



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL**  
**CAMPUS ERECHIM**  
**MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**JESSICA DIAS GOMES DA SILVA**

**INTERVALO DE SEGURANÇA DA APLICAÇÃO DE METSULFURON-METHYL  
USADO EM DESSECAÇÃO E POSTERIOR CULTIVO DA SOJA**

**ERECHIM**

**2020**

**JESSICA DIAS GOMES DA SILVA**

**INTERVALO DE SEGURANÇA DA APLICAÇÃO DE METSULFURON-METHYL  
USADO EM DESSECAÇÃO E POSTERIOR CULTIVO DA SOJA**

Dissertação de mestrado, apresentada para o Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. D. Sc. Leandro Galon  
Coorientador(a): Dr<sup>a</sup>. Caroline Müller

**ERECHIM**

**2020**

## **Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS**

Silva, Jessica Dias Gomes da  
INTERVALO DE SEGURANÇA DA APLICAÇÃO DE  
METSULFURON-METHYL USADO EM DESSECAÇÃO E POSTERIOR  
CULTIVO DA SOJA / Jessica Dias Gomes da Silva. -- 2020.  
59 f.

Orientador: Doutor Leandro Galon  
Co-orientadora: Doutora Caroline Müller  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da  
Fronteira Sul, Programa de Pós-Graduação em Ciência e  
Tecnologia Ambiental, Erechim, RS, 2020.

1. Metsulfuron-methyl. 2. Soja. 3. Carryover. 4.  
Persistência no solo. I. Galon, Leandro, orient. II.  
Müller, Caroline, co-orient. III. Universidade Federal  
da Fronteira Sul. IV. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL  
CAMPUS ERECHIM  
COORDENAÇÃO ACADÊMICA  
COORDENAÇÃO ADJUNTA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
SECRETARIA DE PÓS GRADUAÇÃO  
ERS 135 – Km 72, nº 200, Caixa Postal 764, Erechim-RS, CEP 99700-970, 54 3321 7099  
sec.posgrad.er@uffs.edu.br, www.uffs.edu.br

### Ata de Defesa de Dissertação 005/PPGCTA-2020

Aos trinta dias do mês de março de dois mil e vinte, às treze horas e quarenta e cinco minutos, na UFFS Campus Erechim, reuniu-se, para defesa da dissertação apresentada por **JESSICA DIAS GOMES DA SILVA**, do programa de Pós-Graduação, stricto Sensu, em Ciência e Tecnologia Ambiental, intitulada: “INTERVALO DE SEGURANÇA DA APLICAÇÃO DE METSULFURONMETHYL USADO EM DESSECAÇÃO E POSTERIOR CULTIVO DA SOJA”, a Banca Examinadora, composta pelos professores: Prof. D. Sc. Leandro Galon (Orientador/presidente - UFFS), Dra. Caroline Müller (Membro titular externo – Coorientadora – Bolsista PNP/PPGCTA/UFFS); Prof. Dr. Fernando Machado dos Santos (Membro titular externo – IFRS/Sertão); Pesquisador D. Sc. Germani Concenço (Membro titular externo – Embrapa Clima Temperado), todos participaram via Skype, seguindo orientações da PORTARIA Nº 303/GR/UFFS/2020. O professor Orientador/Presidente deu por aberta a sessão e logo a seguir passou a palavra à mestranda, para que, em até trinta minutos, expusesse seu trabalho. Terminada a exposição, passou-se à arguição da Banca Examinadora. A seguir, a sessão foi suspensa e os examinadores decidiram por (X) aprovar ( ) reprovando o trabalho.

Observações: *Efetuar todas as correções e sugestões propostas pela banca*

A banca orienta que no prazo de 45 dias seja entregue a versão final do trabalho de dissertação à Secretaria de Pós-Graduação. Nestes termos, esta ata segue assinada pelos Membros da Banca Examinadora e pelo(a) mestrando(a).

Erechim/RS, 30 de março de 2020.

Jéssica Dias Gomes da Silva

Prof. D. Sc. Leandro Galon

Dra. Caroline Müller

Prof. Dr. Fernando Machado dos Santos

D. Sc. Germani Concenço

*Leandro Galon*  
\_\_\_\_\_  
*Leandro Galon*  
\_\_\_\_\_  
*Caroline Müller*  
\_\_\_\_\_  
*f/fp Leandro Galon*  
\_\_\_\_\_  
*f/fp Leandro Galon*  
\_\_\_\_\_

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à todos que colaboraram para a conclusão deste trabalho, em especial aquelas pessoas que além de me ajudarem na função que desempenham nessa caminhada foram também meu apoio e incentivo, para vocês toda a minha gratidão.

## RESUMO

A soja é uma cultura de extrema importância econômica e social no cenário mundial, sendo a incidência de plantas daninhas um dos principais fatores que interferem na produtividade da cultura. O controle de plantas daninhas infestantes da soja com a aplicação de herbicidas é o principal método de manejo utilizado pelos produtores, em função da praticidade, eficiência, rapidez e menor custo quando comparado a outros métodos de controle. No entanto, o uso inadequado desses produtos, associado à falta de novas moléculas, tem dificultado o sucesso desta prática. O uso de diferentes herbicidas pelos produtores tem sido a alternativa encontrada nos programas de manejo. Porém, para a eficácia dos herbicidas é preciso conhecer a molécula utilizada a fim de evitar possíveis danos à cultura. Os objetivos deste estudo foram: i) avaliar a interferência do herbicida metsulfuron-methyl aplicado em diferentes épocas sobre o desenvolvimento da soja cultivada em solos com distintas características; ii) estudar os efeitos de doses do herbicida metsulfuron-methyl aplicado em diferentes épocas sobre as características fisiológicas e produtivas da soja cultivar NA 5909 RG; iii) avaliar os efeitos do metsulfuron-methyl em planta bioindicadora de pepino. Foram realizados experimentos em casa de vegetação e à campo, ambos conduzidos no delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial. Em casa de vegetação avaliou-se diferentes épocas de aplicação (0,15, 30 e 45 dias antes da semeadura) e solos oriundos de diferentes locais (Erechim, Itaqui, Piratini e Santa Maria). Para o experimento à campo estudou-se o efeito de épocas (0,15, 30 e 45 dias antes da semeadura) e doses do herbicida metsulfuron-methyl (0,0; 3,6; 5,4; 7,2 e 9,0 g ha<sup>-1</sup> de ingrediente ativo), sendo este repetido em dois anos consecutivos. O último experimento também foi realizado em casa de vegetação com plantas de pepino, como espécie bioindicadora, coletando-se solo do ensaio que foi instalado a campo. Foram avaliadas a fitotoxicidade, características fisiológicas e morfológicas e os componentes de rendimento da soja. Pode-se observar que o solo de Erechim proporcionou o menor crescimento e desenvolvimento da soja, a proximidade da aplicação do herbicida a semeadura da soja ocasionou injúrias à cultura, sendo estes mais expressivos na maior dose. Danos fisiológicos e de fitotoxicidade também foram observados nas plantas de pepino.

Palavras-chave: *Carryover*. Persistência no solo. *Glycine max*.

## ABSTRACT

Soybean is a crop of extreme economic and social importance worldwide, and the incidence of weeds is one of the main factors that interfere in the crop's productivity. The control of soybean weed with the application of herbicides is the main management method used by producers, due to the practicality, efficiency, speed and lower cost when compared to other control methods. However, the inappropriate use of these products, associated with the lack of new molecules, has hampered the success of this practice. The use of different herbicides by producers has been the alternative found in control programs. However, for the effectiveness of herbicides it is necessary to know the molecule used in order to avoid possible damage to the crop. The objectives of this study were: i) to evaluate the interference of the herbicide metsulfuron-methyl applied at different times on the development of soybean cultivated in soils with different characteristics; ii) to study the effects of doses of the herbicide metsulfuron-methyl applied at different times on the physiological and productive traits of soybean cultivar NA 5909 RG; iii) to evaluate the effects of metsulfuron-methyl in a cucumber bioindicator plant. Experiments were carried out in a greenhouse and in the field, both conducted in a randomized block design in a factorial scheme. In greenhouse, different application times (0.15, 30 and 45 days before sowing) and soils from different locations (Erechim, Itaqui, Piratini and Santa Maria) were evaluated. For the field experiment, the effect of seasons (0.15, 30 and 45 days before sowing) and metsulfuron-methyl doses (0.0; 3.6; 5.4; 7.2 and 9.0 g ha<sup>-1</sup> i.a.), which was repeated for two consecutive years. The last experiment was also carried out in greenhouse with cucumber plants, as a bioindicator, collecting test soil that was installed in the field. Phytotoxicity, physiological and morphological traits and yield components were evaluated. It can be seen that the Erechim soil provided the least soybean growth and development, the proximity of the application of the herbicide to the soybean sowing caused damage to the crop, which were more expressive in the highest dose. Physiological and phytotoxicity damages were also observed in cucumber plants.

Keywords: Carryover. Soil persistence. *Glycine max*.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	1
REFERÊNCIAS .....	5
SELETIVIDADE DE METSULFURON-METHYL À SOJA APLICADO ANTES DA SEMEADURA EM DIFERENTES ÉPOCAS E SOLOS .....	8
INTRODUÇÃO.....	8
MATERIAL E MÉTODOS.....	10
RESULTADOS .....	13
DISCUSSÃO .....	20
CONCLUSÕES .....	23
SELECTIVITY OF METSULFURON-METHYL TO SOYBEAN APPLIED BEFORE SEEDING IN DIFFERENT TIMES AND SOILS .....	24
REFERÊNCIAS .....	25
EFEITO DA APLICAÇÃO DE METSULFURON-METHYL NA DESSECAÇÃO ANTECIPADA SOBRE AS CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS E PRODUTIVAS DA SOJA EM SUCESSÃO .....	30
INTRODUÇÃO.....	30
MATERIAL E MÉTODOS.....	32
RESULTADOS .....	36
DISCUSSÃO .....	44
CONCLUSÕES .....	48
EFFECT OF METSULFURON-METHYL APPLICATION ON EARLY DESICCATION ON THE MORPHOPHYSIOLOGICAL AND PRODUCTIVE TRAITS OF SOYBEAN SUCCESSION.....	49
REFERÊNCIAS .....	50
ANEXOS .....	55
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	59

## INTRODUÇÃO GERAL

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma planta anual e herbácea pertencente a família Fabaceae, com hábito de crescimento ereto e raízes pivotantes. Possui crescimento morfológico diversificado, com número variado de ramificações e ciclo variando de 90 a 140 dias, dependendo da cultivar e das condições de clima e de solo onde é semeada (MATSUO; FERREIRA; SEDIYAMA, 2015). É um dos mercados de *commodities* agrícolas que apresentou crescimento mais expressivo nas últimas décadas, sendo a principal fonte de proteína vegetal produzida e consumida, o que a torna uma cultura chave para a segurança alimentar global.

A importância econômica dessa espécie deve-se à estruturação e ao desenvolvimento de um mercado internacional sólido ligado ao comércio de produtos advindos do complexo agroindustrial da soja, e a geração e oferta de tecnologias que viabilizaram a expansão da exploração sojícola para diversas regiões do mundo. Além disso, os grãos podem ser utilizados na alimentação animal - focada para atender demandas crescentes dos setores voltados à produção de produtos de origem animal (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2014) e na fabricação de biocombustíveis, um ascendente interesse mundial na produção e na utilização de energia renovável e limpa (FREITAS, 2011).

Atualmente a soja representa em torno de 60% da produção de oleaginosas no mundo, sendo os Estados Unidos e o Brasil os maiores produtores mundiais que juntos respondem por aproximadamente 65% do total produzido. A China é o principal país importador responsável por cerca de 60% das importações (USDA, 2020). A importação de soja por este país cresceu de menos de 10 milhões de toneladas em 2000/01 para mais de 93 milhões de toneladas em 2016/17, o que representou um aumento de cerca de 18% ao ano (WILLIAM; DAHL; HERTSGAARD, 2019).

No Brasil, a soja é a cultura agrícola que mais cresceu nas últimas décadas, com um crescimento estimado de 2,6% ao ano entre o período de 2017 a 2026, acima da média mundial prevista de 1,9% (OECD, 2017). A maior liquidez da soja, além da possibilidade de melhor rentabilidade em relação às outras culturas tem estimulado os produtores a ampliar as áreas de cultivo (CONAB, 2018). Na safra 2018/19, o cultivo de soja no Brasil chegou a 35,8 milhões de hectares, com uma produção de 115 milhões de toneladas, mantendo a produtividade média em 3 t ha<sup>-1</sup>, como registrado na última década. A região Centro Sul concentra 85% do total produzido no país, sendo os estados do Mato Grosso, Rio Grande do Sul e Paraná os principais produtores (CONAB, 2019).

O crescimento da cultura da soja no país está associado aos avanços científicos e a disponibilização de tecnologias ao setor produtivo propiciando uma melhor exploração do potencial produtivo da cultura. A mecanização e a criação de cultivares produtivas, adaptadas às diversas regiões, associado ao desenvolvimento de tecnologias relacionadas ao manejo de solos com correção da fertilidade e ao manejo de pragas são fatores promotores desse avanço (FREITAS, 2011). No entanto, o cultivo de soja no Brasil ainda possui desafios a serem superados para aumentar o potencial produtivo da cultura.

Entre os fatores limitantes para o cultivo da soja, pode-se destacar a interferência ocasionada pelas plantas daninhas. Essas espécies não só diminuem o rendimento da cultura, como também aumentam os custos de produção e reduzem a qualidade dos produtos (SARDANA et al., 2017), podendo ocasionar perdas acima de 90% no rendimento de grãos, caso nenhum método de controle seja adotado (ZANDONÁ et al., 2018). Observa-se que as plantas daninhas podem proporcionar maior perda potencial (34%) inclusive em relação a insetos (16%) e doenças (18%) (OERKE, 2006).

O termo planta daninha pode ser definida como qualquer espécie vegetal que se desenvolve em local ou época indesejada que venha a competir com a cultura agrícola por água, luz e nutrientes e/ou liberar substâncias químicas capazes de inibir o desenvolvimento das plantas cultivadas - alelopatia (PITELLI, 2015). Além de limitar o crescimento, a ocorrência de plantas daninhas aumenta a incidência de outras pragas, pode interferir nos sistemas de irrigação, além de afetar a colheita, comercialização e armazenamento dos grãos (MATLOOB et al., 2019). Dessa forma, o controle das plantas daninhas é uma prática essencial nos sistemas de cultivo, a fim de manter a rentabilidade e a viabilidade econômica dos produtos (EDWARDS; HANNAH, 2014).

O controle químico é o principal método utilizado no manejo das plantas daninhas, devido à sua eficácia, melhor custo-benefício, facilidade de aplicação e reduzida necessidade de mão-de-obra (CHAUHAN; SINGH; MAHAJAN, 2012). Com a liberação da tecnologia Roundup Ready® (RR) no Brasil em 2005, o glyphosate passou a ser adotado como o principal herbicida para o manejo de plantas daninhas (NUNES et al., 2018). Em 2017 foram comercializadas cerca de 540 mil toneladas de ingrediente ativo (i.a.) de agrotóxicos no Brasil, dos quais, 58% corresponderam a herbicidas, sendo o glyphosate o mais vendido com 173 toneladas (IBAMA, 2017).

Apesar dos benefícios do controle químico, o uso prolongado e/ou exclusivo de apenas uma molécula fez com que algumas plantas daninhas apresentassem resistência (NORSWORTHY et al., 2012). Fato esse somado com o não surgimento de herbicidas com

novos mecanismos de ação nas últimas duas décadas (DUKE, 2012), tem dificultado o manejo das plantas daninhas. Assim, há necessidade de se buscar entre os herbicidas disponíveis, aqueles que se adaptem no momento mais oportuno de manejo, mantendo a eficácia do controle e o rendimento da cultura.

