

# Manejo de soja transgênica com glifosato e imazetapir: efeito sobre a mesofauna e microbiota do solo

Giani Mariza Barwald Bohm<sup>1</sup>

Danilo Dufech Castilhos<sup>2</sup>

Cesar Valmor Rombaldi<sup>2</sup>

**Resumo:** A estabilidade de diferentes organismos da mesofauna, como ácaros e colêmbolos, e a atividade microbiana do solo são indicadores de qualidade físico-química e biológica do solo. Este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de métodos de controle de plantas daninhas sobre a qualidade do solo cultivado com soja transgênica. Nesse contexto, foram cultivados dois genótipos de soja, geneticamente modificada (GM<sub>RR</sub>) BRS 244 RR e não modificada (NM) BRS 154, no Centro Agropecuário da Palma da Universidade Federal de Pelotas (CAP), nas safras de 2005/2006 e 2006/2007. Para o controle de plantas daninhas, testaram-se tratamentos com glifosato, imazetapir e capina. Avaliaram-se populações de ácaros e colêmbolos, o carbono da biomassa microbiana, a respiração basal e o quociente metabólico do solo. Verificou-se que a aplicação dos herbicidas, principalmente de glifosato, na soja BRS 244 RR cultivada em Planossolo resultou em desestabilidade da mesofauna e maior atividade da biomassa microbiana.

**Palavras-chave:** ácaros, colêmbolos, atividade da biomassa microbiana, soja geneticamente modificada.

**Abstract:** The stability of different mesofauna organisms, mites, collembolan and microbial activity of soil are indicators of quality physic-chemistry and biologic of soil. This work had for objective to evaluate the effects of weed control methods about soil quality cultivated with transgenic soybean. In this context, two genotypes of soybean were cultivated, genetically modified (GMRR) BRS 244 RR and the non-genetically modified (NM) BRS 154, in field conditions at Centro Agropecuário da Palma (CAP) of the Pelotas Federal University, during 2005/2006 and 2006/2007 seasons. Weed control tests were performed with glyphosate, imazethapyr and manual weeding. Aspects relative populations of mites and collembolan, microbial biomass carbon, basal respiration and metabolite quotient were assessed. It was observed that application of herbicide, main glyphosate, at soybean BRS 244 RR cultivated in Albaqualf resulted in lower stable regarding to mesofauna and the greater activity microbial biomass.

**Keywords:** mites, collembolan, microbial activity, soybean genetically modified.

---

<sup>1</sup>Professora do departamento de Tecnologia Ambiental, Instituto Federal Sul-rio-grandense, Pelotas, RS- e-mail: gbbohm@terra.com.br.

<sup>2</sup>Professor da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

## INTRODUÇÃO

A tecnologia de plantas geneticamente modificadas é fruto da inovação e gestão estratégica em biotecnologia e representa uma nova oportunidade para o controle de pragas e doenças, entre outras possibilidades. Apesar do potencial inerente à biotecnologia, muita preocupação quanto aos aspectos de biossegurança tem sido demonstrada pela população e segmentos da comunidade científica. Em relação ao cultivo da soja GM<sub>RR</sub>, as preocupações ambientais incluem efeitos sobre organismos não-alvo. Alterações nessas populações de organismos que estão estreitamente associados à planta ou que fazem parte da sua cadeia trófica podem indicar que a característica genética introduzida apresenta outros efeitos, além dos esperados, ou que mudanças no manejo, decorrentes da resistência ao glifosato, promovem a ocorrência de alterações não esperadas.

Entre os organismos diretamente associados com a qualidade do solo e da planta, têm-se populações da mesofauna e a microbiota do solo, responsáveis pelos processos de decomposição e mineralização da matéria orgânica, regulação dos ciclos de nutrientes, bem como na interação solo-planta. Os organismos ativos mais importantes do solo são os fungos, as bactérias, as minhocas, os colêmbolos, os ácaros e os nematóides. No conjunto, os processos vitais de cada organismo do solo contribuem de forma que a combinação de atividades resulta no ciclo dos nutrientes que consiste na decomposição da matéria orgânica do solo. Cortez *et al.* (1999) sugerem que a mesofauna pode ser utilizada como indicadora biológica de impacto ambiental, baseando-se no fato de que as práticas agrícolas, de modo geral, reduzem a abundância e distribuição da fauna do solo. Isso tem sido relacionado à intensificação do uso de agrotóxicos e de fertilizantes, além do manejo do solo (DUARTE, 2004; PONGE *et al.*, 2006).

