

# FITOESTIMULAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM OS HERBICIDAS IMAZETAPIR, IMAZAPIQUE E IMAZAPIR

Kelen Müller Souto<sup>1</sup>; Rodrigo Josemar Seminoti Jaques<sup>2</sup>; Sérgio Luiz de Oliveira Machado<sup>3</sup>; Luis Antonio de Avila<sup>4</sup>; Luana Orlandi<sup>5</sup>; Andrisa Balbinot<sup>6</sup>; Liange Reck<sup>7</sup>.

Palavras-chave: arroz irrigado; fitorremediação; imidazolinonas; rizodeposições.

## INTRODUÇÃO

Em solos cultivados com determinadas espécies de plantas tem sido observada uma redução mais rápida dos contaminantes, em comparação aos solos sem cultivo (SANTOS et al., 2009). Este efeito geralmente é atribuído ao maior número de microrganismos na rizosfera de algumas plantas, consequência das rizodeposições de nutrientes feito pelas mesmas (PIRES, et al., 2005). A ação desses organismos rizosféricos no aumento da taxa de degradação dos contaminantes orgânicos no solo é conhecida como fitoestimulação e constitui-se em um das principais técnicas de fitorremediação de herbicidas no solo (SANTOS et al, 2010).

Os herbicidas imazetapir, imazapique e imazapir, pertencentes ao grupo das imidazolinonas, são usualmente utilizados em áreas de cultivo de arroz irrigado por inundação, manejadas sob o Sistema Clearfield<sup>®</sup>, para o controle de arroz vermelho (STEELE et al., 2002). Estes compostos possuem elevada persistência e atividade no solo, o que somando com a extrema sensibilidade de algumas culturas a esses herbicidas, impõem restrições ao uso de determinadas culturas em rotação/sucessão ao arroz irrigado manejado sob esse sistema de cultivo (ROMAN et al., 2007). Como um dos principais mecanismos de dissipação destes herbicidas no ambiente é a degradação microbiana (FLINT & WITT, 1997), torna-se fundamental a identificação de espécies de plantas que estimulem o crescimento de microrganismos degradadores na rizosfera, o que pode resultar no aumento das taxas de biodegradação do herbicida no solo. Em vista do exposto, esse trabalho tem por objetivo avaliar a influência da rizodeposição de espécies vegetais potencialmente fitorremediadoras na degradação dos herbicidas imazetapir, imazapique e imazapir.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em duas etapas, sendo a primeira em casa de vegetação e a segunda em laboratório, sendo dividido também, de acordo com a estação de cultivo das espécies testadas.

*Etapa 1* - Realizou-se o cultivo de espécies vegetais em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Fitotecnia junto à Universidade Federal de Santa Maria, RS, nos anos agrícolas de 2011 e 2012. No período hibernal (junho a agosto) foram cultivadas, em vasos contendo 3,6 dm<sup>3</sup> de solo de várzea livre de herbicida, as espécies azevém (*Lolium multiflorum*), ervilhaca (*Vicia sativa*), trevo branco e cornichão (*Trifolium repens* + *Lotus corniculatus*) em consórcio e um tratamento sem espécie de cobertura (testemunha). Da mesma forma, as espécies soja (*Glycine Max*), Arroz Clearfield<sup>®</sup> (*Oryza sativa* cultivar PUITÁ INTA CL), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) e um tratamento

<sup>1</sup> Eng. Agrônoma, M.Sc. doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Pinheiro Machado, 2866, ap.410, CEP: 97050-600, Santa Maria, RS. kelen\_ms@yahoo.com.br.

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Adjunto, Dr. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Titular, Dr. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

<sup>4</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Adjunto, PhD. Universidade Federal de de Pelotas (UFPeI).

<sup>5</sup> Aluna de graduação do curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

<sup>6</sup> Aluna de graduação do curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

<sup>7</sup> Bióloga, Ms.C. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

sem espécie de cobertura (testemunha), foram cultivadas no período estival (março a maio), totalizando 40 vasos por estação de cultivo, dispostos no delineamento inteiramente casualizado.

**Etapa 2** - Essa etapa foi realizada em dois momentos (experimentos), de acordo com a época de cultivo das espécies utilizadas.