O sistema de plantio direto é o principal modo de cultivo adotado pelos produtores, sendo o método químico o mais indicado para o controle das plantas daninhas que ocorre no período de entressafra e pré-semeadura a fim de eliminar ou reduzir a interferência no desenvolvimento inicial da cultura da soja (PLACIDO et al., 2015). Dessa forma, um manejo diferenciado através da aplicação de herbicidas alternativos na dessecação antecipada e a utilização de boa cobertura de inverno pode proporcionar o controle mais satisfatório das plantas daninhas de difícil controle (LAMEGO et al., 2013), reduzindo a pressão de seleção imposta pelo uso exclusivo do glyphosate (NUNES et al., 2018).

Entre as alternativas para o manejo das culturas de inverno, como a etapa de dessecação tem-se destacado o uso do herbicida metsulfuron-methyl que atua inibindo a enzima acetolactato sintase (ALS), responsável pela síntese de aminoácidos de cadeia ramificada; valina, leucina e isoleucina (MCCOURT et al., 2005). A restrição na produção desses aminoácidos altera a divisão celular e o crescimento das plantas sensíveis pelo herbicida, agindo na gema apical e nos pontos de crescimento das raízes (RODRIGUES; ALMEIDA, 2018). Esse grupo de herbicidas pode ser utilizado em pré e pós-emergência por apresentarem vias de absorção radicular e foliar, além de possuírem alta mobilidade nas plantas, com translocação tanto pelo xilema como pelo floema (VARGAS et al., 2016). Por se acumularem nos meristemas de crescimento (VARGAS et al., 2016), os sintomas da ação destes herbicidas são caracterizados pela paralisação do crescimento e morte das regiões meristemáticas nas primeiras horas após a aplicação. Porém, os sintomas visuais de clorose das folhas e morte das gemas apicais com evolução para morte completa das plantas ocorre entorno de 21 dias após a aplicação (RODRIGUES; ALMEIDA, 2018).

Em dicotiledôneas, os sintomas incluem a presença de nervuras avermelhadas na face abaxial das folhas, além do encurtamento da raiz principal e intensa proliferação de raízes laterais. Nas gramíneas, ocorre inicialmente redução do comprimento dos entrenós e espessamento do colmo. A sintomatologia geral é caracterizada pelo amarelecimento da região meristemática com evolução para necrose e completa morte das plantas. No caso de aplicações pré-emergentes, a morte das plantas pode ocorrer entre o período logo após a emergência até o estágio de formação de duas folhas (VIDAL et al., 2014).

Os herbicidas pertencentes a esse grupo químico possuem amplo espectro de ação principalmente em dicotiledôneas, alta eficácia, seletividade à várias culturas, requerem baixas doses, além de baixa toxicidade aos mamíferos (MONQUERO, CHRISTOFFOLETI; DIAS, 2000). Os herbicidas inibidores da ALS são comumente usados para proteger cereais, como o trigo, cevada, aveia, triticale, milho e arroz, de espécies daninhas de folhas largas – dicotiledôneas (PERNAK et al., 2015).

Para uso do herbicida metsulfuron methyl em manejo de dessecação deve-se respeitar um intervalo de segurança entre a aplicação e a semeadura de culturas subsequentes sensíveis. Para o cultivo da soja, a recomendação é de um intervalo de 60 dias (AGROFIT, 2020). No entanto, esse período pode ser variável em função da interação de diversos fatores que regulam a atividade residual de um herbicida (MANCUSO; NEGRISOLI; PERIM, 2011). Essas interações são afetadas pelas i) características do solo, como o potencial degradador dos microorganismos, umidade, textura, estrutura, porosidade, teor de carbono orgânico e pH; ii) condições ambientais, como temperatura, umidade relativa e precipitação pluviométrica e iii) características físico-químicas do herbicida utilizado, como coeficiente de partição octanol-água, coeficiente de sorção-dessorção, tempo de meia-vida, constante de ionização, potencial de dissociação ácida, pressão de vapor e solubilidade, além da sensibilidade da cultura em sucessão (BEDMAR; GIANELLI, 2014). Portanto, para a escolha do herbicida a ser utilizado, além da dose e do momento de aplicação, devem ser consideradas as condições específicas locais, como solo, clima, cultivar e até mesmo o sistema rotacional adotado (MANCUSO; NEGRISOLI; PERIM, 2011).

Diante do exposto a hipótese do trabalho é que a utilização do herbicida metsulfuron-methyl no período que antecede o cultivo da soja pode causar danos a depender da época de aplicação, dose utilizada e tipo de solo onde a cultura é semeada. Os objetivos do trabalho foram: i) avaliar a interferência do herbicida metsulfuron-methyl aplicado em diferentes épocas sobre o desenvolvimento da soja cultivada em solos com diferentes características e, ii) estudar os efeitos de doses do herbicida metsulfuron-methyl aplicado em diferentes épocas sobre as características fisiológicas e produtivas da soja cultivar NA 5909 RG; iii) avaliar os efeitos do metsulfuron-methyl em planta bioindicadora de pepino.

## REFERÊNCIAS

- AGROFIT. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários**. Disponível em [http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons). Acesso em: 21 Abr. 2020.
- BEDMAR, F.; GIANELLI, V.R. Comportamiento de herbicidas en el suelo. In: FERNÁNDEZ, O. A.; LEGUIZAMÓN, E. S.; ACCIARESI, H. A. **Malezas e Invasoras de la Argentina: ecología y manejo**. p. 361-390, 2014.
- CHAUHAN, B. S.; SINGH, R. G.; MAHAJAN, G. Ecology and management of weeds under conservation agriculture: A review. **Crop Protection**, v. 38, p. 57-65, 2012.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Safra Brasileira de Grãos-Fevereiro 2018**. Disponível em <https://www.conab.gov.br/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 29 ago. 2019.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Série Histórica das Safras**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20>. Acesso em: 29 ago. 2019.
- DUKE, S. O. Why have no new herbicide modes of action appeared in recente years? **Pest Management Science**, v. 68, p. 505-512, 2012.
- EDWARDS, R.; HANNAH, M. Focus on weed control. **Plant Physiology**, v. 166, p. 1087-89, 2014.
- FREITAS, M. de C. M. de. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera–Centro Científico Conhecer**, v. 7, p. 1-12, 2011.
- HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro. **Embrapa Soja-Documentos (INFOTECA-E)**, Londrina, 2014. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/990000/1/Oagronegociodasojanoscontextosmundialebrasileiro.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2019.
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatórios de comercialização de agrotóxicos**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos#boletinsanuais>>. Acesso em: 29 ago. 2019.
- LAMEGO, F. P. et al. Manejo de *Conyza bonariensis* resistente ao glyphosate: coberturas de inverno e herbicidas em pré-semeadura da soja. **Planta Daninha**, v. 31, p. 433-442, 2013.
- MATLOOB, A. et al. Challenges and prospects for weed management in Pakistan: A review. **Crop Protection**, 2019. Doi:/10.1016/j.cropro.2019.01.030.
- MANCUSO, M. A. C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. Efeito residual de herbicidas no solo (*carryover*). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, p. 151-164, 2011.

MATSUO, É.; FERREIRA, S. C.; SEDIYAMA T. Botânica e fenologia. In: SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2015. p. 27-53.

MCCOURT, J. A. et al. Elucidating the specificity of binding of sulfonylurea herbicides to acetohydroxyacid synthase. **Biochemistry**, v. 44, p. 2330-2338, 2005.

MONQUERO, P. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; DIAS, C. T. dos S. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas inibidores da ALS na cultura da soja (*Glycine max*). **Planta Daninha**, v. 18, p. 419-425, 2000.

NORSWORTHY, J. K. et al. Reducing the risks of herbicide resistance: Best management practices and recommendations. **Weed Science**, v. 60, p. 31-62, 2012.

NUNES, A. L. et al. A Multy-Year Study Reveals the Importance of Residual Herbicides on Weed Control in Glyphosate-Resistant Soybean. **Planta Daninha**, v. 36, p. 1-10, 2018.

OECD – Organization for economic co-operation and development. **Oilseeds and Oilseed Products**, in OECD-FAO Agricultural Outlook 2017-2026. Disponível em: [https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2017-2026/meat\\_agr\\_outlook-2017-10-en](https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2017-2026/meat_agr_outlook-2017-10-en). Acesso em: 29 ago.2019.

OERKE, E. C. Crop losses to pests. **The Journal of Agricultural Science**, v. 144, p. 31-43, 2006.

PLACIDO, H. F. et al. Desiccants application season in pre-emergence in conventional soybeans. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.14, p. 93-102, 2015.

PERNAK, J. et al. Metsulfuron-methyl-based herbicidal ionic liquids. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 63, p. 3357-3366, 2015.

PITELLI, R.A. O termo planta-daninha. **Planta Daninha**, v. 33, 2015.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. R. **Guia de herbicidas**: 7. ed. Londrina: Edição dos Autores, 2018. 764 p.

SARDANA, V. et al. Role of competition in managing weeds: An introduction to the special issue. **Crop Protection**, v. 95, p. 1-7, 2017.

USDA - United States Department of Agriculture. **Oilseeds: World Markets and Trade**. Disponível em: <[http:// https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf](https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf)>. Acesso em: 21 abr. 2020.

VARGAS, L. et al. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas inibidores da acetolactato sintase. In: CHRISTOFFOLETI, P. J.; NICOLAI, M. **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**, p. 99. 2016.

VIDAL, R. A. et al. Mecanismos de ação dos herbicidas. In: MONQUEIRO, Patricia Andrea (Coord.). **Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas**. p. 235-256, 2014.

ZANDONÁ, R. R. et al. Interference periods in soybean crop as affected by emergence times of weeds. **Planta Daninha**, v. 36, p. 1-11, 2018.

WILLIAM, W.; DAHL, B.; HERTSGAARD, D. Soybean quality differentials, blending and special arbitrage. **Journal of Commodity Markets**, 2019.  
Doi:/10.1016/j.jcomm.2019.100095.

# SELETIVIDADE DE METSULFURON-METHYL À SOJA APLICADO ANTES DA SEMEADURA EM DIFERENTES ÉPOCAS E SOLOS

## RESUMO

O controle químico, com uso de herbicidas consiste no principal método de manejo de plantas daninhas infestantes da soja. No entanto, o efeito residual de alguns herbicidas pode causar injúrias nos cultivos em sucessão, processo chamado de *carryover*. Esses danos podem ser determinados pela interação entre as características do solo e do herbicida, das condições ambientais durante a aplicação e cultivo, além da sensibilidade da cultura sucessora. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a seletividade do herbicida metsulfuron-methyl aplicado em diferentes épocas sobre o desenvolvimento da soja cultivada em solos com distintas características. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no delineamento de blocos ao acaso, arranjado em esquema fatorial (4 x 4), com quatro repetições. No fator A testou-se épocas de aplicação (0, 15, 30 e 45 dias antes a semeadura - DAS) e no B solos oriundos de diferentes locais do estado do Rio Grande do Sul (Erechim, Itaqui, Piratini e Santa Maria). A fitotoxicidade foi avaliada aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após emergência da soja (DAE) e as características morfofisiológicas dos 42 aos 45 DAE. O cultivo das plantas de soja no solo Erechim gerou moderada fitotoxicidade, porém com maiores danos na área foliar e massa seca da planta, principalmente após 30 DAS. O solo de Itaqui ocasionou fitotoxicidade gradativa entre 14 e 28 dias após a emergência das plantas. As plantas de soja crescidas nos solos Piratini e Santa Maria apresentaram as maiores fitotoxicidades e reduções fotossintéticas, principalmente aos 15 e 0 DAS. O crescimento das plantas foi reduzido a partir da aplicação do herbicida aos 45 DAS em até 40 e 30% no desenvolvimento da parte aérea quando cultivadas nos solos Piratini e Santa Maria, respectivamente. Ocorreram alterações gradativas nas características fisiológicas e morfológicas das plantas de soja expostas ao efeito residual de metsulfuron-methyl em diferentes solos. Os sintomas de fitotoxicidade foram verificados em todas as épocas de aplicação do herbicida, o que permite indicar que não se deve semear soja com intervalos inferiores a 45 dias após a aplicação de metsulfuron-methyl, independente das características do solo.

**Palavras-chave:** Inibidores de ALS. Sulfoniluréia. *Carryover*. Persistência no solo.

## INTRODUÇÃO

Os herbicidas são imprescindíveis para manter a produtividade das lavouras, no entanto o uso excessivo pode promover alta carga residual no solo, uma vez que nem todo o produto aplicado é absorvido pelas sementes e/ou plantas (LAW, 2001; DA COSTA MARINHO, 2015). Os resíduos de herbicidas acumulados no solo podem resultar em danos às lavouras em sucessão, perda da biodiversidade, além do risco de contaminação das águas superficial e subterrânea (DA COSTA MARINHO et al., 2019).

Os herbicidas no solo são redistribuídos e degradados em curto período para moléculas simples não persistentes, ou ainda, levar meses ou anos quando há ocorrência de moléculas persistentes (PEREIRA et al., 2018). Após a aplicação de herbicidas no solo podem ocorrer os

44 processos de retenção, sorção por adsorção ou absorção das moléculas; transformação via  
45 degradação química e/ou biológica; transporte por deriva, volatilização, lixiviação e  
46 escoamento superficial; e, ainda, a interação entre todos esses processos (MANCUSO;  
47 NEGRISOLI; PERIM, 2011).

48 O processo utilizado para cada produto é regulado e influenciado pelas propriedades  
49 físico-químicas da molécula, atributos do solo e/ou condições ambientais  
50 (CHRISTOFFOLETI et al., 2009). Além disso, considerando as características do solo,  
51 inúmeros fatores podem influenciar na dinâmica do herbicida, como a textura, mineralogia,  
52 matéria orgânica, pH, capacidade de retenção de água (umidade), potencial redox e atividade  
53 microbiológica (MANCUSO; NEGRISOLI; PERIM, 2011). Devido a esses fatores, diversos  
54 estudos com herbicidas residuais vêm sendo feitos em diferentes solos avaliando-se o efeito  
55 em culturas sucessoras, como o algodão (GREY; BRAXTON; RICHBURG, 2012), milho  
56 (CARVALHO et al., 2015; 2018), soja (GONÇALVES et al., 2018) e em plantas de pepino  
57 como bioindicadoras (FREITAS; SANTOS, 2019). Entre os herbicidas residuais destaca-se o  
58 grupo químico das sulfonilureias que podem persistir no ambiente por longo tempo (GALON  
59 et al., 2017), podendo apresentar prolongado efeito residual no solo, como observado para o  
60 nicosulfuron (DIEHL et al., 1995), chlorimuron (DAN et al., 2011), sulfometuron (INOUE et  
61 al., 2015), trifloxyfuron-sodium (GUERRA et al., 2011), imazosulfuron (FÉLIX;  
62 FENNIMORE; RACHUY, 2012), entre outros.

63 O herbicida metsulfuron-methyl, pertencente à classe das sulfonilureias, atua na  
64 inibição da enzima acetolactato sintase (ALS), responsável pela síntese de aminoácidos de  
65 cadeia ramificada valina, leucina e isoleucina (DUGGLEBY; MCCOURT; GUDDAT, 2008).  
66 Esse herbicida é recomendado para o controle de plantas daninhas em aplicação de pré-  
67 emergência na cultura da cana-de-açúcar e pós-emergência para as culturas de arroz, aveia,  
68 café, cevada, trigo, triticale, manejo de inverno e pastagens (RODRIGUES; ALMEIDA,  
69 2018). Porém sabe-se que este tem sido utilizado no manejo de dessecação antecipada para a  
70 semeadura das culturas de verão, o que pode comprometer a produtividade da cultura  
71 sucessora caso não seja respeitado intervalo adequado entre a aplicação e a semeadura da  
72 cultura sensível.