Como componentes da mesofauna, as populações de ácaros e colêmbolos representam 95% dos microartrópodos do solo e suas populações são bastante sensíveis às alterações do ambiente (MELO & LIGO, 1999). Os colêmbolos, que se alimentam de fungos do solo, são importantes para a resiliência em agroecossistemas por promoverem, após algum distúrbio, uma rápida recuperação da biomassa microbiana, bem como a recolonização da serapilheira pelos fungos e a estabilização dos nutrientes (DUARTE, 2004; MARAUN *et al.*, 1998).

A maioria dos componentes da mesofauna e muitos da macrofauna melhoram a qualidade do solo, especialmente no que diz respeito à mobilização dos nutrientes, assim como pelo melhoramento da estrutura do solo, através da ativação da microvida. A estabilidade entre a relação de diferentes organismos da mesofauna, como ácaros e colêmbolos (DONEGAN & WATRUD, 2001; MIGLIORINIA *et al.*, 2005), bem como a atividade microbiana (HANEY *et al.*, 2002), medida pela liberação de CO<sub>2</sub> do solo, são parâmetros que tem sido utilizados como bioindicadores de mudanças em propriedades do solo.

Existem dúvidas se o cultivo de soja transgênica através de alterações químicas ou da prática agrícola adotada, como utilização do herbicida glifosato ou imazetapir, pode afetar a biota e microbiota do solo.

O cultivo intensivo de soja transgênica com o gene da EPSPS, que confere resistência ao glifosato, incorporou nova sistemática de manejo de plantas daninhas, ou seja, a aplicação de um herbicida que até então não vinha sendo

aplicado na pós-emergência. A análise da densidade da mesofauna e atividade microbiana do solo podem fornecer informações importantes sobre o impacto do glifosato e do imazetapir durante o cultivo da soja transgênica.

Os estudos de impacto ambiental, em solos com cultivo de transgênicos, nas condições edafoclimáticas do Brasil, ainda são escassos e, na maioria das vezes, inferem, a partir de simulações em casa de vegetação ou *in vitro*, possíveis resultados a campo. Nesse estudo, avaliaram-se métodos de controle de plantas daninhas, incluindo capina e herbicidas, sobre a mesofauna e atividade microbiana de Planossolo cultivado com soja BRS 244 RR e BRS 154 durante duas safras consecutivas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado, nas safras de 2005/2006 e 2006/2007, em campo experimental do Centro Agropecuário da Palma (CAP) da Universidade Federal de Pelotas, localizado no município do Capão do Leão, Rio Grande do Sul, Brasil. O solo da área experimental é classificado como Planossolo Háplico Eutrófico Solódico, tendo como origem sedimentos derivados de granito (EMBRAPA, 2006). Como material vegetal, foram utilizadas sementes de soja das cultivares BRS 244 RR e BRS 154 fornecidas pela Embrapa-Trigo (Passo Fundo-RS).

A área experimental foi selecionada considerando-se o histórico (nunca houve plantio de soja), homogeneidade topográfica (plana), tipo e qualidade do solo (2,6% matéria orgânica, 16 g kg<sup>-1</sup> argila). As parcelas experimentais constaram de áreas individuais com 4 x 5 m, aleatoriamente distribuídas em um delineamento inteiramente casualizado dentro do campo experimental, com quatro repetições por tratamento.

O plantio foi realizado, nas duas safras, durante a primeira quinzena de dezembro, com sementes inoculadas com uma mistura de *Bradyrhizobium japonicum* Semia 5079 e *Bradyrhizobium elkani* Semia 587.

Foram estudados os seguintes tratamentos:

T1 - soja BRS 244 RR sem aplicação de herbicida, com capina manual aos 20 dias após a emergência (dae);

T2 - soja BRS 154 sem aplicação de herbicida, com capina manual aos 20 dae;

T3 - soja BRS 244 RR com uma aplicação de glifosato a 960 g ia ha<sup>-1</sup>, aos 20 dae;

T4 - soja BRS 244 RR com duas aplicações de glifosato a 960 g ia ha<sup>-1</sup>, aos 20 e 40 dae;

T5 - soja BRS 244 RR com uma aplicação de herbicida Imazetapir a 100g ia ha<sup>-1</sup>, aos 20 dae;

T6 - soja BRS 154 com uma aplicação de herbicida Imazetapir a 100g ia ha<sup>-1</sup>, aos 20 dae.

## Variáveis dependentes

Aos 80 dias após o plantio, nas safras de 2005/2006 e 2006/2007, foram retiradas, com auxílio do trado de rosca, amostras de solo de 0-20 cm de profundidade de cada unidade experimental para análise da atividade microbiana do solo, analisada em triplicata. Para análise da mesofauna, foram instaladas armadilhas durante o período de cultivo; 60 dias após o plantio, instalou-se uma armadilha por unidade experimental, nas safras de 2005/2006 e 2006/2007.