**Experimento de verão** - amostras de solo rizosférico (solo aderido as raízes) das espécies estivais foram coletadas e peneiradas em malha de 2,0 mm de abertura, secas à sombra por 24 horas, pesadas e 100g acondicionadas em frascos respirométricos de vidro com capacidade de 1L. Logo após, diferentes doses dos herbicidas imazetapir, imazapique e imazapir (produto técnico) foram adicionadas utilizando-se pipetador de precisão. O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x3x4, contendo três repetições. Os tratamentos forma compostos pela combinação entre fatores, sendo o Fator A: amostras de solo rizosférico das espécies vegetais soja, feijão-deporco, arroz CL<sup>®</sup> e solo não rizosférico (testemunha). Fator B: os herbicidas imazetapir, imazapique e imazapir (produtos técnicos), e Fator C: 0%, 100%, 200% e 500% da dose de referencia utilizada (admitindo-se 150 g i.a. ha<sup>-1</sup> para cada herbicida como dose de referencia).

Os frascos respirométricos foram equipados com aparato de captura de CO<sub>2</sub>, composto por um copo plástico de 50 mL com 20 mL de NaOH 0,5 M, fechados hermeticamente e incubados em triplicata, à temperatura ambiente no laboratório (20 a 25°C). Durante um período de 63 dias, semanalmente os frascos foram abertos e a solução de NaOH recebia um mL de BaCl<sub>2</sub> 1 M e procedia-se a titulação com HCl 1M, utilizando fenolftaleína como indicador. Três frascos foram incubados sem solo, sendo estes utilizados como prova em branco. A produção de C-CO<sub>2</sub> foi quantificada através da fórmula de Stotzky (1965).

**Experimento de inverno** - conduzido da mesma forma que o experimento de verão, porém no período compreendido entre os meses de agosto a outubro e com o solo rizosférico das espécies hibernais azevém, ervilhaca, trevo branco e cornichão (em consórcio), mais a amostra de solo não cultivado.

Os dados obtidos foram analisados previamente quanto ao atendimento das pressuposições da análise de variância (normalidade e homocedasticidade da variância), e submetidos à análise da variância (p<0,05). O teste de Tukey (p<0,05) foi utilizado para comparação entre os tratamentos herbicidas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na avaliação da taxa de liberação do C-CO<sub>2</sub> do solo, observou-se o efeito do solo rizosférico de acordo com a concentração herbicida utilizada para as espécies hibernais e estivais (Tabelas 1). Houve tendência de maior produção de C-CO<sub>2</sub> quanto maior a concentração do herbicida aplicada no solo rizosférico das espécies hibernais e estivais. Porém, houve decréscimo na taxa evolução acumulada de C-CO<sub>2</sub> na maior dose testada (750 g i.a.ha<sup>-1</sup> da dose referencia), para a maioria das espécies independente da molécula herbicida testada. Esta menor porcentagem de mineralização na maior dose aplicada pode ser devido ao efeito tóxico do herbicida sobre os microrganismos do solo rizosférico, comprometendo a atividade dos mesmos. Zhang et al. (2010) relatou que o herbicida imazetapir aplicado em solo cultivado com soja não teve efeitos adversos sobre a biomassa microbiana do solo quando aplicado na dose de campo, porém teve efeito tóxico quando aplicado em taxas mais elevadas. O solo que não recebeu herbicida também apresentou as menores taxa evolução acumulada de C-CO<sub>2</sub>, demonstrando que as moléculas herbicidas servem de substrato para os microrganismos presentes no solo rizosférico das espécies testadas.

Para todos os herbicidas testados, observou-se menor taxa de liberação de C-CO<sub>2</sub> no solo sem cultivo (não rizosférico), independente da estação, diferindo significativamente dos demais tratamentos dos demais tratamentos (Tabela 1), da mesma forma, as espécies estivais soja e feijão-de-porco e as espécies hibernais ervilhaca e o consórcio de trevo

Tabela 1 – Total do C-CO<sub>2</sub> acumulado, proveniente da microbiota existente no solo rizosférico das espécies estivais e hibernais avaliadas, contaminado com os herbicidas imazetapir, imazapique e imazapir, após 63 dias de incubação. Santa Maria, 2012.