73 O metsulfuron-methyl apresenta baixa adsorção à argila, com principais vias de  
74 degradação realizadas através da microbiota do solo e por hidrólise (RODRIGUES;  
75 ALMEIDA, 2018). Por ser considerado um ácido fraco (pKa 3,75), o pH representa  
76 importante característica no controle da sua adsorção no solo. Em pH superior ao seu pKa as  
77 moléculas majoritariamente estão em sua forma aniônica, aumentando a solubilidade em água

78 e menor susceptibilidade à hidrólise, reduzindo a sorção do solo e aumentando o potencial de  
79 lixiviação e/ou absorção pelas plantas (CÁCERES et al., 2010). Wang et al. (2007)  
80 verificaram ainda que a dinâmica dos resíduos extraíveis e ligados e a taxa de mineralização  
81 de <sup>14</sup>C-metsulfuron-methyl foram alteradas em função do pH e disponibilidade hídrica no  
82 solo. Neste sentido, torna-se fundamental o conhecimento da interação entre os herbicidas  
83 com os colóides do solo, para a correta recomendação, garantindo o efeito desejado e a  
84 segurança dos recursos naturais que sustentam a produção (SILVA; VIVIAN; OLIVEIRA  
85 JR., 2007).

86 No sistema de plantio direto, o uso de herbicidas alternativos tem sido feito pelos  
87 produtores para o manejo de dessecações antecipadas devido às dificuldades de controle de  
88 plantas daninhas resistentes ou tolerantes ao glyphosate. No entanto, o intervalo entre a  
89 aplicação do herbicida e o cultivo da soja subsequente pode ocasionar danos à cultura. Estes  
90 danos podem ser avaliados visualmente através dos sintomas de fitointoxicação nas plantas,  
91 no entanto, nem sempre refletem em perdas produtivas (AGOSTINETTO et al., 2016),  
92 podendo estas serem consequências de danos internos, como a alteração causada por  
93 herbicidas no funcionamento da maquinaria fotossintética (YUAN et al., 2014;  
94 AGOSTINETTO et al., 2016), envolvendo alterações na estrutura do aparelho fotossintético,  
95 como no transporte de elétrons (WALTERS, 2005), resultando em menor eficiência  
96 fotoquímica (DAYAN; ZACCARO, 2012) e na difusão de CO<sub>2</sub> (OLESEN; CEDERGREEN,  
97 2010), ao comprometer a produção de fotoassimilados. Portanto estudos que avaliam  
98 variáveis de maneira complementar permitem inferir uma resposta mais assertiva, elucidando  
99 os mecanismos afetados.

100 Diante do exposto, a avaliação das respostas dos herbicidas nos diferentes solos e  
101 épocas de aplicação torna-se pressuposto fundamental para recomendação mais segura, tanto  
102 do ponto de vista agrônomo como ambiental, principalmente quando se visa a redução no  
103 intervalo entre a aplicação de herbicidas residuais e a semeadura de culturas sensíveis. Assim,  
104 o estudo teve como objetivo avaliar a interferência do herbicida metsulfuron-methyl aplicado  
105 em diferentes épocas sobre o desenvolvimento da soja cultivada em solos com características  
106 distintas.

107

108

109

## MATERIAL E MÉTODOS

110

111 **Desenho experimental e condições de cultivo**

112 O ensaio foi instalado em casa de vegetação na Universidade Federal da Fronteira Sul,  
 113 Campus Erechim, no ano agrícola de 2018/19. O experimento foi conduzido em delineamento  
 114 de blocos completamente casualizados (DBC), arranjado em esquema fatorial 4x4, com  
 115 quatro repetições. No fator A alocou-se os tipos de solos (Erechim, Itaqui, Piratini e Santa  
 116 Maria), sendo as características dos mesmos dispostas na Tabela 1. E no fator B foram  
 117 dispostas as épocas de aplicação do metsulfuron-methyl (45, 30, 15 e 0 dias antes da  
 118 semeadura da soja - DAS).

119

120 **Tabela 1.** Características físico-químicas das amostras de solo oriundos dos municípios de Erechim,  
 121 Itaqui, Piratini e Santa Maria, utilizados no experimento. UFFS, Campus Erechim/RS.

SOLOS	Areia	Silte	Argila	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC <sub>efetiva</sub>
	%			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				
Erechim	17,01	27,09	55,90	4,5	1,6	0,5	6,2	6,8
Itaqui	58,62	19,48	21,90	2,5	1,5	0,2	4,4	4,5
Piratini	58,30	14,80	26,90	3,3	2,1	0,5	8,7	6,6
Santa Maria	34,61	38,49	26,90	4,2	2,4	1,4	9,7	8,4

SOLOS	pH água	Saturação (%)		Índice	MO (%)	K	P-Mehlich
	1:1	Al	Bases	SMP	m/v	mg dm <sup>-3</sup>	
Erechim	5,0	7,4	51	5,7	2,35	48	2,1
Itaqui	4,9	4,4	49	6,0	1,38	75	15,1
Piratini	4,7	7,6	41	5,4	2,76	270	22,1
Santa Maria	4,5	16,7	42	5,3	2,07	113	17,1

122

123 Os solos foram previamente peneirados, secos ao ar livre e acondicionados em vasos  
 124 plásticos (8 dm<sup>3</sup>). A adubação foi realizada de acordo com a análise prévia, seguindo-se as  
 125 recomendações técnicas para a cultura da soja (CQFS, 2016). O regime de irrigação foi  
 126 definido a partir de estudos prévios (dados não apresentados), com a simulação de 10 mm de  
 127 chuva em regime de dias alternados até o momento da semeadura da soja. Após a semeadura,  
 128 a irrigação foi realizada de acordo com a necessidade da cultura.

129 A aplicação do herbicida metsulfuron-methyl (3,96 g ha<sup>-1</sup> i.a.) foi realizada aos 45, 30,  
 130 15 e 0 dias antes da semeadura (DAS). A dose selecionada de ingrediente ativo (i.a.)  
 131 corresponde a 6,6 g ha<sup>-1</sup> do produto comercial, sendo essa a dose máxima recomendada para a  
 132 maioria das culturas e plantas alvo (RODRIGUES; ALMEIDA, 2018). As aplicações foram

133 realizadas com o auxílio de um pulverizador costal pressurizado a CO<sub>2</sub>, equipado com barra  
134 de quatro bicos com pontas de pulverização do tipo DG 110.02, espaçados 0,5 m entre si e  
135 calibrado para proporcionar volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup>.

136 As sementes da cultivar de soja NA 5909 RG foram semeadas à uma profundidade de  
137 aproximadamente 3 cm, buscando manter a superfície do solo intacta. Após a emergência,  
138 foram mantidas quatro plantas por unidade experimental.

139

## 140 **Avaliações**

### 141 ***Fitotoxicidade***

142 Aos 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após a emergência (DAE) foram realizadas avaliações  
143 de fitotoxicidade, adotando-se a escala percentual, onde zero (0%) é a ausência de danos e  
144 cem (100%) indica a morte das plantas (SBCPD, 1995).

145

### 146 ***Características fisiológicas***

147 As trocas gasosas foram avaliadas na penúltima folha completamente expandida ao  
148 final do período vegetativo (V8) (FEHR; CAVINESS, 1977), através de três avaliações por  
149 parcela para determinar a taxa fotossintética ( $A$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$ ,  
150  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), transpiração ( $E$ ,  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e a relação entre a concentração interna e externa de  
151 CO<sub>2</sub> ( $C_i/C_a$ ,  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) e calculada a eficiência do uso da água ( $EUA = A/E$ ,  $\text{mol mol}^{-1}$   
152 H<sub>2</sub>O). As avaliações foram realizadas entre as 8:00 e 11:00 am sob radiação  
153 fotossinteticamente ativa ( $\sim 550 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), concentração de CO<sub>2</sub> ( $C_a$ ,  $\sim 400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ ) e  
154 temperatura ( $\sim 26 \text{ }^\circ\text{C}$ ) ambientes, utilizando o analisador de gases no infravermelho (IRGA;  
155 LCA PRO, Analytical Development Co. Ltd, Hoddesdon, UK).

156 As variáveis da fluorescência da clorofila *a* foram avaliadas na penúltima folha  
157 completamente expandida ao final do período vegetativo (V8) (FEHR; CAVINESS, 1977),  
158 utilizando o fluorômetro modulado portátil (OS5p, Opti-Sciences Inc., Hudson, EUA).  
159 Inicialmente as folhas foram adaptadas ao escuro, por 30 minutos, para a obtenção da  
160 fluorescência mínima ( $F_0$ ) e máxima ( $F_m$ ), os quais permitiram calcular o rendimento quântico  
161 potencial do fotossistema II (FSII) ( $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$ ) e a atividade da oxidação das  
162 moléculas de água no FSII ( $F_v/F_0 = (F_m - F_0)/F_0$ ). As variáveis da fase lenta de indução da  
163 fluorescência foram obtidas sequencialmente com a exposição à iluminação e de um pulso de  
164 luz actínica saturante para a determinação das variáveis: de fluorescência *steady state* ( $F$ ) e a  
165 fluorescência máxima em amostra adaptada à luz ( $F_m'$ ). A partir dessas variáveis foi possível  
166 calcular o rendimento quântico efetivo do FSII,  $Y_{II} = (F_m' - F)/F_m'$  e os rendimentos quânticos

167 da dissipação de energia regulada,  $Y_{NPQ} = (F/F_m') - (F/F_m)$ , sendo calculados de acordo com  
168 Genty et al. (1989) e Hendrickson et al. (2004). O  $Y_{II}$  foi utilizado ainda para estimar a taxa  
169 aparente de transporte de elétrons,  $ETR = Y_{II} \times PAR \times 0,84 \times 0,5$  (BILGER; SCHREIBER;  
170 BOCK, 1995), onde PAR é o fluxo de fótons ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) incidente sobre a folha; 0,5 o  
171 valor correspondente à fração de energia de excitação distribuída para o FSII (LAISK;  
172 LORETO, 1996); e 0,84 o valor correspondente à fração de luz incidente que é absorvida  
173 pelas folhas (EHLERINGER, 1981).

174

### 175 ***Características morfológicas***

176 Ao final do período de condução do experimento, quando as plantas se encontravam  
177 em V8 (FEHR; CAVINESS, 1977) foi determinado a altura de plantas (cm), o diâmetro de  
178 caule (mm) e o comprimento de raiz (cm). A altura e o comprimento da raiz foram aferidos  
179 com régua graduada em milímetros e o diâmetro através de paquímetro digital. A área foliar  
180 (AF;  $\text{cm}^2 \text{vaso}^{-1}$ ) foi avaliada com o auxílio de medidor de área foliar (LI 3100C, Li-Cor®,  
181 Nebraska, EUA). As plantas foram então separadas em parte aérea e raiz e secas em estufa  
182 com circulação forçada de ar a  $60^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$  por 72 horas para a obtenção da massa seca da  
183 parte aérea (MSPA,  $\text{g vaso}^{-1}$ ) e massa seca do sistema radicular (MSR,  $\text{g vaso}^{-1}$ ).

184

### 185 **Análise estatística**

186 Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ), e, ao ser  
187 constatada a significância, as médias foram comparadas pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Os dados  
188 padronizados foram ainda avaliados por meio da análise de componentes principais (PCA).  
189 Todas as análises foram realizadas através do software R v. 3.6.1 (R Core Team, 2019)  
190 utilizando os pacotes easyanova (Arnhold, 2013).

191

192

193

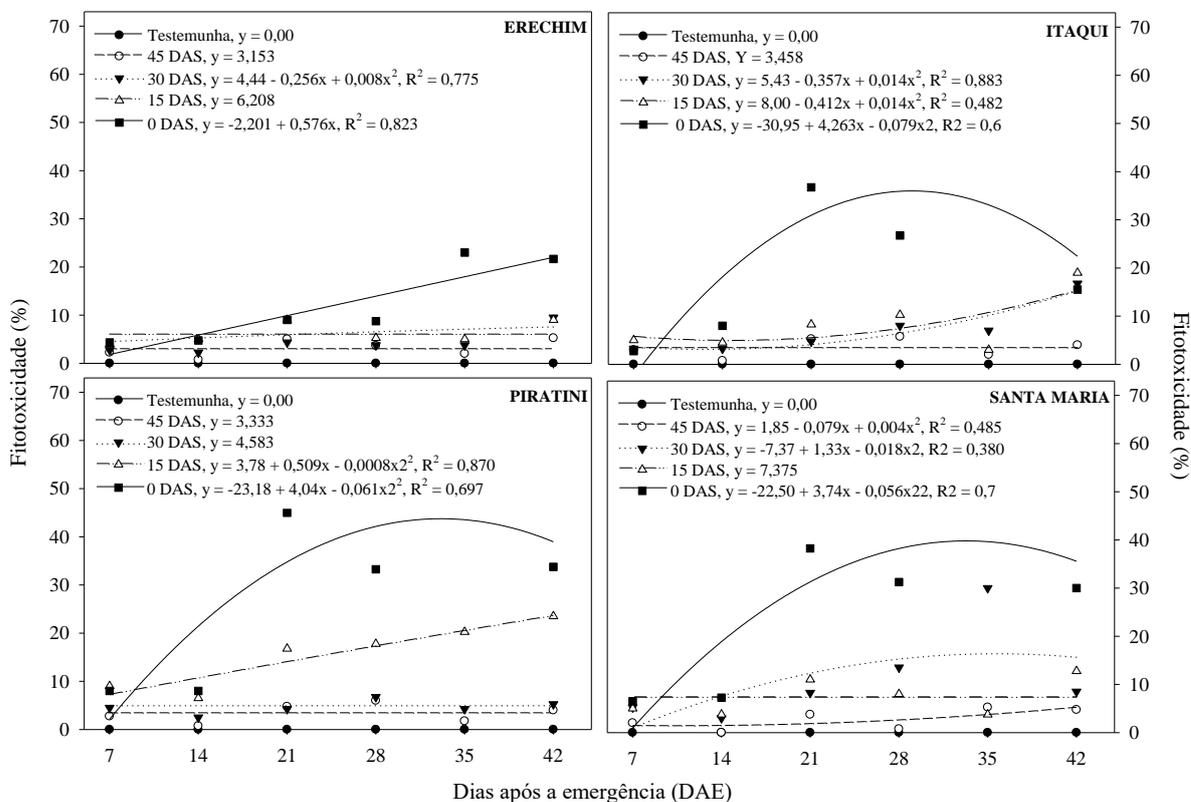
## 193 **RESULTADOS**

194

### 195 **Fitotoxicidade**

196 Houve interação entre os diferentes tipos de solo e a época de aplicação do herbicida  
197 para a fitotoxicidade. Foi observada maior fitotoxicidade aos 0 DAS para todos os solos  
198 avaliados, sendo que o cultivo da soja no solo de Erechim ocasionou menor percentual de  
199 fitotoxicidade em relação aos demais solos, com valor máximo de 23%. O solo Piratini  
200 proporcionou fitotoxicidade mais expressiva a partir de 15 DAS e, no solo Santa Maria a

201 partir de 30 DAS, ao longo das avaliações após a emergência das plantas de soja. Em cultivo  
 202 com o solo Itaquí foi observada fitotoxicidade aos 15 e 30 DAS de 17 e 19% respectivamente,  
 203 após 35 dias da emergência das plantas (Figura 1).



204  
 205 **Figura 1.** Fitotoxicidade (%) de plantas de soja cultivar NS 5909 cultivadas nos solos  
 206 Erechim, Itaquí, Piratini e Santa Maria semeadas após 45, 30, 15 e 0 dias da aplicação do  
 207 herbicida metsulfuron-methyl, e na ausência da aplicação do herbicida (Testemunha). UFFS,  
 208 Erechim-RS, 2019.

209

## 210 Características fisiológicas

211 O cultivo das plantas de soja no solo Erechim proporcionou menores valores de  
 212 fotossíntese (A) (Tabela 2) e menor eficiência no uso da água (dados não mostrados) a partir  
 213 dos 30 DAS. No entanto, a condutância estomática ( $g_s$ ), transpiração ( $E$ ) e a relação  $C_i/C_a$   
 214 (dados não mostrados) foram, em média, 42, 13 e 5% superior aos demais solos. Não sendo  
 215 observada diferença entre os solos Itaquí, Piratini e Santa Maria para as trocas gasosas  
 216 (Tabela 2).