## Avaliações

### Mesofauna de superfície

Para análise da mesofauna da superfície do solo, foram utilizados os procedimentos descritos por Bachelier (1963), utilizando-se a Armadilha de Tretzel. A instalação consistiu na abertura de um buraco no solo, no qual foi inserido um frasco de vidro de 600 mL com a abertura para cima, tendo no seu interior 200 mL de solução de formol a 2,5%; a altura do frasco foi mantida no nível do solo. O orifício aberto no solo foi coberto a uma distância superior de 20 cm com uma proteção de cerâmica. O período de exposição foi de 7 dias, após o qual removeram-se os frascos. Em seguida, foi feita a contagem e classificação dos organismos com auxílio de lupa.

### Respiração Basal (RB)

A Respiração Basal (RB), que consiste em mensurar a atividade microbiana através da decomposição do carbono orgânico e da quantificação do CO<sub>2</sub> liberado, foi determinada conforme método proposto por Anderson & Domsch (1978) e adaptado por Santos *et al.* (2004). Cada repetição de 100 g de solo foi acondicionada em frascos de vidro com capacidade de 0,8 L, hermeticamente fechados. Em cada frasco, colocou-se um becker de 50 mL contendo 20 mL de NaOH 1M, à temperatura de 21°C. A RB do solo foi determinada pela quantificação do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) liberado no processo de respiração microbiana durante o período de incubação. O CO<sub>2</sub> foi quantificado por titulação, com uma solução de HCl 1 M após a adição de uma solução de BaCl<sub>2</sub> (25% m/v) e 3 gotas de fenolftaleína (1%) como indicador.

A quantidade de CO<sub>2</sub> liberada em cada tratamento e o período de avaliação foi calculada através da fórmula:  $RB = (VPB - VA) \times M \text{ ácido} \times Eq. C-CO_2$ , sendo: VPB= volume de HCl gasto na prova em branco; VA= Volume de HCl gasto na amostra; M ácido= molaridade do HCl; Eq. C-CO<sub>2</sub>= equivalente grama do C-CO<sub>2</sub>. Os resultados foram expressos em mg C-CO<sub>2</sub> 100g<sup>-1</sup>. A taxa de respiração por unidade de biomassa ou quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) foi obtida pela relação entre a taxa de respiração basal, que consiste na medida da produção de CO<sub>2</sub>, resultante da atividade metabólica do solo, e biomassa microbiana (ANDERSON & DOMSCH, 1990).

## Análise estatística

Para análise dos dados da mesofauna, foi utilizado o método estatístico não paramétrico de Kruskal-Wallis, nível de significância de 5%. Os dados da atividade microbiana foram submetidos à análise de variância, e à comparação de médias pelo método LSD, nível de significância de 5%, utilizando-se o programa Statistix 8.0<sup>®</sup>.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação à densidade média (ind.m<sup>-2</sup>), o grupo de colêmbolos foi predominante em relação ao de ácaros. Os tratamentos T3, T4 e T5 que receberam glifosato ou imazetapir na safra de 2005/2006 apresentaram maior densidade média (Tabela 1). Porém, na safra 2006/2007, apenas o tratamento T1 destacou-se significativamente dos demais tratamentos estudados em relação aos colêmbolos, ocorrendo o mesmo para a variável ácaros.

Tabela 1. Densidade média (ind. m<sup>-2</sup>) e relação entre ácaros e colêmbolos (A/C) em solo cultivado com soja nas safras 2005/2006 e 2006/2007. FAEM, 2007.

