapir+imazapique, imazapir+imazapique e imazapir.

Massa da matéria seca da parte aérea de plantas aos 28 DAE (gramas)					
Espécies	<sup>1</sup> a	<sup>2</sup> b	<sup>3</sup> GR <sub>50</sub>	<sup>4</sup> 95% IC	R <sup>2</sup>
<b>Imazetapir + imazapique (75 + 25 g e.a. L<sup>-1</sup>)</b>					
<b>Estivais</b>					
Soja	99,9	1,07	>200 <sup>5</sup>	-	0,99
Feijão-de-porco	99,9	0,93	165,2	112,6-161,1	0,97
<sup>3</sup> Arroz CL <sup>6</sup>	99,7	1,46	28,2	21,8-34,5	0,99
S. cultivo verão	99,9	1,72	15,2	13,6-16,7	0,99
<b>Hibernais</b>					
Ervilhaca	99,6	1,43	56,8	50,0-63,6	0,99
<sup>4</sup> Consórcio	99,7	1,18	42,9	37,3-48,4	0,99
Azevém	100,0	1,03	25,3	22,6-28,1	0,99
S.cultivo inverno	99,9	2,05	16,4	13,3-19,4	0,99
<b>Imazapir + imazapique (525 + 175 g e.a. kg<sup>-1</sup>)</b>					
<b>Estivais</b>					
Soja	98,4	1,38	82,8	62,8-102,7	0,98
Feijão-de-porco	99,6	1,38	50,8	36,3-65,4	0,98
<sup>3</sup> Arroz CL <sup>6</sup>	99,8	1,12	20,4	9,4-31,3	0,98
S. cultivo verão	99,9	1,45	14,9	5,1-24,6	0,98
<b>Hibernais</b>					
Ervilhaca	100,8	1,29	50,6	37,4-63,7	0,98
<sup>4</sup> Consórcio	99,8	1,11	49,3	36,3-62,2	0,99
Azevém	99,9	0,88	16,6	11,8-21,3	0,99
S.cultivo inverno	99,9	1,35	13,7	9,56-17,8	0,99
<b>Imazapir (250 g g e.a. L<sup>-1</sup>)</b>					
<b>Estivais</b>					
Soja	100,2	1,72	69,4	53,5-85,2	0,98
Feijão-de-porco	99,2	1,56	58,5	58,3-58,6	0,99
<sup>3</sup> Arroz CL <sup>6</sup>	99,8	1,13	17,2	8,2-26,1	0,99
S. cultivo verão	99,9	1,60	13,5	7,3-19,6	0,99
<b>Hibernais</b>					
Ervilhaca	100,5	1,05	23,0	20,1-30,8	0,99
<sup>4</sup> Consórcio	100,0	0,94	24,5	21,8-27,1	0,99
Azevém	99,9	2,98	23,1	22,3-23,8	0,99
S.cultivo inverno	100,0	4,13	16,8	13,9-19,6	0,99

<sup>1</sup>a: diferença entre os pontos máximo e mínimo da curva; <sup>2</sup>b: declividade da curva; <sup>3</sup>GR<sub>50</sub>: dose do herbicida que causa 50% de redução da variável analisada; <sup>4</sup>IC: intervalo de confiança a 95% de probabilidade; <sup>5</sup>>200 valores correspondentes a GR<sub>50</sub>>270%; <sup>6</sup>CL: arroz resistente aos herbicidas do grupo químico das imidazolinonas. <sup>7</sup>Consórcio de trevo branco + cornichão.

Para a mistura formulada de imazapir+imazapique e o composto isolado imazapir, as plantas estivais com maior potencial fitorremediador foram soja e feijão-de-porco, sendo que o mesmo foi observado para os herbicidas isolados imazetapir e imazapique (dados não mostrados). Para as espécies hibernais testadas, ervilhaca e consórcio de trevo branco e cornichão apresentaram o maior potencial remediador do solo contaminado com a mistura

imazapir+imazapique, diferindo estatisticamente das demais espécies testadas. O mesmo foi observado para os compostos isolados imazetapir e imazapique (dados não mostrados).

De acordo com os resultados obtidos no presente trabalho, foi possível observar que a presença de espécies vegetais causa impacto positivo na dissipação de moléculas herbicidas no solo, em comparação com solos sem vegetação. Segundo Procópio et al. (2003), a utilização da fitorremediação é baseada na tolerância natural ou desenvolvida, que algumas espécies exibem a determinados tipos de compostos ou mecanismos de ação. Nesse contexto, acredita-se na capacidade que as plantas estudadas possuem em metabolizar (fitodegradação) o herbicida em questão até compostos não-tóxicos (ou menos tóxicos) à planta e ao ambiente. Outra possibilidade é a fitoestimulação, na qual há o estímulo à atividade microbiana, promovido pela liberação de exsudatos radiculares, que atuam degradando o composto no solo, o que caracteriza, em algumas plantas, a aptidão rizosférica para a biorremediação de compostos tóxicos (D'ANTONIO et al., 2009).

## CONCLUSÕES

Soja, feijão-de-porco, ervilhaca e consórcio de trevo branco e cornichão, são plantas fitorremediadoras de solo de cultivo de arroz irrigado contaminado com os herbicidas imazetapir, imazapique e imazapir, quando presentes em mistura ou isolados.

O azevém e o arroz CL não são remediadoras de solo contaminado com herbicidas do grupo químico das imidazolinonas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

D'ANTONINO, L, et al. Efeitos de culturas na persistência de herbicidas auxínicos no solo. **Planta Daninha**. v.27, n.2, p.371-378, 2009.

MADALAO, J.C. et al . Susceptibilidade de espécies de plantas com potencial de fitorremediação do herbicida sulfentrazone. **Revista. Ceres**, v. 60, n. 1, p. 111-121, 2013.

PROCÓPIO, S.O. et al. **Fitorremediação de solos com resíduos de herbicidas**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009. 32p.

SOUSA, C.P. et al. Crescimento de espécies bioindicadoras do residual do herbicida (imazethapyr+imazapic), semeadas em rotação com arroz Clearfield®. **Planta Daninha**, v. 30, n. 1, p. 105-111, 2012.

SEEFELDT, S.S; JENSEN, J. E; FUERST, P. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationships. **Weed Technology**, v. 9, n. 2, p. 218-225, 1995.

STEELE, G. L. et al. Control of red rice (*Oryza sativa*) in imidazolinone-tolerant rice (*O. sativa*). **Weed Technology**, v. 16, n. 3, p. 627-630, 2002.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Manila, The International Rice Research Institute, 1981. 269p.