217 Houve interação entre os fatores testados para as variáveis rendimento quântico  
 218 efetivo do FSII ( $Y_{II}$ ) e taxa de transporte de elétrons (ETR). O solo Erechim reduziu a ETR  
 219 em 20%, na aplicação ao 0 DAS. Para o rendimento quântico potencial do FSII ( $F_v/F_m$ ) e a  
 220 atividade da oxidação das moléculas de água no FSII ( $F_v/F_0$ ) foram verificadas também

221 reduções para os solos Erechim e Itaqui (dados não mostrados). As plantas cultivadas no solo  
222 Piratini apresentaram a dissipação não fotoquímica ( $Y_{NPQ}$ ) em média 15% superior na  
223 comparação aos demais solos. Comprometimento do rendimento quântico efetivo do FSII  
224 ( $Y_{II}$ ) foi observado após 45 DAS nas plantas em solo Piratini, com reduções de até 12%. O  
225 solo Santa Maria proporcionou reduções moderadas na ETR (5%) e no  $Y_{II}$  (8%) nas plantas  
226 de soja semeadas aos 15 DAS (Tabela 2).

227

### 228 **Características morfológicas**

229 Nas variáveis morfológicas observou-se interação apenas para área foliar (AF) e massa  
230 seca da parte aérea (MSPA), a proximidade da semeadura proporcionou redução gradativa  
231 destas variáveis para todos os solos, sendo o Piratini o que apresentou os maiores valores de  
232 AF em todas as épocas, enquanto para a MSPA foram os solos Piratini e Itaqui (Tabela 3).  
233 Para o solo Erechim a AF e a MSPA das plantas de soja foram comprometidas após a  
234 aplicação do herbicida metsulfuron-methyl, com redução média de 4 a 47% aos 45 e 0 DAS,  
235 respectivamente. O solo Itaqui proporcionou redução no crescimento das plantas,  
236 principalmente após 15 DAS. Observou-se, neste solo, redução em torno de 27% no  
237 desenvolvimento da parte aérea (AF e MSPA) com a aplicação do herbicida ao 0 DAS.

238 Independente do solo, a proximidade da aplicação do herbicida a semeadura  
239 incrementou de forma gradativa os danos causados a soja para as variáveis diâmetro do caule  
240 (DC), altura (ALT), comprimento radicular (CR) e massa seca da raiz (MSR), promovendo o  
241 comprometimento do desenvolvimento das plantas em todos os tratamentos avaliados (Tabela  
242 3). Foi verificado que o solo Erechim promoveu reduções média no cultivo da soja de 36 e  
243 50%, para DC e MSR, respectivamente, em relação aos demais solos. As plantas de soja  
244 cultivadas no solo Santa Maria e Piratini apresentaram reduções expressivas na ALT após 0  
245 DAS. O solo Piratini proporcionou diminuição de 40%, e o solo Santa Maria 23% em relação  
246 às testemunhas.

247  
248  
249

**Tabela 2.** Taxa fotossintética (*A*), condutância estomática (*g<sub>s</sub>*), transpiração (*E*), rendimento quântico efetivo do FSII (*Y<sub>II</sub>*), taxa aparente de transporte de elétrons (ETR) e rendimentos quânticos da dissipação de energia regulada (*Y<sub>NPQ</sub>*) de plantas de soja cultivar NS 5909 cultivadas nos solos Erechim, Itaquí, Piratini e Santa Maria semeadas após 45, 30, 15 e 0 dias da aplicação do herbicida metsulfuron-methyl, e na ausência da aplicação do herbicida (Testemunha). UFFS, Erechim-RS, 2019.

Fatores		<i>A</i>	<i>g<sub>s</sub></i>	<i>E</i>	<i>Y<sub>II</sub></i>	ETR	<i>Y<sub>NPQ</sub></i>
Solos	Épocas	( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )			
Erechim	Testemunha	12,59 ± 1,70 a A <sup>2</sup>	0,86 ± 0,24 a A	4,58 ± 0,63 a A	0,458 ± 0,024 c A	48,32 ± 3,25 a AB	0,288 ± 0,038 a A
Erechim	45 DAS <sup>1</sup>	13,01 ± 1,44 a A	0,88 ± 0,15 a A	5,07 ± 0,39 a A	0,505 ± 0,020 b A	47,07 ± 6,65 a AB	0,227 ± 0,055 a AB
Erechim	30 DAS	10,40 ± 0,70 a A	1,09 ± 0,16 a A	4,74 ± 0,49 a A	0,510 ± 0,011 a A	56,02 ± 5,22 a A	0,183 ± 0,056 a B
Erechim	15 DAS	11,60 ± 0,96 a A	1,17 ± 0,12 a A	4,70 ± 0,46 a A	0,510 ± 0,025 a A	48,95 ± 2,33 a AB	0,236 ± 0,054 a AB
Erechim	0 DAS	12,49 ± 1,20 a A	1,22 ± 0,19 a A	4,87 ± 0,47 a A	0,484 ± 0,009 a A	38,92 ± 1,64 b B	0,257 ± 0,037 a AB
Itaquí	Testemunha	11,36 ± 1,12 a A	0,49 ± 0,11 a A	4,30 ± 0,37 a A	0,464 ± 0,033 bc B	40,85 ± 2,82 a B	0,197 ± 0,012 a A
Itaquí	45 DAS	12,25 ± 0,73 a A	0,48 ± 0,09 a A	4,55 ± 0,26 ab A	0,525 ± 0,034 ab AB	51,13 ± 4,46 a AB	0,192 ± 0,047 a A
Itaquí	30 DAS	11,90 ± 1,34 a A	0,49 ± 0,07 a A	3,99 ± 0,40 a A	0,540 ± 0,007 a AB	48,45 ± 2,96 ab AB	0,177 ± 0,041 a A
Itaquí	15 DAS	11,49 ± 0,88 a A	0,51 ± 0,02 a A	4,01 ± 0,34 a A	0,532 ± 0,012 a AB	46,63 ± 5,02 a B	0,204 ± 0,027 a A
Itaquí	0 DAS	12,51 ± 1,00 a A	0,66 ± 0,10 a A	4,30 ± 0,28 a A	0,545 ± 0,019 a A	59,58 ± 2,17 a A	0,207 ± 0,042 a A
Piratini	Testemunha	11,82 ± 2,09 a A	0,58 ± 0,07 a A	3,99 ± 0,27 a A	0,544 ± 0,010 a A	45,17 ± 4,43 a B	0,224 ± 0,013 a A
Piratini	45 DAS	10,73 ± 1,98 a A	0,53 ± 0,15 a A	4,06 ± 0,25 ab A	0,510 ± 0,023 b A	57,97 ± 5,14 a A	0,243 ± 0,025 a A
Piratini	30 DAS	12,04 ± 1,19 a A	0,57 ± 0,18 a A	3,78 ± 0,38 a A	0,508 ± 0,023 a A	42,42 ± 4,37 b B	0,261 ± 0,022 a A
Piratini	15 DAS	11,60 ± 2,51 a A	0,68 ± 0,21 a A	4,40 ± 0,44 a A	0,478 ± 0,020 a A	50,22 ± 3,73 a AB	0,270 ± 0,043 a A
Piratini	0 DAS	12,10 ± 1,25 a A	0,82 ± 0,28 a A	4,24 ± 0,29 a A	0,492 ± 0,029 a A	44,67 ± 4,43 b B	0,263 ± 0,061 a A
Santa Maria	Testemunha	10,60 ± 1,50 a A	0,38 ± 0,05 a B	3,57 ± 0,24 a B	0,533 ± 0,022 ab AB	47,47 ± 6,55 a A	0,217 ± 0,048 a A
Santa Maria	45 DAS	11,39 ± 1,66 a A	0,44 ± 0,04 a B	3,85 ± 0,40 b AB	0,590 ± 0,014 a A	50,75 ± 3,26 a A	0,177 ± 0,027 a A
Santa Maria	30 DAS	12,32 ± 1,11 a A	0,45 ± 0,05 a AB	4,21 ± 0,47 a AB	0,541 ± 0,017 a AB	48,97 ± 2,66 ab A	0,200 ± 0,051 a A
Santa Maria	15 DAS	11,31 ± 2,15 a A	0,82 ± 0,16 a AB	4,34 ± 0,64 a AB	0,493 ± 0,012 a B	45,20 ± 6,88 a A	0,249 ± 0,021 a A
Santa Maria	0 DAS	12,68 ± 1,43 a A	1,17 ± 0,55 a A	4,92 ± 0,54 a A	0,502 ± 0,027 a B	48,15 ± 4,74 b A	0,231 ± 0,062 a A
Erechim		12,02 ± 0,53 a	1,045 ± 0,077 a	4,79 ± 0,19 a	0,493 ± 0,009 b	47,85 ± 2,05 a	0,238 ± 0,020 ab
Itaquí		11,90 ± 0,41 a	0,525 ± 0,037 b	4,23 ± 0,14 b	0,521 ± 0,012 ab	49,33 ± 2,02 a	0,195 ± 0,015 b
Piratini		11,66 ± 0,72 a	0,637 ± 0,078 b	4,09 ± 0,14 b	0,506 ± 0,010 ab	48,09 ± 2,12 a	0,252 ± 0,015 a
Santa Maria		11,66 ± 0,64 a	0,651 ± 0,128 b	4,18 ± 0,22 b	0,532 ± 0,011 a	48,11 ± 2,07 a	0,215 ± 0,019 ab
TESTEMUNHA		11,59 ± 0,73 A	0,576 ± 0,080 B	4,11 ± 0,21 A	0,500 ± 0,015 A	45,45 ± 2,15 B	0,232 ± 0,017 A
45		11,84 ± 0,70 A	0,580 ± 0,073 B	4,38 ± 0,20 A	0,532 ± 0,014 A	51,73 ± 2,47 A	0,210 ± 0,019 A
30		11,66 ± 0,52 A	0,652 ± 0,095 AB	4,18 ± 0,22 A	0,525 ± 0,008 A	48,96 ± 2,16 AB	0,205 ± 0,022 A
15		11,50 ± 0,76 A	0,797 ± 0,096 AB	4,36 ± 0,22 A	0,503 ± 0,010 A	47,75 ± 2,20 AB	0,240 ± 0,018 A
0		12,45 ± 0,53 A	0,968 ± 0,157 A	4,58 ± 0,20 A	0,506 ± 0,012 A	47,83 ± 2,42 AB	0,240 ± 0,024 A
Causas de variação					<i>P</i>		
Solos		0,8945	<0,001	<0,001	0,0147	0,8679	0,0062
Épocas		0,5884	0,0164	0,1344	0,0782	0,075	0,1918
Solos x épocas		0,7111	0,8869	0,3034	0,0098	<0,001	0,6482
Bloco		<0,001	0,0575	<0,001	0,0071	<0,001	<0,001
CV (%)		13,10	43,59	10,90	7,57	12,59	23,35

250

<sup>1</sup>Dias antes da semeadura da soja. <sup>2</sup>Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Letras minúsculas comparam diferentes solos e maiúsculas as épocas de aplicação.

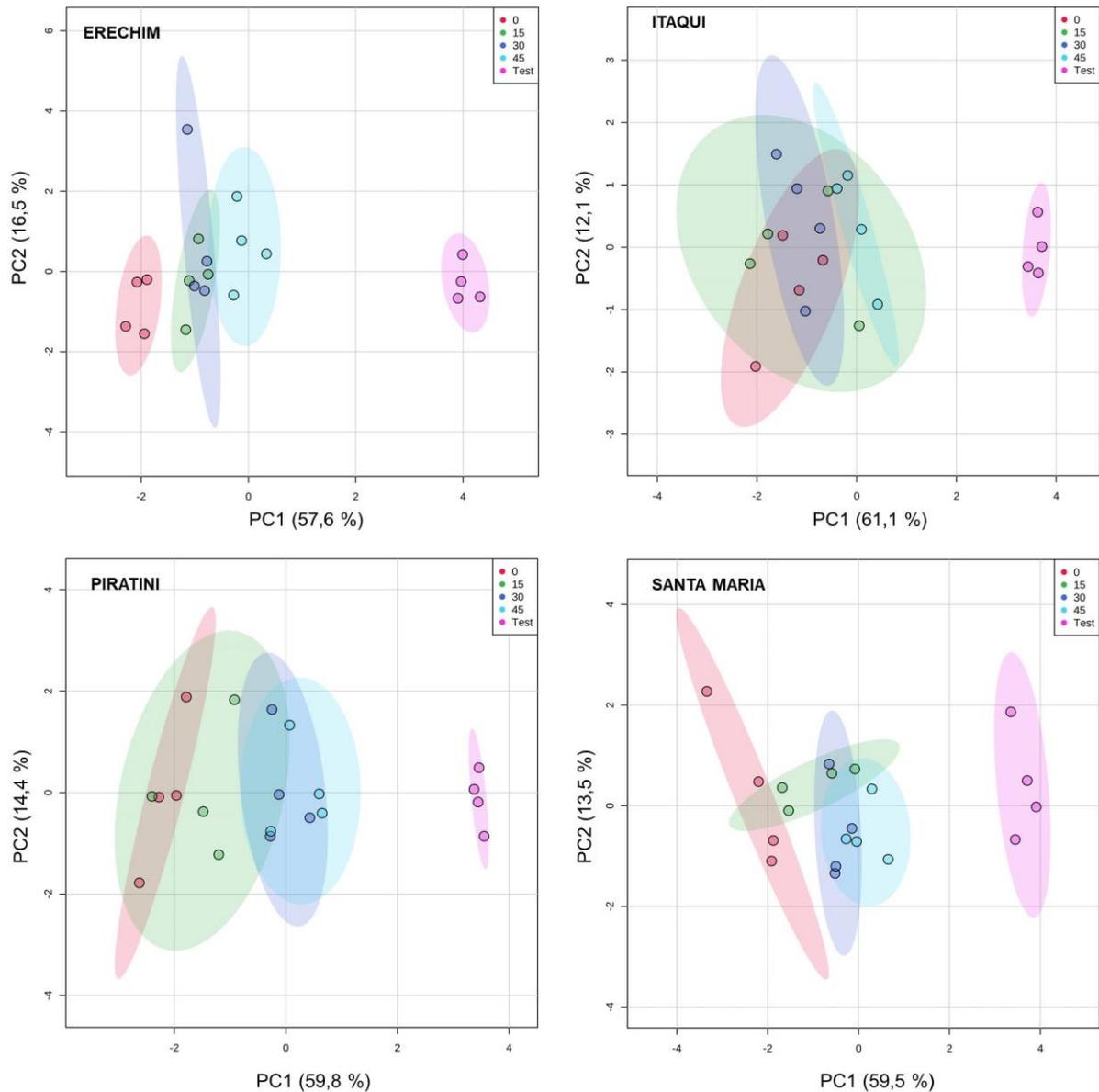
251 **Tabela 3.** Altura (ALT), diâmetro do caule (DC), comprimento da raiz (CR), área foliar (AF), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) de plan  
 252 tas de soja cultivar NS 5909 cultivadas nos solos Erechim, Itaquí, Piratini e Santa Maria semeadas após 45, 30, 15 e 0 dias da aplicação do herbicida metsulfuron-me  
 253 thyl, e na ausência da aplicação do herbicida (Testemunha). UFFS, Erechim-RS, 2019.