| Tratamentos                  | Acaros   |       | Colêmbolos<br>ind. m <sup>-2</sup> |       | Relação A/C |       |
|------------------------------|----------|-------|------------------------------------|-------|-------------|-------|
|                              |          |       |                                    |       |             |       |
| -----Safra 2005/2006-----    |          |       |                                    |       |             |       |
| T1- BRS 244RR capina         | 22,50    | *20,0 | 11,50 b                            | *44,0 | 1,95        | *2,50 |
| T2-BRS 154 capina            | 23,75    | 23,5  | 11,25 b                            | 11,5  | 4,48        | 1,10  |
| T3- BRS 244RR 1 x glifosato  | 10,50    | 5,0   | 159,25 a                           | 154,0 | 1,33        | 0,09  |
| T4- BRS 244RR 2 x glifosato  | 19,25    | 17,0  | 170,50 a                           | 181,0 | 0,14        | 0,09  |
| T5- BRS 244RR 1 x imazetapir | 26,25    | 28,0  | 131,50 a                           | 65,5  | 0,36        | 0,19  |
| T6- BRS 154 1 x imazetapir   | 13,75    | 14,5  | 5,50 b                             | 5,5   | 3,68        | 4,25  |
| P                            | 0,85     |       | 0,001                              |       | 0,16        |       |
| -----Safra 2006/2007-----    |          |       |                                    |       |             |       |
| T1- BRS 244RR capina         | 110,75 a | *46,0 | 29,00 a                            | *27,0 | 3,12        | *1,95 |
| T2-BRS 154 capina            | 33,50 b  | 34,5  | 12,00 b                            | 9,5   | 2,79        | 2,56  |
| T3- BRS 244RR 1 x glifosato  | 4,25 c   | 3,5   | 3,75 c                             | 4,0   | 1,96        | 1,29  |
| T4- BRS 244RR 2 x glifosato  | 4,00 c   | 3,5   | 11,50 b                            | 11,5  | 0,42        | 0,33  |
| T5- BRS 244RR 1 x imazetapir | 2,25 c   | 2,5   | 2,75 c                             | 3     | 1,19        | 0,71  |
| T6- BRS 154 1 x imazetapir   | 5,75 c   | 3,5   | 18,50 b                            | 15,5  | 0,32        | 0,33  |
| P                            | 0,005    |       | 0,04                               |       | 0,22        |       |

\*mediana. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, dentro de uma mesma coluna, não se diferem estatisticamente pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade.

Os ácaros e colêmbolos têm distribuição agregada no solo, em virtude de fatores edafoambientais, destacando-se umidade e alimento, os quais também influenciam sua migração vertical em busca de condições favoráveis. Os colêmbolos têm hábitos alimentares semelhantes ao dos ácaros oribatídeos, que ocorrem no solo normalmente em maiores proporções (WERNER & DINDAL, 1987). Os colêmbolos são menos suscetíveis aos produtos químicos, como inseticidas e herbicidas, do que os ácaros e algumas espécies que são afetadas somente por altas doses (MORSELLI, 2006).

A relação entre ácaros e colêmbolos tem sido utilizada como indicadora de qualidade físico-química e biológica do solo. Quanto maior essa relação, melhor a qualidade do solo. Baseando-se nesse conceito, pode-se afirmar que o maior impacto observado, considerando-se apenas essa variável, ocorreu nos

tratamentos com glifosato ou imazetapir, pois, tanto na primeira quanto na segunda safra de soja testada, os menores valores para a relação entre ácaros e colêmbolos ocorreram justamente nos tratamentos com herbicida.

Para Behan-Pelletier (1999), as mudanças ocorridas na estrutura de dominância de uma comunidade de microartrópodes do solo podem ser um pré-índice de estresse. Em solos cuja cadeia trófica foi quebrada ou interrompida, ocorre a predominância de determinados grupos ou espécies. Então, como a mesofauna depende da matéria orgânica do solo e de porosidade adequada, a desestruturação física pode contribuir para reduzir populações de organismos, restando somente algumas espécies que suportam condições adversas, e estas têm sua proliferação garantida pela falta de inimigos naturais.

Quando avaliou-se a variação de colêmbolos, verificou-se que as maiores populações foram detectadas em parcelas nas quais houve aplicações de glifosato; nessas parcelas, obtiveram-se 152,0 e 168,5 ind.m<sup>-2</sup>, respectivamente. Na safra 2006/2007, a população de colêmbolos apresentou menor densidade quando comparada com a safra anterior, sendo a maior população obtida no tratamento sem herbicidas, com capina (T1) com, em média, 29 ind.m<sup>-2</sup>.

Em estudos preliminares em outras culturas, Morselli (2006) cita que o aumento da relação de colêmbolos em relação a ácaros indica desequilíbrio na estabilidade da mesofauna. A autora argumenta que os colêmbolos têm maior capacidade de reprodução, mesmo em condições adversas, do que os ácaros. Em função disso, havendo geração de condições desfavoráveis no ambiente, a pressão de seleção será maior para ácaros do que para colêmbolos. O resultado desse comportamento é exatamente aquele obtido nos tratamentos, da safra 2005/2006, com aplicação de herbicidas, seja glifosato ou imazetapir.

A densidade média de dipluros foi maior nos tratamentos sem herbicidas, nas duas safras consecutivas, no qual o controle de plantas daninhas foi feito por capina mecânica (Tabela 2). Isso pode ser atribuído ao fato de a capina ter sido realizada uma única vez, e o solo permaneceu com cobertura vegetal por mais tempo mantendo maiores níveis de umidade no solo (observação local sem dados para comprovação). É conhecido que os dipluros aumentam a frequência em ambientes mais úmidos, e que as populações de proturos mantiveram-se praticamente constantes durante o período testado, mostrando-se pouco sensíveis aos tratamentos testados.