Cultura	C-CO <sub>2</sub> acumulado (mg kg <sup>-1</sup> )											
	IMAZETAPIR				IMAZAPIQUE				IMAZAPIR			
	----- Dose (g de ingrediente ativo)* -----											
	0	150	300	750	0	150	300	750	0	150	300	750
	----- Espécies Estivais -----											
Soja	158,1 Ac	372,6 aB	158,1 aC	372,6 aB	178,6 aC	392,0 bB	477,7 aA	189,4 bC	188,1 aB	409,8 aA	356,5 aB	327,8 bB
Feijão-de-porco	110,2 Bc	334,8 bB	433,5 bA	319,5 aB	146,3 bC	466,7 aA	500,0 aA	260,8 aB	187,1 aC	201,4 bB	254,0 bB	396,6 aA
Arroz CL**	103,6 bC	241,9 cA	177,4 cB	106,9 cC	62,7 cC	197,1 cB	312,0 bA	188,4 bB	122,8 bA	150,7 cA	161,0 cA	131,4 cA
Sem Cultivo	45,3 Cd	126,5 dB	161,3 cA	79,3 cC	61,3 cD	194,1 cA	108,0 cC	134,8 cB	83,4 cB	133,5 cA	110,7 dA	124,4 cA
	----- Espécies Hibernais -----											
Ervilhaca	270,3 aC	363,9 aB	557,3 aA	374,9 aB	234,3 bC	469,5 aA	335,6 aB	478,5 aA	196,8 aC	275,0 aB	593,7 aA	165,0 bC
Consórcio***	334,1 aC	423,1 aB	596,1 aA	75,2 aC	329,9 aB	512,9 aA	377,1 aB	237,7 bC	209,5 aB	256,7 aB	373,1 bA	272,9 aB
Azevém	181,4 bC	288,0 bB	419,8 bA	225,2 bC	195,8 bcB	326,5 bA	231,7 bB	192,3 bcB	174,7 aB	188,6 bB	274,1 cA	116,3 cC
Sem Cultivo	130,8 bA	190,5 cA	152,8 cA	122,8 cA	124,3 cB	207,1 cA	139,0 cB	133,7 cB	137,6 bA	152,1 bA	101,9 dA	75,1 cB

\*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>). \*\*Arroz tolerante aos herbicidas do grupo químico das imidazolinonas (cultivar Puitá Inta CL). \*\*\*Consórcio de Trevo branco+cornichão. Médias seguidas de letras minúsculas iguais, na coluna (cultura) e maiúsculas iguais, na linha (doses de imazetapir) não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. C.V.(%) espécies estivais = 6,22; C.V.(%) espécies hibernais = 14,32.

branco e cornichão, apresentaram as maiores taxas de liberação de C-CO<sub>2</sub>, independente do herbicida testado, diferindo estatisticamente do solo cultivado com arroz CL e solo sem cultivo, para as espécies estivais e do solo cultivado com azevém e sem cultivo, para as espécies hibernais, respectivamente.

É provável que a maior atividade observada no solo cultivado e posteriormente contaminado com herbicida, em comparação com o solo sem cultivo prévio, se deva à maior população de microrganismos e maior concentração de carbono na região das raízes, devido habilidade que, provavelmente, estas plantas possuem em secretar uma vasta gama de moléculas de alto e baixo peso molecular na rizosfera, um processo chamado rizodeposição. Pires et al. (2005) observaram que o solo rizosférico tratado com tebutiuron apresentou maior desprendimento de CO<sub>2</sub>, se comparado ao solo não vegetado, sendo este fato atribuído à fitoestimulação da microbiota associada à rizosfera.

## CONCLUSÃO

A produção de C-CO<sub>2</sub> do solo após a contaminação com os herbicidas imazetapir, imazapique e imazapir é maior em solo rizosférico se comparado ao solo não cultivado.

O solo rizosférico das espécies estivais soja (*G. max*) e feijão-de-porco (*C. ensiformis*) e das espécies hibernais ervilhaca (*V. sativa*) e consórcio de trevo branco (*T. repens*) e cornichão (*L. corniculatus*) apresentaram a maior degradação dos herbicidas imazetapir, imazapique e imazapir nas maiores doses avaliadas, sendo estas espécie promissoras para a fitoestimulação desses compostos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

PIRES, F. R. et al. Inferências sobre atividade rizosférica de espécies com potencial para fitorremediação do herbicida tebutiuron. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 627-634, 2005.

ROMAN, E. S. et al. **Como funcionam os herbicidas: da biologia á aplicação**. Passo Fundo: Gráfica Editora Berthier, 2007.

SANTOS, E. A. Atividade rizosférica de solo tratado com herbicida durante processo de remediação por *Stizolobium aterrimum*. **Pesquisa Agropecuária tropical**, v. 40, n. 1, p. 1-7, 2010

SANTOS, J. B. et al. Biodegradation of glyphosate in rhizospheric soil cultivated with *Glycine max*, *Canavalia ensiformis* e *Stizolobium aterrimum*. *Planta Daninha*, v. 27, n. 4, p. 781-787, 2009.

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

STOTZKY, G. Microbial Respiration. In: BLACK, C. A. (ed.). **Methods in Soil Analysis**. Madison: ASSA, p. 1550-1572, 1965.

ZHANG, C. et al. The effect of imazethapyr on soil microbes in soybean fields in northeast China. **Chemistry and Ecology**, v. 26, n. 3, p. 173-182, 2010.