Fatores		DC	ALT	CR	AF	MSPA	MSR
Solos	Épocas	mm	Cm	cm	cm <sup>2</sup>	G	g
Erechim	Testemunha	4,43 ± 0,09 b A <sup>2</sup>	30,94 ± 0,50 a A	71,50 ± 9,07 a A	1583,53 ± 41,24 c A	11,51 ± 0,17 c A	6,77 ± 0,34 c A
Erechim	45 DAS <sup>1</sup>	4,72 ± 0,16 b A	30,68 ± 0,82 b A	56,00 ± 6,14 a AB	1538,35 ± 64,66 c A	10,89 ± 0,16 c A	6,88 ± 0,28 b A
Erechim	30 DAS	4,08 ± 0,23 b AB	32,23 ± 0,97 a A	48,75 ± 3,75 a B	1464,53 ± 22,93 c A	9,36 ± 0,24 c AB	5,26 ± 0,23 b AB
Erechim	15 DAS	4,02 ± 0,14 b AB	31,81 ± 1,06 a A	55,00 ± 2,45 a AB	1316,78 ± 98,50 b A	7,89 ± 0,36 b BC	4,69 ± 0,17 b B
Erechim	0 DAS	3,62 ± 0,06 b B	27,77 ± 1,17 a A	57,75 ± 6,21 a AB	884,56 ± 56,92 b B	5,89 ± 0,31 b C	3,57 ± 0,40 c B
Itaquí	Testemunha	6,20 ± 0,18 a A	35,49 ± 1,07 a AB	45,25 ± 3,30 b A	2819,07 ± 197,06 b A	22,15 ± 1,32 b A	10,77 ± 0,44 a A
Itaquí	45 DAS	5,79 ± 0,14 a A	37,41 ± 0,51 a A	49,25 ± 4,17 a A	2762,06 ± 102,85 a A	20,19 ± 0,34 ab A	8,97 ± 0,75 a AB
Itaquí	30 DAS	5,80 ± 0,07 a A	35,28 ± 1,23 a AB	47,75 ± 2,25 a A	2547,91 ± 41,01 ab AB	19,71 ± 0,13 a AB	8,69 ± 0,53 a B
Itaquí	15 DAS	5,80 ± 0,08 a A	32,19 ± 0,49 a AB	50,00 ± 3,24 a A	2183,14 ± 104,49 a BC	16,98 ± 0,60 a BC	8,91 ± 0,79 a AB
Itaquí	0 DAS	5,84 ± 0,13 a A	30,41 ± 0,38 a B	46,25 ± 3,68 a A	2062,35 ± 89,38 a C	15,91 ± 0,94 a C	7,80 ± 0,52 a B
Piratini	Testemunha	5,75 ± 0,14 a A	36,30 ± 1,45 a A	56,00 ± 7,15 ab A	3657,08 ± 80,66 a A	24,84 ± 0,17 a A	9,95 ± 0,48 ab A
Piratini	45 DAS	5,56 ± 0,11 a A	34,51 ± 2,40 ab A	53,25 ± 3,33 a A	2937,46 ± 56,24 a B	22,30 ± 0,95 a A	8,27 ± 0,35 ab AB
Piratini	30 DAS	5,33 ± 0,30 a A	33,16 ± 1,75 a A	61,25 ± 4,91 a A	2778,14 ± 9,99 a BC	19,35 ± 0,40 a B	8,30 ± 0,30 a AB
Piratini	15 DAS	5,31 ± 0,17 a A	30,39 ± 3,09 a A	53,13 ± 4,15 a A	2506,34 ± 112,86 a CD	15,97 ± 0,87 a C	7,27 ± 0,76 a B
Piratini	0 DAS	5,49 ± 0,28 a A	21,78 ± 1,61 b B	50,75 ± 3,07 a A	2172,32 ± 131,87 a D	15,48 ± 0,25 a C	6,51 ± 0,21 ab B
Santa Maria	Testemunha	5,93 ± 0,34 a A	34,51 ± 1,29 a A	63,50 ± 6,01 a A	2874,69 ± 110,70 b A	20,23 ± 1,73 b A	8,53 ± 0,69 ab A
Santa Maria	45 DAS	5,63 ± 0,25 a A	35,18 ± 0,52 ab A	50,50 ± 5,87 a AB	2347,95 ± 49,46 b BC	17,95 ± 0,22 b AB	7,95 ± 0,33 ab A
Santa Maria	30 DAS	5,71 ± 0,19 a A	32,51 ± 1,89 a AB	55,25 ± 2,75 a AB	2388,85 ± 140,37 b B	15,91 ± 0,99 b BC	7,57 ± 0,44 a A
Santa Maria	15 DAS	5,29 ± 0,09 a A	31,58 ± 3,44 a AB	56,00 ± 7,15 a AB	2267,20 ± 50,47 a BC	16,13 ± 0,61 a BC	7,37 ± 0,35 a AB
Santa Maria	0 DAS	5,46 ± 0,19 a A	26,71 ± 0,17 ab B	41,50 ± 2,60 a B	1982,74 ± 64,22 a C	14,13 ± 0,21 a C	5,53 ± 0,53 b B
Erechim		4,17 ± 0,10 c	30,69 ± 0,52 b	57,80 ± 2,93 a	1357,55 ± 63,13 c	9,11 ± 0,48 c	5,43 ± 0,31 c
Itaquí		5,89 ± 0,06 a	34,16 ± 0,66 a	47,70 ± 1,41 b	2474,91 ± 84,08 b	18,99 ± 0,61 a	9,03 ± 0,33 a
Piratini		5,49 ± 0,09 b	31,23 ± 1,45 b	54,88 ± 2,06 ab	2810,27 ± 119,36 a	19,59 ± 0,86 a	8,06 ± 0,32 b
Santa Maria		5,60 ± 0,10 ab	32,10 ± 1,00 ab	53,35 ± 2,68 ab	2372,29 ± 76,54 b	16,87 ± 0,61 b	7,39 ± 0,29 b
Testemunha		5,58 ± 0,20 A	34,31 ± 0,73 A	59,06 ± 3,91 A	2733,59 ± 199,19 A	19,68 ± 1,38 A	9,00 ± 0,45 A
45		5,43 ± 0,13 AB	34,44 ± 0,86 A	52,25 ± 2,34 AB	2396,46 ± 142,95 B	17,83 ± 1,13 B	8,02 ± 0,29 B
30		5,23 ± 0,20 AB	33,30 ± 0,74 A	53,25 ± 2,12 AB	2294,86 ± 133,04 B	16,08 ± 1,10 C	7,45 ± 0,39 B
15		5,11 ± 0,18 B	31,49 ± 1,08 A	53,53 ± 2,14 AB	2068,37 ± 123,63 C	14,24 ± 0,99 D	7,06 ± 0,47 B
0		5,10 ± 0,24 B	26,67 ± 0,93 B	49,06 ± 2,41 B	1775,49 ± 139,92 D	12,85 ± 1,08 E	5,85 ± 0,44 C
Causas de variação		<i>P</i>					
Solos		<0,001	0,0042	0,007	<0,001	<0,001	<0,001
Épocas		0,0016	<0,001	0,0466	<0,001	<0,001	<0,001
Solos x épocas		0,3048	0,0654	0,0892	<0,001	0,0153	0,5288
Bloco		0,9344	0,2953	0,0039	0,859	0,2105	0,7335
CV (%)		7,06	9,62	16,83	8,35	8,54	13,06

254 <sup>1</sup>Dias antes da semeadura da soja. <sup>2</sup>Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (p ≤ 0,05). Letras minúsculas comparam diferentes solos e maiúsculas as épocas de aplicação.



269 contribuiram em maior proporção para o PC2. O *score plot* indica que houve clara separação  
270 entre os tratamentos e o controle, onde o maior distanciamento foi observado com o menor  
271 intervalo entre a aplicação do herbicida e a semeadura da soja, principalmente para o solo de  
272 Erechim. Para os demais solos, também foi observada separação entre os tratamentos 45, 30,  
273 15 e 0 DAS com o tratamento controle, no entanto, com um alto grau de sobreposição entre os  
274 tratamentos onde houve aplicação do herbicida (Figura 3).



275

276 **Figura 3.** *Score plot* das características fitotoxicidade, fisiológicas e morfológicas de plantas  
277 de soja cultivar NS 5909 cultivadas nos solos Erechim, Itaquí, Piratini e Santa Maria semeada  
278 s após 45, 30, 15 e 0 dias da aplicação do herbicida metsulfuron-methyl, e na ausência da apli  
279 cação do herbicida (Testemunha). UFFS, Erechim-RS, 2019.

280

281

282

## DISCUSSÃO

283

284

285 A aplicação do herbicida metsulfuron-methyl em diferentes solos e períodos  
286 antecedentes à época da semeadura ocasionou respostas distintas nas características  
287 fitotoxicidade e morfofisiológicas das plantas de soja. O herbicida metsulfuron-methyl é  
288 altamente solúvel (pKa 3,75), permitindo que as moléculas se mantenham preferencialmente  
289 em sua forma dissociada em uma larga faixa de pH. Isso diminui a sorção com os colóides do  
290 solo e aumenta a sua disponibilidade na solução do solo (OLIVEIRA JR; KOSKINEN;  
291 FERREIRA, 2001; AZCARATE; MONTOYA; KOSKINEN, 2015).

292 A alta disponibilidade do herbicida na solução do solo permitiu que as plantas de soja  
293 apresentassem sintomas de fitotoxicidade em todos os solos avaliados, com respostas  
294 gradativas a partir da aplicação aos 45 dias antes da semeadura (DAS). Os sintomas foram  
295 observados a partir dos sete dias após a emergência das plantas, com incremento ao longo do  
296 tempo, e de forma mais severa para os tratamentos semeados aos 0 DAS. A absorção pelas  
297 plantas depende em grande parte do equilíbrio entre os processos de sorção e dessorção, onde  
298 a mobilidade do herbicida aumenta com a diminuição da sua sorção pelos colóides do solo  
299 (OLIVEIRA; PRATES; SANS, 2005). Assim, a baixa adsorção do herbicida metsulfuron-  
300 methyl no solo indica que a movimentação no perfil do mesmo devido ao fluxo de água e a  
301 degradação do herbicida são importantes características para o efeito residual (ZANINI et al.,  
302 2009). Além disso, Wang et al. (2007) ao estudarem resíduos de metsulfuron-methyl  
303 observaram que o pH, teor de água, textura, e a atividade microbiana do solo governam a  
304 dinâmica de resíduos extraíveis e ligados e a mineralização do herbicida.

305 As plantas de soja cultivadas nos solos de Piratini e Santa Maria apresentaram os  
306 maiores índices de fitotoxicidade, seguidos por Itaqui e Erechim. Além das propriedades do  
307 solo e condições ambientais, estudos anteriores demonstraram que a época de semeadura  
308 (CARVALHO et al. 2015), a via preferencial de degradação do herbicida por microrganismos  
309 (CARVALHO et al., 2018) ocasionaram menor toxicidade em plantas cultivadas em solos  
310 argilosos. Os solos de Itaqui, Piratini e Santa Maria, caracterizados por serem mais arenosos,  
311 podem ter gerado um ambiente menos favorável à comunidade microbiana (CARVALHO et  
312 al., 2018) e desse modo ocasionar menor degradação das moléculas do herbicida.

313 O solo de Erechim, caracterizado pelo alto teor de argila (55,9%), proporcionou  
314 maiores valores da  $g_s$ ,  $E$  e  $Ci/Ca$  nas plantas de soja. A manutenção da abertura estomática e  
315 transpiração, pela maior retenção de água no solo, foram responsáveis por uma menor  
316 eficiência no uso da água, em relação às plantas de soja cultivadas nos demais solos. No

317 entanto, os maiores valores de  $C_i/C_a$  sugerem que as moderadas reduções na taxa  
318 fotossintética e eficiência carboxilativa a partir de 30 DAS foram decorrentes da limitação  
319 não-estomática. Mesmo com os estômatos abertos, o  $CO_2$  não está sendo fixado, devido uma  
320 limitação na etapa carboxilativa da fotossíntese. Isso pode ocorrer pela degradação da  
321 ribulose,1-5,bifosfato (RONCHI et al., 2006) ou de enzimas do Ciclo de Calvin (MATHUR;  
322 AGRAWAL; JAJOO, 2014), resultando em menor taxa de transporte de elétrons, como  
323 observado de forma expressiva no tratamento ao 0 DAS. Os efeitos fotossintéticos causados  
324 pela limitação não-estomática foram previamente reportados em plantas de soja expostas a  
325 resíduos de bensulfuron-methyl (SU et al., 2018) e em plantas de girassol tratadas com  
326 imazamox (BALABANOVA et al., 2016) ambos pertencentes aos inibidores de ALS assim  
327 como o metsulfuron-methyl do presente estudo.

328 Efeitos negativos na etapa fotoquímica da fotossíntese, como menor ETR e  $Y_{II}$  foram  
329 observados aos 30 DAS nas plantas de soja cultivadas no solo Piratini e aos 15 DAS nas  
330 plantas crescidas no solo Santa Maria. Nas plantas cultivadas no solo de Piratini, a menor  $A$   
331 aos 45 DAS e o comprometimento da eficiência fotoquímica podem estar relacionados ao  
332 menor  $F_v/F_0$ , o qual indica efeitos no complexo de evolução do oxigênio no FSII  
333 (SKÓRSKA, 2011). O comprometimento do fluxo de elétrons na etapa fotoquímica da  
334 fotossíntese pode favorecer o excesso de elétrons, que, ao se ligar às espécies reativas de  
335 oxigênio, podem desencadear o estresse oxidativo, como observado nas plantas de trigo  
336 (AGOSTINETTO et al., 2016), soja (HAMIM et al., 2017) e aveia preta (ALVES et al., 2018)  
337 expostas aos herbicidas iodosulfuron, paraquat e fomesafen, respectivamente.

338 Como mecanismo para evitar o excesso de energia, as plantas utilizam processos de  
339 defesa através da dissipação não-fotoquímica de elétrons, como pelo aumento no  $Y_{NPQ}$   
340 observado nas plantas de soja cultivadas no solo Piratini nos tratamentos aos 15 e 0 DAS,  
341 respectivamente. A dissipação térmica ( $Y_{NPQ}$ ), ocorre no ciclo das xantofilas pela conversão  
342 da violaxantina em zeaxantina, no fotossistema II (KROMDIJK et al., 2016; CARDONA;  
343 SHAO; NIXON, 2018). Representa um mecanismo protetor utilizado como a primeira linha  
344 de defesa das plantas, para preservar o processo fotossintético do excesso de energia  
345 (KRAMER et al., 2004). Esse mecanismo foi também utilizado em plantas de feijão comum  
346 expostas ao bentazon (LIMA et al., 2018) e plantas sensíveis de *Alopecurus aequalis* ao se  
347 aplicar mesosulfuron (ZHAO et al., 2019).

348 O comprometimento fotossintético das plantas de soja pode acarretar significativas  
349 reduções nos parâmetros de produção (ZOBIOLE et al., 2012). As plantas de soja cultivadas  
350 nos solos de Piratini e Santa Maria apresentaram efeitos no crescimento em todas as épocas de

351 aplicação, com reduções de aproximadamente 15% no desenvolvimento da parte aérea a partir  
352 dos 45 DAS. Isso pode ser decorrente da maior translocação do herbicida verificada pela  
353 elevada fitotoxicidade nas plantas de soja cultivadas nesses solos, em relação aos solos de  
354 Erechim e Itaqui. O comprometimento do sistema radicular foi observado a partir da redução  
355 de 28% (solo Itaqui) a 47% (solo Erechim), nas plantas de soja tratadas com metsulfuron-  
356 methyl aos 0 DAS, em relação à testemunha sem herbicida. Su et al. (2018) observaram que  
357 resíduos de bensulfuron-methyl também reduziu de forma expressiva o sistema radicular, de  
358 plantas de soja. O herbicida é inicialmente absorvido pelas raízes das plantas, podendo ser  
359 acumulado nesse órgão, afetar o seu desenvolvimento e levar a perdas na produtividade de  
360 grão (BLANCAVER; ITOH; USUI, 2001). Isso demonstra que as características do solo  
361 afetam a intensidade de degradação e o efeito residual do herbicida nas plantas (WANG et al.,  
362 2007). No entanto, quanto maior for o intervalo entre a aplicação e a semeadura da cultura  
363 sucessora, menores ou nulos serão os danos causados pelo efeito residual do produto.