A diminuição na abundância de organismos presentes na mesofauna pode comprometer, a médio e longo prazo, os processos de decomposição e mineralização da matéria orgânica, afetando a qualidade e a saúde do solo. Conseqüentemente, compromete todo o sistema ecológico, uma vez que os solos não são meros componentes, mas sim controladores de diversos processos que garantem o funcionamento dos ecossistemas terrestres (DUARTE, 2004).

Em ensaios de laboratório, Chakravarty & Chatarpaul (1990) observaram redução no crescimento de cinco espécies de fungos ectomictorrízicos quando expostos a elevadas concentrações de glifosato (>50 µL L<sup>-1</sup>) em meio de cultura. Complementarmente, observaram-se reduções em populações de bactérias e fungos em ensaios utilizando vasos com solo, dois meses após tratamento com glifosato, na dosagem de 540 g ia ha<sup>-1</sup>. O risco de toxicidade do herbicida para microrganismos do solo pode ser alto, uma vez que o glifosato pode inibir a síntese dos aminoácidos aromáticos essenciais, como a fenilalanina, a tirosina e o triptofano. A toxicidade aguda do glifosato tem sido considerada baixa: de

acordo com a indústria Monsanto a dose letal (DL) é 5600 mg kg<sup>-1</sup> (AMARANTE et al, 2002).

TABELA 2- Densidade média (ind. m<sup>-2</sup>) de proturos e dipluros no solo com cultivo de soja nas safras 2005/2006 e 2006/2007.

| Tratamentos                  | Proturos (ind. m <sup>-2</sup> ) |     |           |      | Dipluros (ind. m <sup>-2</sup> ) |      |           |       |
|------------------------------|----------------------------------|-----|-----------|------|----------------------------------|------|-----------|-------|
|                              | 2005/2006                        |     | 2006/2007 |      | 2005/2006                        |      | 2006/2007 |       |
|                              | média                            | *   | média     | *    | média                            | *    | média     | *     |
| T1- BRS 244RR capina         | 0,8                              | 1,0 | 8,8       | 9,0  | 151,00                           | 92,0 | 4,25      | 4,5   |
| T2-BRS 154 capina            | 1,0                              | 0   | 16,0      | 16,0 | 19,25                            | 10,5 | 419,00    | 268,0 |
| T3- BRS 244RR 1 x glifosato  | 1,0                              | 0   | 3,8       | 3,5  | 49,75                            | 22,5 | 1,50      | 0     |
| T4- BRS 244RR 2 x glifosato  | 0,3                              | 0   | 12,0      | 12,0 | 66,25                            | 48,5 | 4,00      | 5,0   |
| T5- BRS 244RR 1 x imazetapir | 0,5                              | 0,5 | 7,3       | 7,5  | 65,25                            | 44,0 | 1,75      | 2,0   |
| T6- BRS 154 1 x imazetapir   | 0                                | 0   | 1,3       | 1,0  | 7,25                             | 6,0  | 2,00      | 1,5   |
| P                            | 0,5                              |     | 0,2       |      | 0,16                             |      | 0,56      |       |

\*mediana. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, dentro de uma mesma coluna, não se diferem estatisticamente pelo teste de LSD ao nível de 5% de probabilidade.

A atividade microbiana do solo cultivado com soja foi crescente no período de estudo, sendo o comportamento de sua evolução diferente entre as safras testadas (Figuras 1 e 2). Na safra de 2005/2006, os tratamentos T3 e T4 apresentaram maior evolução de CO<sub>2</sub>, com valores de 34,73% e 17,94 %, respectivamente, em relação à capina (T1); na safra 2006/2007, porém, os tratamentos T3, T5 e T6 apresentaram maior evolução de CO<sub>2</sub>, com valores de 37,11%; 95% e, 126,41%, respectivamente.

Os maiores valores de liberação de CO<sub>2</sub> nos tratamentos com glifosato na safra de 2005/2006 e 2006/2007 podem, segundo Haney *et al.* (2002), serem atribuídos ao fato desse herbicida ser facilmente metabolizável pelos microrganismos do solo. Entretanto, os resultados de Busse et al (2001) indicam que essa resposta depende das concentrações de glifosato. Por exemplo, dosagens de 3000g ia ha<sup>-1</sup> de glifosato não afetam a liberação de CO<sub>2</sub>, mas concentrações cem vezes maiores resultam em aumento significativo na evolução de CO<sub>2</sub>. Gimsing *et al.* (2004) reportaram que a mineralização do glifosato, para cinco diferentes tipos de solos testados, está diretamente relacionada com a população de bactérias heterotróficas, principalmente com o tamanho da população de *Pseudomonas spp.*

Gimsing *et al.* (2004) também detectaram um aumento nas taxas de RB em solos na presença de glifosato a 6800 g ai ha<sup>-1</sup>, dosagem bem superior às testadas neste trabalho. Esse comportamento não é unânime: por exemplo, Busse *et al.* (2001) e Liphadzi *et al.* (2005) não observaram incremento na RB.

Desse modo, percebe-se que as respostas à aplicação de glifosato são variáveis entre os trabalhos realizados. A causa exata não está determinada, mas acredita-se que as variações se devem às diferenças entre procedimentos experimentais (ensaios a campo ou laboratório ou casa de vegetação), tipo de solo (características físico-químicas e biológicas), a cultura em estudo e as dosagens testadas, bem como o ano agrícola. Isso foi verificado ao compararem-se as duas safras consecutivas.

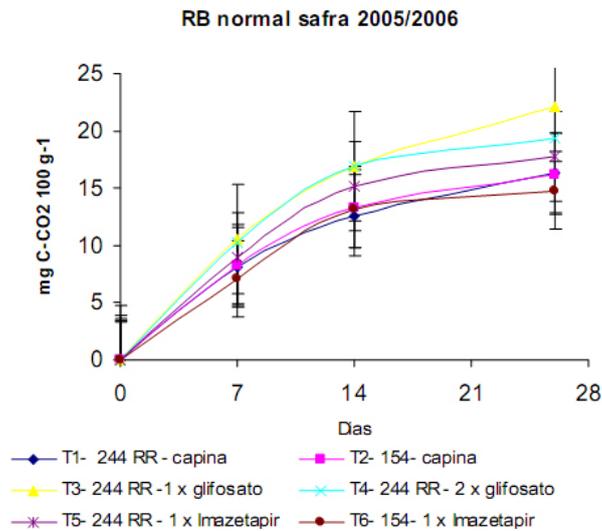


FIGURA 1- Liberação acumulada de CO<sub>2</sub> no solo, nos diferentes tratamentos de manejo da soja BRS 244 RR e BRS 154, no período de 26 dias de incubação da safra de 2005/2006.

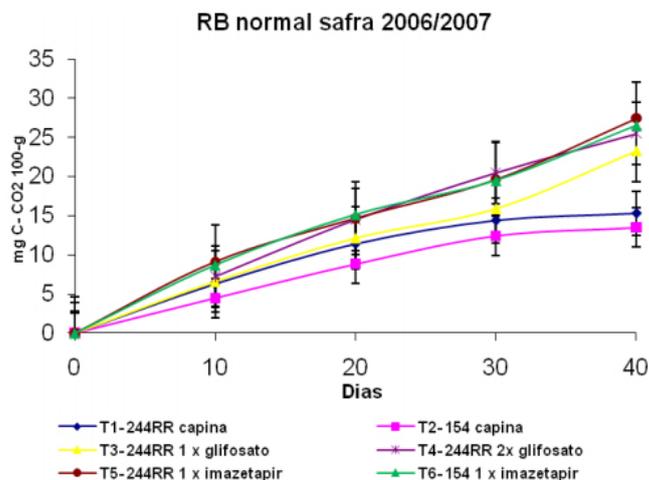


FIGURA 2- Liberação acumulada de CO<sub>2</sub> no solo, dos diferentes tratamentos de manejo da soja BRS 244 RR e BRS 154, no período de 40 dias de incubação da safra de 2006/2007.

Os valores de qCO<sub>2</sub> na safra 2005/2006 variaram entre os tratamentos testados, sendo os maiores quocientes obtidos por T3 ( $10,4 \times 10^{-4}$ ), T4 ( $8,50 \times 10^{-4}$ ) e T5 ( $6,80 \times 10^{-4}$ ) quando comparados com a capina T1 ( $3,92 \times 10^{-4}$ ). Esse resultado é consequência da maior atividade microbiana, com maior liberação de CO<sub>2</sub> por unidade de CBM, provocada pela presença de um substrato facilmente assimilável para o desenvolvimento da atividade microbiana. Porém, esse resultado não foi constante entre safras, pois no segundo ano de cultivo, safra 2006/2007, os tratamentos testados não afetaram essa variável (Tabela 3). O qCO<sub>2</sub> tem sido utilizado como um indicador biológico do equilíbrio do solo, uma vez que, à medida que a biomassa microbiana se torna mais eficiente, menos carbono

é liberado como CO<sub>2</sub> pela respiração e uma maior proporção de carbono é incorporada à biomassa microbiana (ANDERSON & DOMSCH, 1990).