364 Os herbicidas do grupo químico das sulfonilureias, como o chlorimuron, afetaram o  
365 rendimento de grãos de milho com intervalo de até 80 dias entre a aplicação e a semeadura  
366 (DAN et al., 2011). Para a cultura da soja foram observadas reduções de até 76% aos 110  
367 DAA (dias após a aplicação) ocasionadas pelo residual no solo de chlorsulfuron +  
368 metsulfuron (GREY; BRAXTON; RICHBURG, 2012). As culturas, no entanto, apresentam  
369 tolerância diferencial ao efeito residual dos herbicidas (SU et al., 2018). Plantas  
370 bioindicadoras de *C. sativus* apresentaram redução expressiva no acúmulo de matéria seca 40  
371 dias após a aplicação de ametryne (INOUE et al. 2011). Segundo os autores, os sintomas de  
372 toxicidade foram gradativamente reduzidos após esse período. Em solos arenosos, com pH 5,8  
373 e MO 5,5%, a atrazina apresentou persistência de 78 dias após a aplicação (FUSCALDO;  
374 BEDMAR; MONTERUBBIANESI, 1999). O aumento da persistência pode estar relacionado  
375 à baixa porcentagem de mineralização e não formação de resíduo ligado (PRATA et al. 2001;  
376 INOUE et al. 2011), o que destaca a importância de estudos com efeitos residuais para não  
377 afetar as culturas sucessoras, assim como evitar prováveis problemas ambientais. Estudo  
378 realizado por Carvalho et al. (2010) sugere que a semeadura de plantas de algodão, com o  
379 herbicida nicosulfuron, inibidor da ALS, seja realizado com intervalo de segurança mínimo de  
380 60 dias. No presente estudo observou-se que o intervalo de segurança entre a aplicação do  
381 herbicida metsulfuron-methyl e a semeadura da cultura de soja cultivar NA 5909 RG de até  
382 45 DAS não é suficiente para garantir a máxima produtividade da cultura sucessora.

383

384 **Conclusões**

385

386            Sintomas de toxidez foram verificados em todas as épocas de aplicação do herbicida,  
387 sendo a fitotoxicidade mais responsiva que as variáveis morfológicas, e estas mais que as  
388 fisiológicas. As alterações ocorreram de forma gradativa com as épocas de aplicação nas  
389 plantas expostas ao efeito residual de metsulfuron-methyl nos diferentes solos. O que permite  
390 indicar que não se deve semear soja com intervalos inferiores a 45 dias da aplicação de  
391 metsulfuron-methyl, independente das características do solo.

392 **SELECTIVITY OF METSULFURON-METHYL TO SOYBEAN APPLIED BEFORE**  
393 **SEEDING IN DIFFERENT TIMES AND SOILS**

394

395 **ABSTRACT**

396 Chemical control with the use of herbicides is the main management method for weeds in  
397 soybeans. However, the residual effect of some herbicides can cause injuries to crops in  
398 succession, a process called carryover. These damages can be determined by the interaction  
399 between the characteristics of the soil and the herbicide, the environmental conditions during  
400 application and cultivation, in addition to the sensitivity of the successor crop. Thus, the  
401 objective of this work was to evaluate the selectivity of the herbicide metsulfuron-methyl  
402 applied at different times on the development of soybean grown in soils with different  
403 characteristics. The experiment was conducted in a randomized block design, in factorial  
404 scheme (4 x 4), with four replications. In factor A, application times (0, 15, 30 and 45 days  
405 before sowing - DAS) and in factor B, soil from different locations in the state of Rio Grande  
406 do Sul (Erechim, Itaquí, Piratini and Santa Maria) were tested. Phytotoxicity was evaluated at  
407 7, 14, 21, 28, 35 and 42 days after soybean emergence (DAE) and the morphophysiological  
408 traits from 42 to 45 DAE. The cultivation of soybean plants in the Erechim soil generated  
409 moderate phytotoxicity, but with greater damage to the leaf area and dry mass of the plant,  
410 mainly after 30 DAS. The Itaquí soil caused gradual phytotoxicity between 14 and 28 days  
411 after the emergence of the plants. The soybean plants grown in the Piratini and Santa Maria  
412 soils showed the highest phytotoxicities and photosynthetic reductions, mainly at 15 and 0  
413 DAS. Plant growth was reduced from the application of the herbicide at 45 DAS by up to 40  
414 and 30% in the shoot development when grown in Piratini and Santa Maria soil, respectively.  
415 There were gradual changes in the physiological and morphological traits of soybean plants  
416 exposed to the residual effect of metsulfuron-methyl in different soils. Phytotoxicity  
417 symptoms were observed at all times of herbicide application, which indicates that soybeans  
418 should not be sown less than 45 days after metsulfuron-methyl application, regardless of soil  
419 characteristics.

420

421 **Keywords:** ALS inhibitors. Sulphonylurea. *Carryover*. Soil persistence.

## REFERÊNCIAS

422

423

424 AGOSTINETTO, D. et al. Changes in photosynthesis and oxidative stress in wheat plants  
425 submitted to herbicides application. **Planta Daninha**, v. 34, p. 1-9, 2016.

426

427 ALVES, C. et al. Effect of herbicides in the oxidative stress in crop winter species. **Anais da**  
428 **Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, p. 1533-1542, 2018.

429

430 ARNHOLD, E. et al. Package in the R environment for analysis of variance and  
431 complementary analyses. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**,  
432 v. 50, p. 488-492, 2013.

433

434 AZCARATE, M. P.; MONTOYA, J. C.; KOSKINEN, W. C. Sorption, desorption and  
435 leaching potential of sulfonylurea herbicides in Argentinean soils. **Journal of Environmental**  
436 **Science and Health, Part B**, v. 50, p. 229-237, 2015.

437

438 BALABANOVA, D. A. et al. Photosynthetic performance of the imidazolinone resistant  
439 sunflower exposed to single and combined treatment by the herbicide imazamox and an  
440 amino acid extract. **Frontiers in plant science**, v. 7, p. 1559, 2016.

441

442 BLANCAVER, M. E. A.; ITOH, K.; USUI, K. Resistance of *Rotala indica* Koehne var.  
443 uliginosa Koehne to sulfonylurea herbicides. **Weed Biology and Management**, v. 1, p. 209-  
444 215, 2001.

445

446 BILGER, W.; SCHREIBER, U.; BOCK, M. Determination of the quantum efficiency of  
447 photosystem II and of non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the  
448 field. **Oecologia**, v. 102, p. 425-432, 1995.

449

450 CÁCERES, L. et al. Modeling the sorption kinetic of metsulfuron-methyl on Andisols and  
451 Ultisols volcanic ash-derived soils: Kinetics parameters and solute transport mechanisms.  
452 **Journal of Hazardous Materials**, v. 179, p. 795-803, 2010.

453

454 CARDONA, T.; SHAO, S.; NIXON, P. J. Enhancing photosynthesis in plants: the light  
455 reactions. **Essays in biochemistry**, v. 62, p. 85-94, 2018.

456

457 CARVALHO, F. T.; MORETTI, T. B.; SOUZA, P. A. Efeito do residual no solo de  
458 nicosulfuron isolado e em mistura com atrazine sobre culturas agrícolas  
459 subsequentes. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 9, p. 26-34, 2010.

460

461 CARVALHO, S. J. P. et al. Soil persistence of chlorimuron-ethyl and metsulfuron-methyl and  
462 phytotoxicity to corn seeded as a succeeding crop. **Planta Daninha**, v. 33, p. 331-339, 2015.

463

464 CARVALHO, S. J. P. et al. Persistência de imazethapyr no solo e toxicidade ao milho  
465 semeado em sucessão. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 17, p. 583-1-7, 2018.

466

467 CHRISTOFFOLETI, P. J. et al. **Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na**  
468 **cultura da cana-de-açúcar**. 1º ed. Piracicaba: CP, 2009, p. 72.

469

470 CQFS – Comissão de química e fertilidade do solo. **Manual de Calagem e Adubação para**  
471 **os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS, 2016. p. 376.

472

473 DA COSTA MARINHO, M. I. **Quantificação da sorção, dessorção, meia-vida e potencial**  
474 **de lixiviação dos herbicidas imazethapyr e imazapic em solos**. 2015. 95 f. Tese (Doutorado  
475 em Agroquímica). Universidade Federal de Viçosa, curso de pós-graduação em Agroquímica,  
476 Viçosa, 2015.

477

478 DA COSTA MARINHO, M. I. et al. Validation and application of a QuEChERS based  
479 method for estimation of half-life of imidazolinone herbicides in soils by LC-ESI-MS/MS.  
480 **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 167, p. 212-217, 2019.

481

482 DAN, H. de A. et al. Selectivity of clomazone applied alone or in tank mixtures to  
483 cotton. **Planta Daninha**, v. 29, p. 601-607, 2011.

484

485 DAYAN, F. E.; ZACCARO, M. L. de M. Chlorophyll fluorescence as a marker for herbicide  
486 mechanisms of action. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 102, p. 189-197, 2012.

487

488 DIEHL, K. E. et al. Effect of soil organic matter on the interaction between nicosulfuron and  
489 terbufos in corn (*Zea mays*). **Weed Science**, v. 43, p. 306-311, 1995.

490

491 DUGGLEBY, R. G.; MCCOURT, J. A.; GUDDAT, L. W. Structure and mechanism of  
492 inhibition of plant acetohydroxyacid synthase. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 46, p.  
493 309-324, 2008.

494

495 EHLERINGER, J. Leaf absorptances of Mohave and Sonoran desert plants. **Oecologia**, v. 49,  
496 p. 366-370, 1981.

497

498 FEHR, W.R., CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State  
499 University, 1977. 12p. (Special Report, 80).

500

501 FÉLIX, J.; FENNIMORE, S. A.; RACHUY, J. S. Response of alfalfa, green onion, dry bulb  
502 onion, sugar beet, head lettuce, and carrot to imazosulfuron soil residues 2 years after  
503 application. **Weed Technology**, v. 26, p. 769-776, 2012.

504

505 FUSCALDO, F.; BEDMAR, F.; MONTERUBBIANESI, G. Persistence of atrazine,  
506 metribuzin and simazine herbicides in two soils. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 34, p.  
507 2037-2044, 1999.

508

509 FREITAS, A. P. de; SANTOS, A. da S. Diferentes texturas de solo sob efeito residual da  
510 mistura formulada diuron+ hexazinone+ sulfometuron-metílico. **Nucleus**, v. 16, p. 453-462,  
511 2019.

512

513 GALON L. et al. Fitorremediação de solo contaminado com herbicidas inibidores de FSII e  
514 de ALS. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, p. 307-324, 2017.

515

516 GENTY, B.; BRIANTAIS, J. M.; BAKER, N. R. The relationship between the quantum yield  
517 of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica  
518 et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects**, v. 990, p. 87-92, 1989.

519

520 GONÇALVES, F. A. R. et al. Atividade residual de herbicidas nas culturas do milho e da  
521 soja. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and  
522 Environmental Sciences**, v. 61, 2018.

523

524 GREY, T. L.; BRAXTON, L. B.; RICHBURG, J. S. Effect of wheat herbicide carryover on  
525 double-crop cotton and soybean. **Weed Technology**, v. 26, p. 207-212, 2012.

526

527 GUERRA, N. et al. Persistência de trifloxysulfuron-sodium e pyriithiobac-sodium em  
528 diferentes tipos de solo. **Planta Daninha**, v. 29, p. 673-681, 2011.

529

530 HAMIM, H. et al. Oxidative stress and photosynthesis reduction of cultivated (Glycine max  
531 L.) and wild soybean (G. tomentella L.) exposed to drought and paraquat. **Asian J Plant Sci**,  
532 v. 16, p. 65-77, 2017.

533

534 HENDRICKSON, L.; FURBANK, R. T.; CHOW, W. S. A simple alternative approach to  
535 assessing the fate of absorbed light energy using chlorophyll fluorescence. **Photosynthesis  
536 research**, v. 82, p. 73, 2004.

537

538 INOUE M. H. et al. Efeito residual de herbicidas aplicados em pré-emergência em diferentes  
539 solos. **Planta Daninha**, v. 29, p. 429-435, 2011.

540

541 INOUE M. H. et al. Potencial de lixiviação e efeito residual de diuron+ hexazinone+  
542 sulfometuron-methyl em solos de textura contrastante. **Revista de Ciências Agrárias  
543 Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 58, p. 418-426, 2015.

544

545 KRAMER, D. M. et al. New fluorescence parameters for the determination of Q A redox state  
546 and excitation energy fluxes. **Photosynthesis research**, v. 79, p. 209, 2004.

547

548 KROMDIJK, J. et al. Improving photosynthesis and crop productivity by accelerating  
549 recovery from photoprotection. **Science**, v. 354, p. 857-861, 2016.

550

551 LAISK, A.; LORETO, F. Determining photosynthetic parameters from leaf CO<sub>2</sub> exchange  
552 and chlorophyll fluorescence (ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase specificity  
553 factor, dark respiration in the light, excitation distribution between photosystems, alternative  
554 electron transport rate, and mesophyll diffusion resistance. **Plant Physiology**, v. 110, p. 903-  
555 912, 1996.

556

557 LAW, S. E. Agricultural electrostatic spray application: a review of significant research and  
558 development during the 20th century. **Journal of Electrostatics**, v. 51, p. 25-42, 2001.

559 LIMA, G. R. et al. Photosynthetic Potential and Productivity of Common Beans under  
560 Herbicide Effect. **Planta Daninha**, v. 36, 2018.

561

562 MANCUSO, M. A. C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. Efeito residual de herbicidas no solo  
563 (carryover). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, p. 151-164, 2011.

564

565 MATHUR, S.; AGRAWAL, D.; JAJOO, A. Photosynthesis: response to high temperature  
566 stress. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 137, p. 116-126, 2014.

567

568 OLESEN, C. F.; CEDERGREEN, N. Glyphosate uncouples gas exchange and chlorophyll  
569 fluorescence. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v. 66, p. 536-542,  
570 2010.

571

572 OLIVEIRA JR, R. S.; KOSKINEN, W. C.; FERREIRA, F. A. Sorption and leaching potential  
573 of herbicides on Brazilian soils. **Weed Research**, v. 41, p. 97-110, 2001.

574

575 OLIVEIRA, M. F.; PRATES, H. T.; SANS, L. M. A. Sorção e hidrólise do herbicida  
576 flazasulfuron. **Planta Daninha**, v. 23, p. 101-113, 2005.

577

578 PEREIRA, G. A. M. et al. Sorption and desorption behavior of herbicide clomazone in soils  
579 from Brazil. **Bioscience Journal**, v. 34, p. 1496-1504, 2018.

580

581 PRATA, F. et al. Degradação e sorção de ametrina em dois solos com aplicação de  
582 vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 975-981, 2001.

583

584 R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for  
585 Statistical Computing, Vienna, Austria, 2019. URL <https://www.R-project.org/>.

586

587 RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. R. **Guia de herbicidas: 7. ed.** Londrina: Edição dos  
588 Autores, 2018. 764 p.

589

590 RONCHI, C. P. et al. Growth and photosynthetic down-regulation in Coffea arabica in  
591 response to restricted root volume. **Functional Plant Biology**, v. 33, p. 1013-1023, 2006.

592

593 SBCPD – Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas. **Procedimentos para**  
594 **instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: 1995. p. 42.

595

596 SILVA, A. A. da; VIVIAN, R.; OLIVEIRA JR, R. S. de. **Herbicidas: comportamento no**  
597 **solo**. In: SILVA, Antonio Alberto da; FERREIRA, Afonso Ferreira (Org.). Tópicos em  
598 manejo de plantas daninhas. Viçosa: UFV. 2007. p.107-144.

599

600 SKÓRSKA, E. Comparison of chlorophyll fluorescence parameters of Cucumis sativus and  
601 Mentha piperita leaves exposed to short-term UV-B irradiation. **Acta Biologica Cracoviensia**  
602 **Series Botanica**, v. 53, p. 16-19, 2011.

603

604 SU, W. C. et al. The residual effects of bensulfuron-methyl on growth and photosynthesis of  
605 soybean and peanut. **Photosynthetica**, v. 56, p. 670-677, 2018.