Assim, a aplicação de glifosato e imazetapir, utilizados durante o cultivo de soja, resultaram em aumento no qCO<sub>2</sub> em comparação ao tratamento com capina somente no primeiro ano de cultivo. De forma semelhante, Araújo *et al.* (2003) detectaram um incremento de 10 a 15% na liberação de CO<sub>2</sub> em solos onde houve aplicação de glifosato na dosagem de 4320 g ia ha<sup>-1</sup>, sugerindo que a microbiota do solo é capaz de metabolizar o glifosato como uma fonte de carbono. Liphadzi *et al.* (2005), analisando o efeito do herbicida glifosato a 1120 g ia ha<sup>-1</sup>, bem como de outros herbicidas recomendados para a cultura de milho e soja, não detectaram alterações para variação de carbono da biomassa microbiana e da respiração basal. Complementarmente, verificaram que os tratamentos não afetaram a população de nematóides.

É conhecido que fatores de estresse (herbicidas, metais pesados, pH, limitações de nutrientes), assim como fatores de perturbação (condições ambientais) afetam esse metabolismo. Um efeito potencial da aplicação do herbicida glifosato no solo é o estímulo ou inibição de microrganismos do solo com funções importantes como nos processos de mineralização e imobilização de nutrientes (BOHM, *et al.*, 2007).

TABELA 3. Taxa de respiração basal induzida com sacarose (RB ind), taxa de respiração basal sem indução (RB), degradação e quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>).

| Tratamentos                  | Taxa de RB<br>ug C-CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> |           | qCO <sub>2</sub><br>(10 <sup>-4</sup> ) |           |
|------------------------------|--|-----------|---|-----------|
|                              | 2005/2006  | 2006/2007 | 2005/2006                               | 2006/2007 |
| T1- BRS 244RR capina         | 0,262bcB   | 0,159cdC  | 3,92bX                                  | 5,62X     |
| T2- BRS 154 capina           | 0,267bcB   | 0,141cdC  | 3,84bY                                  | 2,22Y     |
| T3- BRS 244RR 1 x glifosato  | 0,353aA  | 0,218bcB  | 10,40aX                                 | 3,50Y     |
| T4- BRS 244RR 2 x glifosato  | 0,309abA   | 0,298abA  | 8,50a X                                 | 4,35Y     |
| T5- BRS 244RR 1 x imazetapir | 0,284bcB   | 0,311abA  | 6,80abX                                 | 5,04X     |
| T6- BRS 154 1 x imazetapir   | 0,237cB  | 0,364aA   | 4,59bY                                  | 4,14Y     |
| Média                        | 0,285  | 0,216     | 6,40                                    | 3,74      |
| CV (%)                       | 15,76  | 32,46     | 24,90                                   | 28,82     |
| P                            | 0,02   | 0,0002    | 0,024                                   | 0,17      |

*Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, dentro de uma mesma coluna e, médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas, dentro de uma mesma linha, não se diferem estatisticamente pelo teste de LSD, ao nível de 5% de probabilidade.*

## CONCLUSÃO

Os herbicidas glifosato e imazetapir, utilizados nesse estudo no controle de plantas daninhas, no manejo da soja BRS 244 RR e BRS 154, influenciaram negativamente na estabilidade da mesofauna, porém proporcionaram maior atividade microbiana do solo. O fato de a soja cultivada ser transgênica não resultou em impacto negativo sobre as variáveis analisadas.

## AGRADECIMENTOS

À Embrapa Trigo, de Passo Fundo-RS pelo fornecimento das sementes de soja, ao CNPq pelo financiamento à pesquisa e ao Centro Agropecuário da Palma pelo apoio na instalação do experimento.

## Referências bibliográficas

- AMARANTE, O.P.; SANTOS, T.C.R. Glifosato: Propriedades, Toxicidade, Usos e Legislação. *Química Nova*, São Paulo, v. 25, n. 4, p.589-593, 2002.
- ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. Application of eco-physiological quocientes (qCO<sub>2</sub> and qP) on microbial biomasses from soils of diferent cropping histories. *Soil Biology and Bioquimistry*, v.22, n.2, p.251-255, 1990.
- ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil. *Soil Biology and Bioquimistry*, v.10, p.215-221, 1978.
- ARAUJO, A.S.F.; MONTEIRO, R.T.R. & ABARKELI, R.B. Efect of glyphosate on the microbial activity of two Brazilian soils. *Chemosphere*, v. 52, p. 799-804, 2003.
- BACHELIER, G. La vie animale dans les sols. O.R.S.T.O.M., Paris. 279p, 1963.
- BEHAN-PELLETIER, V. M. Oribatid mite biodiversity in agroecosystems: role for bioindication. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, Amsterdam, v.74, p.411-423, 1999.
- BOHM, G.M.B.; CASTILHOS, D.; PIGOSSO, G.; TRICHEZ, D.; ROMBALDI, C. V.Efeito do controle de plantas daninhas na biomassa e atividade microbiana em Planossolo cultivado com soja BRS 244RR. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v.13, n.4, 2007.
- BUSSE, M. D., RATCLIFF, G.A., SHESTAK, C.J. E POWERS, R.F. Glyphosate toxicity and the effects of long-term vegetation control and soil on soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry*, v.33, p.1777-1789, 2001.
- CHAKRAVARTY, P.; CHATARPAUL, L. Non-target effect of herbicides. II. The influence of glyphosate on ectomycorrhizal symbiosis of red pine *Pinus resinosa* under greenhouse and field conditions. *Pestic. Sci.*, v. 28, p. 243-248, 1990.
- CORTEF, J.K.; VAUFLERY, A., POINSOT-BALAGUERA N.; GOMOTB, L.; TEXIERC, C.; CLUZEAUC, D. The use of invertebrate soil fauna in monitoring pollutant effects. *Eur. Soil Biol*, v.35, n.3, p. 115-134, 1999.
- DONEGAN, K. K.; WATRUD, L. S. Soil and litter organims in Pacific northwest forests under different management practices. *Applied Soil Ecology*, Amsterdam, v.18, p.159-175. 2001.
- DUARTE, M. Abundância de microartrópodes do solo em fragmentos de mata com araucária no sul do Brasil. *Sér. Zool.*, Porto Alegre, v. 94, n.2, p.163-169, 2004.
- EMBRAPA- Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – Brasília: Embrapa. Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2 ed. ,306p, 2006.
- GIMSING, A.L., BORGGAORD, O.K.,JACOBSEN, O.S., AAMAND, J., SORENSEN, J. Chemical and microbiological soil characteristics controlling glyphosate mineralisation in Danish surface soils. *Applied Soil Ecology*, v. 27, p.233–242, 2004.

- HANEY, R. L.; SENSEMAN, S. A. & HONS, F. M. Bioremediation and Biodegradation: Effect of Roundup Ultra on Microbial Activity and Biomass from Selected Soils. *Journal Environmental Quality*, v. 31, p.730-735, 2002.
- LIPHADZI, K.B.; AL-KHATIB, K.,; BENSCH, C.N.; STAHLMAN, P.W.; DILLE, J.A.; TODD, T.; RICE, C.W.; HORAK, M.J.; HEAD, G. Soil microbial and nematode communities as affected by glyphosate and tillage practices in a glyphosate-resistant cropping system. *Weed Science*, v. 53, n.4, p. 536-545, 2005.
- MARAUN, M.; VISSER, S.; SCHEU, S. Oribatid mites enhance the recovery of the microbial community after a strong disturbance. *Applied Soil Ecology*, Amsterdam, 9:175-181. *woodlands. Biodiversity Letters*, Oxford, v.1, p.54-62, 1998.
- MELO, L.A.S.; LIGO, M.A.V. Amostragem de solo e uso de "litterbags" na avaliação populacional de microartrópodos edáficos. *Scientia Agricola*, v.56, n.3, p.523-528, 1999.
- MIGLIORINIA, M.; PIGINOA, G.; CARUSOB, T. FANCIULLIA, P.P.; LEONZIOB, C.; BERNINIA, F. Soil communities (Acari Oribatida; Hexapoda (Collembola) in a clay pigeon shooting range. *Pedobiologia*, v.49, p. 1-13, 2005.
- MORSELLI, T.B.G.A. *Biologia do solo*. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. Polígrafo. 132p, 2006.
- PONGE, J.F.; FLORENCE, D., SERVANE, G.; SOUSA, J.P.; LAVELLE, P. Decreased biodiversity in soil springtail communities: the importance of dispersal and landuse history in heterogeneous landscapes. *Soil Biology & Biochemistry*, v.38, p. 1158–1161, 2006.
- SANTOS, V.B.; CASTILHOS, D.D.; CASTILHOS, R. M.V.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; SILVA, D. G. Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v.10, n.3, p. 333-338, 2004.
- WERNER, M.R.; DINDAL, D.L. Nutritional ecology of soil arthropods. In: SLANSKY JR., F.; RODRIGUES, J.G. *Nutritional ecology of insects, mites, spiders and related invertebrates*, p.815-836, 1987.