606  
607 WALTERS, R. G. Towards an understanding of photosynthetic acclimation. **Journal of**  
608 **experimental botany**, v. 56, p. 435-447, 2005.  
609  
610 WANG, H. et al. Impact of soil moisture on metsulfuron-methyl residues in Chinese paddy  
611 soils. **Geoderma**, v. 142, p. 325-333, 2007.  
612  
613 ZANINI, G. P. et al. Adsorption of metsulfuron-methyl on soils under no-till system in  
614 semiarid Pampean Region, Argentina. **Geoderma**, v. 149, p. 110-115, 2009.  
615  
616 ZHAO, N. et al. Unravelling mesosulfuron-methyl phytotoxicity and metabolism-based  
617 herbicide resistance in *Alopecurus aequalis*: Insight into regulatory mechanisms using  
618 proteomics. **Science of the total environment**, v. 670, p. 486-497, 2019.  
619  
620 ZOBIOLE, L. H. S. et al. Glyphosate effects on photosynthesis, nutrient accumulation, and  
621 nodulation in glyphosate resistant soybean. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.  
622 175, p. 319-330, 2012.  
623  
624 YUAN, Y. et al. Effects of exogenous putrescine on chlorophyll fluorescence imaging and  
625 heat dissipation capacity in cucumber (*Cucumis sativus* L.) under salt stress. **Journal of Plant**  
626 **Growth Regulation**, v. 33, p. 798-808, 2014.

1           **EFEITO DA APLICAÇÃO DE METSULFURON-METHYL NA DESSECAÇÃO**  
2           **ANTECIPADA SOBRE AS CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS E**  
3           **PRODUTIVAS DA SOJA EM SUCESSÃO**

4  
5  
6   **RESUMO**

7   O intensivo e continuado uso de herbicidas tem aumentando os casos de plantas daninhas  
8   resistentes, principalmente ao glyphosate. Esse fato, somado à falta de perspectiva para a  
9   comercialização de novas moléculas em curto prazo, tem levado os produtores a buscarem  
10  alternativas entre os herbicidas comercialmente disponíveis para o controle de plantas  
11  daninhas em sistema de plantio direto. Desse modo o metsulfuron-methyl tem sido usado para  
12  o manejo de espécies tolerantes ou resistentes ao glyphosate, principalmente na dessecação  
13  das lavouras. No entanto, é preciso conhecer o potencial risco de *carryover* que esse herbicida  
14  pode causar na cultura semeada em sequência as aplicações. Os objetivos do trabalho foram  
15  estudar os efeitos de doses do herbicida metsulfuron-methyl aplicado em diferentes épocas  
16  sobre as características fisiológicas e produtivas da soja cultivar NA 5909 RG e avaliar os  
17  efeitos do metsulfuron-methyl em plantas de pepino, como espécie bioindicadora. Foram  
18  instalados dois experimentos a campo nos anos agrícolas 2017/18 e 2018/19 para avaliar a  
19  cultura da soja e em casa de vegetação para os ensaios com pepino bioindicador. Para ambos  
20  os experimentos foi adotado delineamento de blocos casualizados, arranjos em esquema  
21  fatorial 4x5, com quatro repetições. No fator A testou-se as épocas de aplicação do herbicida  
22  (0, 15, 30 e 45 dias antes da semeadura da soja - DAS) e no B as doses de metsulfuron-methyl  
23  (0,0; 3,6; 5,4; 7,2 e 9,0 g ha<sup>-1</sup> i.a.). A fitotoxicidade da soja foi avaliada aos 7, 14, 21, 28 e 35  
24  dias após a emergência (DAE) e dos pepinos aos 7 e 14 DAE. As características fisiológicas  
25  foram aferidas ao final do estágio vegetativo (50 DAE) para a soja, e para o pepino aos 21  
26  DAE, onde também determinou-se a massa seca da parte aérea e os componentes de  
27  rendimento de grãos na colheita da soja. O *carryover* do herbicida metsulfuron-methyl  
28  proporcionou fitotoxicidade, alterou os parâmetros fisiológicos e os componentes de  
29  rendimento da cultivar de soja NA 5909 RG. Em geral, o aumento das doses do metsulfuron-  
30  methyl ocasionou incremento na fitotoxicidade da soja. As trocas gasosas e as variáveis da  
31  fluorescência da clorofila *a* foram afetadas negativamente em função da época e da dose  
32  testadas, respectivamente. O peso de mil grãos e a produtividade foram reduzidos tanto pela  
33  dose do herbicida quanto pela época de aplicação, o que comprometeu o desempenho  
34  produtivo da cultura. Para o pepino também foram verificados efeitos negativos nas  
35  características morfofisiológicas. Assim, recomenda-se intervalo superior a 45 dias para a  
36  semeadura da soja após aplicação do herbicida metsulfuron-methyl em dessecação.

37  
38   **Palavras-chave:** *Glycine max.* Épocas de aplicação. *Carryover*.

39  
40  
41           **INTRODUÇÃO**

42           O sistema plantio direto tem sido amplamente utilizado nos últimos anos por  
43           apresentar vantagens em relação ao sistema convencional, como a redução na erosão, melhor  
44           estruturção do solo, aumento da capacidade de retenção de água, maior acúmulo de matéria

45 orgânica, sequestro de carbono no solo e maior biodiversidade (PEROTTI et al., 2019;  
46 BÜCHI et al., 2020). Além disso, a viabilidade deste sistema está diretamente relacionada  
47 com o uso de herbicidas para o manejo de plantas daninhas e a dessecação das lavouras  
48 (LICORINI et al., 2015), dentre os quais, o glyphosate é o principal produto utilizado.

49 A eficácia no controle de plantas daninhas e o amplo uso do glyphosate permitiram  
50 que este fosse utilizado em substituição a outros herbicidas nos sistemas agrícolas (ANNETT;  
51 HABIBI; HONTELA, 2014). Isso possibilitou uma redução no número de aplicações,  
52 favorecendo a conservação da lavoura e diminuindo a demanda por herbicidas alternativos  
53 com maior toxicidade (GILBERT, 2013). Apesar das vantagens anteriormente descritas, um  
54 dos principais desafios do manejo químico de plantas daninhas tem sido a evolução dos casos  
55 de resistência (JABRAN et al., 2015).

56 A dependência do glyphosate, como método principal para manejo de plantas  
57 daninhas, ocasionou problemas de resistência, resultantes de práticas inadequadas de manejo e  
58 do aumento no número de aplicações desse herbicida (DUKE, 2012). A resistência de plantas  
59 daninhas é responsável por perdas de produtividade, redução nos preços de *commodities*,  
60 menor valor da terra e aumento dos custos de manejo (NORSWORTHY et al., 2012). Somado  
61 a isso, ampliou-se a adoção de culturas transgênicas resistentes a herbicidas e, como  
62 consequência, houve uma desaceleração do desenvolvimento de novas moléculas de  
63 herbicidas pela indústria agroquímica, particularmente com novos mecanismos de ação  
64 (DUKE, 2012).

65 No sistema de plantio direto, o método mais indicado para o controle das plantas  
66 daninhas é o manejo no período de entressafra e pré-semeadura (PLACIDO et al., 2015). A  
67 dessecação antecipada proporciona maior rendimento na operação de semeadura, menor  
68 infestação nas culturas estabelecidas em sucessão e melhor eficácia dos herbicidas aplicados  
69 após a emergência (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2006).

70 Dessa forma, a adoção de práticas para o controle de plantas daninhas possibilita a  
71 redução da evolução da resistência aos herbicidas (JABRAN et al., 2015). Dentre as  
72 alternativas propostas, recomenda-se a utilização de rotação de herbicidas, com diferentes  
73 mecanismos de ação (ALONSO et al., 2013), associado a outras práticas de manejo como  
74 cobertura do solo, rotação de culturas, uso de sementes de qualidade, dentre outras. Para o  
75 manejo antecipado das áreas tem-se recomendado a associação de herbicidas com diferentes  
76 mecanismos de ação e que apresentem efeito residual (SANTOS et al., 2016). Os herbicidas  
77 com maior período de atividade no solo proporcionam o controle de plantas daninhas por um  
78 período maior, suprimindo novos fluxos e reduzindo o número de aplicações (OLIVEIRA et

79 al., 2018). Por outro lado, a presença residual dos herbicidas no solo pode levar à  
80 fitotoxicidade e afetar o crescimento e desenvolvimento de culturas em sucessão, processo  
81 conhecido como *carryover* (MELO et al., 2016). Isso pode ocorrer com herbicidas utilizados  
82 para o controle de plantas daninhas nos cultivos de inverno e no manejo da dessecação, como  
83 o metsulfuron-methyl, o qual pode vir a causar danos nas culturas subsequentes caso não seja  
84 respeitado o intervalo entre sua aplicação e evitado o cultivo de espécies sensíveis.

85 O herbicida metsulfuron-methyl é um dos mais utilizados do grupo das sulfoniluréias  
86 (ALESSO et al., 2018), devido à sua baixa toxicidade em mamíferos, boa seletividade de  
87 culturas e recomendação em baixas doses (YANG et al., 2018). Assim como os demais  
88 herbicidas das sulfoniluréias, o metsulfuron-methyl atua inibindo a enzima acetolactato  
89 sintase (ALS), a qual é responsável por catalisar duas reações paralelas na via biossintética  
90 dos aminoácidos de cadeia ramificada valina, leucina e isoleucina, essenciais para o  
91 crescimento das plantas (NTOANIDOU et al., 2016). Os produtores tem utilizado esse  
92 herbicida em dessecação antecipada, visando à redução da densidade de algumas espécies de  
93 difícil controle, como a buva (*Conyza* ssp.). Na maioria dessas áreas tratadas com o  
94 metsulfuron-methyl tem se cultivado a soja em sucessão, porém essa cultura é sensível a esse  
95 herbicida, sendo recomendado um intervalo de no mínimo 60 dias entre a aplicação e a sua  
96 semeadura (RODRIGUES; ALMEIDA, 2018). Por outro lado, a recomendação de 60 dias  
97 pode diferir de acordo com as características do solo, de clima, de manejo, de tolerância das  
98 cultivares de soja, dentre outros em cada região em que se cultiva essa cultura. Assim, a  
99 possibilidade de utilizar o herbicida em período mais próximo à semeadura da soja seria uma  
100 forma de reduzir a incidência de plantas daninhas que se desenvolvem na entressafra e  
101 infestam a cultura subsequente desde o início do seu desenvolvimento.

102 Assim sendo, objetivou-se com o trabalho estudar os efeitos de doses do herbicida  
103 metsulfuron-methyl aplicado em diferentes épocas sobre as características fisiológicas e  
104 produtivas da soja cultivar NA 5909 RG e avaliar os efeitos do metsulfuron-methyl em planta  
105 bioindicadora de pepino.

106

107

108

## MATERIAL E MÉTODOS

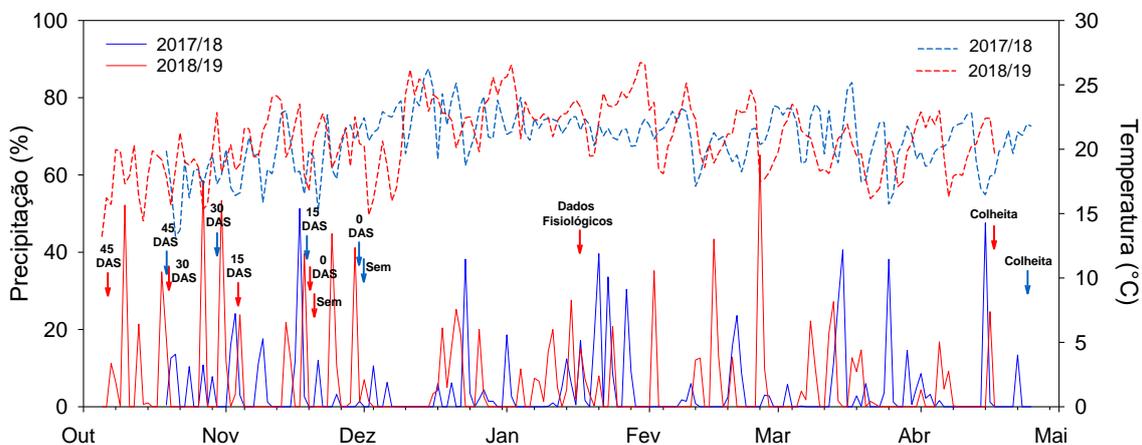
109

### **Desenho experimental e condições de cultivo: Experimento em campo**

110 Foram instalados dois experimentos na área experimental da Universidade Federal da  
111 Fronteira Sul, Campus Erechim, Erechim, RS, Brasil, nos anos agrícolas de 2017/18 e  
112

113 2018/19. O solo é classificado como Latossolo Vermelho Aluminoférrico húmico  
114 (EMBRAPA, 2013) com as seguintes características físico-químicas: pH em água de 4,7; MO  
115 = 3,04%; P = 8,5 mg dm<sup>-3</sup>; K = 106,0 mg dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3+</sup> = 1 cmolc dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup> = 5,1 cmolc dm<sup>-3</sup>;  
116 Mg<sup>2+</sup> = 3,4 cmolc dm<sup>-3</sup>; CTC<sub>efetiva</sub> = 9,9 cmolc dm<sup>-3</sup>; CTC<sub>pH7</sub> = 18,6 cmolc dm<sup>-3</sup>; H+Al = 9,7  
117 cmolc dm<sup>-3</sup>; Saturação de bases = 48% e Argila= 64%.

118 O delineamento utilizado foi em blocos completamente casualizados (DBC), arranjado  
119 em esquema fatorial 4x5, com quatro repetições. No fator A testou-se as épocas de aplicação  
120 do metsulfuron-methyl (45, 30, 15 e 0 dias antes da semeadura - DAS da soja), e no B as  
121 doses do herbicida (0,0; 3,6; 5,4; 7,2 e 9,0 g ha<sup>-1</sup> i.a.). Cada unidade experimental ocupou uma  
122 área de 15 m<sup>2</sup> (5,0 x 3,0 m). No período de inverno a área foi cultivada com aveia preta como  
123 cultura de cobertura visando simular a formação de palhada no sistema de plantio direto e  
124 previamente à instalação dos experimentos a área foi dessecada proporcionando 7720,35;  
125 5431,5; 4417,75 e 3483,7 kg ha<sup>-1</sup> de massa seca no ano de 2017/18 e 7226,0; 5154,8; 4273,2 e  
126 4221,2 kg ha<sup>-1</sup> no ano de 2018/19 para as épocas de aplicações realizadas aos 45, 30, 15 e 0  
127 dias antes da semeadura (DAS), respectivamente. As condições ambientais observadas  
128 durante o período de condução dos experimentos nos dois anos agrícolas (2017/18 e 2018/19)  
129 estão dispostas na Figura 1.



131 **Figura 1.** Temperatura média (°C) e precipitação (mm) durante o período de condução dos  
132 experimentos, nos dois anos agrícolas 2017/18 e 2018/19 (INMET, 2019).

133

134 O herbicida metsulfuron-methyl foi aplicado com auxílio de um pulverizador costal  
135 pressurizado a CO<sub>2</sub>, equipado com barra de quatro pontas de pulverização do tipo DG 110.02,  
136 espaçados 50 cm entre si e calibrado para proporcionar volume de calda de 150 L ha<sup>-1</sup>.

137 A cultivar de soja utilizada nos dois anos agrícolas 2017/18 e 2018/19 foi a NA 5909  
138 RG semeada em sistema de plantio direto. Para a semeadura foi utilizada uma

139 semeadora/adubadora com seis linhas com espaçamento entre linhas de 50 cm, sendo adotada  
140 a densidade de 280 mil plantas ha<sup>-1</sup>. A adubação foi realizada de acordo com a análise de solo  
141 seguindo as recomendações técnicas para a cultura da soja (CQFS, 2016), sendo utilizados  
142 350 kg ha<sup>-1</sup> de adubo da formulação 05-20-20 (N-P-K) no momento da semeadura nos dois  
143 anos agrícolas 2017/18 e 2018/19. Os manejos necessários foram realizados de acordo com as  
144 recomendações técnicas para a cultura da soja ao longo dos cultivos.

145

#### 146 **Desenho experimental e condições de cultivo: Experimento em casa de vegetação**

147 A presença do herbicida metsulfuron-methyl foi avaliado, em paralelo, em plantas de  
148 pepino (*Cucumis sativus*), cultivar Pioneiro, em condições controladas. O delineamento  
149 utilizado foi em blocos completamente casualizados (DBC), com quatro repetições. Foi  
150 utilizado um Latossolo Vermelho Aluminoférrico húmico, obtido do ensaio de campo, com  
151 características indicadas no experimento anterior. No fator A testou-se as épocas de aplicação  
152 do metsulfuron-methyl (45, 30, 15 e 0 dias antes da semeadura - DAS da soja), e no B as  
153 doses do herbicida (0,0; 3,6; 5,4; 7,2 e 9,0 g ha<sup>-1</sup> i.a.). Cada unidade experimental foi  
154 constituída por um vaso (0,5 dm<sup>3</sup>) onde foram semeadas três sementes de pepino cultivar  
155 Pioneiro, que foram cultivadas por um período de 21 dias.

156

#### 157 **Avaliações**

##### 158 ***Fitotoxicidade***

159 As avaliações de fitotoxicidade foram realizadas aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a  
160 emergência (DAE), para os experimentos de campo e aos 7 e 14 (DAE) para os de casa de  
161 vegetação, adotando-se a escala percentual onde zero (0%) representa ausência de danos e  
162 cem (100%) à morte das plantas (SBCPD, 1995).

163

##### 164 ***Características fisiológicas***

165 As características fisiológicas foram avaliadas em blocos com o analisador de gases no  
166 infravermelho (IRGA; LCA PRO, Analytical Development Co. Ltd, Hoddesdon, UK), aferidas  
167 na penúltima folha completamente expandida das plantas de soja no final do período  
168 vegetativo (V8) (FEHR; CAVINESS, 1977), sendo realizada três avaliações por parcela. As  
169 variáveis taxa fotossintética ( $A$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ),  
170 transpiração ( $E$ ,  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), e relação entre a concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> ( $C_i/C_a$ ,  
171  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ), foram avaliadas entre às 8 e 11 horas da manhã, sob radiação fotossinteticamente

172 ativa ( $\sim 1027 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), concentração de  $\text{CO}_2$  ( $C_a$ ,  $\sim 400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ ) e temperatura ( $\sim$   
173  $26,7^\circ\text{C}$ ) ambientes.

174 As variáveis da fluorescência da clorofila *a* foram determinadas com auxílio de um  
175 fluorômetro modulado portátil (OS5p, Opti-Sciences Inc., Hudson, EUA), na penúltima folha  
176 completamente expandida das plantas de soja no final do período vegetativo (V8) (FEHR;  
177 CAVINESS, 1977), em condição de campo e após 21 dias da emergência nas plantas de  
178 pepino, em casa de vegetação. Inicialmente as folhas foram adaptadas ao escuro, por 30 min.,  
179 para a obtenção da fluorescência mínima ( $F_0$ ) e máxima ( $F_m$ ), para o cálculo do rendimento  
180 quântico potencial do fotossistema II (FSII) ( $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$ ). As variáveis da fase lenta  
181 de indução da fluorescência foram obtidas sequencialmente com a exposição à iluminação e  
182 de um pulso de luz actínica saturante para a determinação das variáveis de fluorescência  
183 *steady state* ( $F$ ) e a fluorescência máxima em amostra adaptada à luz ( $F_m'$ ). A partir dessas  
184 variáveis foi possível calcular a fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado,  $F_0' =$   
185  $F_0 / [(F_m - F_0)/F_m + (F_0/F_m')]$  (OXBOROUGH; BAKER, 1997), para obtenção do coeficiente de  
186 extinção fotoquímico, o qual fornece uma estimativa de centros de reações abertos do  
187 fotossistema II (FSII),  $qL = (F_m' - F)/(F_m' - F_0') \cdot (F_0'/F)$  (KRAMER et al., 2004) e da dissipação  
188 fotoquímico,  $qP = (F_m' - F)/(F_m' - F_0')$  ((LICHTENTHALER.; BUSCHMANN; KNAPP, 2005).  
189 O rendimento quântico efetivo do FSII,  $Y_{II} = (F_m' - F)/F_m'$  foi calculado de acordo com Genty  
190 et al. (1989) e Hendrickson et al. (2004) e utilizado para estimar a taxa aparente de transporte  
191 de elétrons,  $ETR = Y_{II} \times PAR \times 0,84 \times 0,5$  (BILGER; SCHREIBER; BOCK, 1995), onde  
192 PAR é o fluxo de fótons ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) incidente sobre a folha; 0,5 o valor correspondente à  
193 fração de energia de excitação distribuída para o FSII (LAISK; LORETO, 1996); e 0,84 o  
194 valor correspondente à fração de luz incidente que é absorvida pelas folhas (EHLERINGER,  
195 1981). A dissipação não fotoquímica,  $NPQ = (F_m - F_m')/F_m'$ , foi calculado de acordo com  
196 Hendrickson et al. (2004).

197

### 198 ***Características morfológicas***

199 A massa seca da parte aérea foi avaliada nas plantas de pepino aos 21 DAE. O  
200 material vegetal foi coletado, acondicionado em sacos de papel e secos em estufa com  
201 circulação forçada de ar à  $65^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$  até atingirem peso constante para determinação na  
202 massa seca da parte aérea (MSPA).

203

## 204 ***Componentes de rendimento***

205 Os componentes de rendimento, número de vagens por planta (NV, vagens planta<sup>-1</sup>) e  
206 número de grãos por planta (NG, grãos planta<sup>-1</sup>) foram avaliados em cinco plantas coletadas  
207 de forma aleatória, em cada unidade experimental na pré-colheita da soja. O peso de mil grãos  
208 (g) foi determinado a partir da contagem de oito amostras de 100 grãos para cada repetição e  
209 extrapolado para mil grãos. A produtividade foi avaliada a partir da colheita dos grãos com  
210 umidade de 18% em uma área útil de 3 m<sup>2</sup> para cada unidade experimental. A umidade dos  
211 grãos foi ajustada para 13% e os dados de produtividade extrapolados para kg ha<sup>-1</sup>.

212

## 213 ***Análise estatística***

214 Os dados obtidos a partir dos experimentos de campo foram submetidos à análise de  
215 variância fatorial pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ) e ajustados a superfícies de resposta, onde a dose do  
216 herbicida foi representada no eixo X; o intervalo de semeadura da soja após a aplicação do  
217 herbicida o eixo Y; e a variável analisada no eixo Z. Para o experimento de casa de vegetação,  
218 ao ser constatada a significância pela análise de variância ( $p \leq 0,05$ ), as médias foram  
219 comparadas pelo teste Duncan ( $p \leq 0,05$ ). As análises foram realizadas utilizando o pacote  
220 easyanova (Arnhold, 2013) no software R (v. 3.6.1, R Core Team, 2019), e os gráficos  
221 plotados utilizando-se o software SigmaPlot (10.0, San Jose, CA, EUA).

222

223

224

# 224 **RESULTADOS**

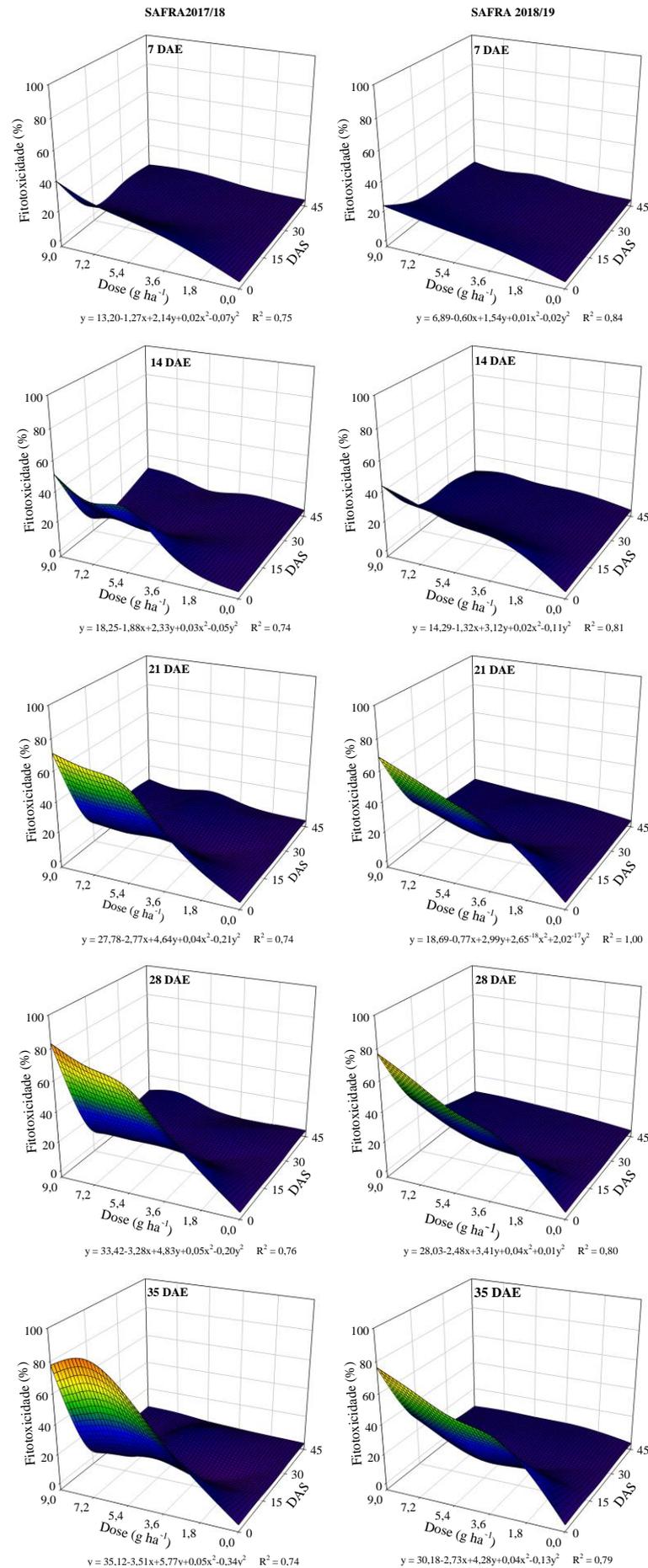
225

## 226 **Experimentos a campo**

### 227 ***Fitotoxicidade***

228 A ocorrência de fitotoxicidade foi modelada de acordo com o intervalo de semeadura  
229 da soja após a aplicação do herbicida e das doses do herbicida metsulfuron-methyl testadas,  
230 sendo construído uma superfície de resposta para cada época avaliada (DAE) em cada safra  
231 (Figura 2). A aplicação de metsulfuron-methyl na maior dose ocasionou fitotoxicidade, em  
232 40%, após sete dias da emergência das plantas, na safra 2017/18, chegando a 80% aos 35  
233 DAE. As plantas de soja da safra 2017/18 foram mais responsivas à aplicação do herbicida,  
234 em relação à safra seguinte (2018/19). Isso possivelmente ocorreu devido um período de  
235 precipitação maior na segunda safra, após a semeadura da soja (Figura 1). Nos dois anos, a  
236 fitotoxicidade aumentou mais em função do período anterior a semeadura em que foi aplicado  
237 do que com a dose. Percebe-se que a fitotoxicidade é reduzida significativamente a partir de

238 15 DAS, tendo maior influência na fitotoxicidade do que a própria dose do herbicida.  
239 Observou-se comprometimento da área foliar em até 83 e 77% nas safras 2017/18 e 2018/19,  
240 respectivamente, na aplicação aos 0 DAS (Figura 2, Tabela A1). Aos 15 DAS foi possível  
241 observar fitotoxicidade de até 30%, no ano 2018/19, o que reduziu gradativamente com o  
242 aumento do período entre a aplicação e a semeadura da soja. No mesmo ano, a menor dose do  
243 herbicida, com o maior intervalo após a aplicação resultou em 6,5% de danos foliares (Figura  
244 2, Tabela A1). É importante ressaltar que, durante os dois anos de cultivo (2017/18 e  
245 2018/19), a aplicação de metsulfuron-methyl aos 0 DAS ocasionou alta mortalidade das  
246 plantas principalmente nas maiores doses (dados não mostrados), alterando a densidade das  
247 plantas por área.



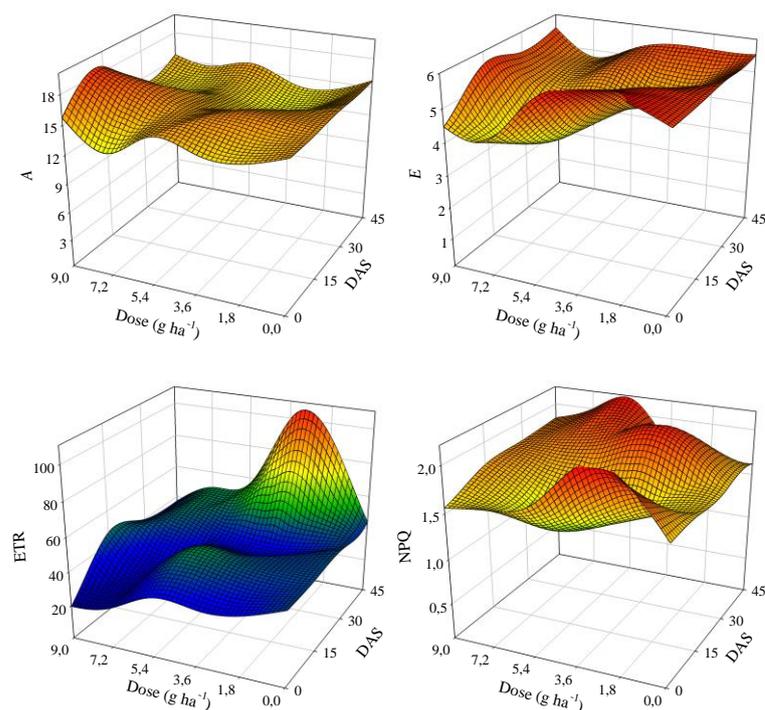
249 **Figura 2.** Fitotoxicidade (%) aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a emergência (DAE) de plantas  
250 de soja cultivar NA 5909 RG semeadas após 45, 30, 15 e 0 dias da aplicação de doses de  
251 metsulfuron-methyl (0; 3,6; 5,4; 7,2 e 9,0 g ha<sup>-1</sup>), em dois anos consecutivos, 2017/18 e  
252 2018/19. DAS: Dias antes da semeadura.

253

### 254 *Características fisiológicas*

255 Os dados fisiológicos foram modelados por superfícies de resposta (Figura 3). Para a  
256 taxa fotossintética foi observado que as épocas de aplicação foram mais responsivas em  
257 relação aos dias de aplicação antes da semeadura. Menores taxas fotossintéticas foram  
258 observadas aos 0 e 45 DAS, em todas as doses (Figura 3). A transpiração foi menor nas  
259 plantas de soja cultivadas após a aplicação das maiores doses aos 0 e 15 DAS. A razão Ci/Ca  
260 foi menor nas plantas de soja cultivadas após a aplicação de metsulfuron-methyl entre 15 e 30  
261 DAS, independente da dose aplicada (Tabela A2). Os menores valores de  $g_s$  foram  
262 observados a partir da dose 7,2 g ha<sup>-1</sup> aos 0 DAS e em todas as doses nas demais épocas de  
263 aplicação (15 a 45 DAS) (Tabela A2).

264 Considerando as variáveis da fluorescência da clorofila *a*, verificou-se redução em  $F_0$   
265 (Tabela A3) e ETR (Figura 3) de acordo com o incremento da dose e a proximidade da  
266 semeadura. Mesmo aos 45 DAS observou-se redução no ETR em doses superiores a 3,6 g ha<sup>-1</sup>  
267 <sup>1</sup>. A dissipação não fotoquímica (NPQ), foi maior aos 0 DAS, nas menores doses. Altos  
268 valores de NPQ foram observados ainda aos 45 DAS, independente da dose avaliada (Figura  
269 3, Tabela A3). O  $F_v/F_m$  teve uma pequena redução aos 0 DAS na maior dose, e a dissipação  
270 fotoquímica (qP) e o coeficiente de extinção fotoquímico (qL) reduziram em torno de 30%  
271 com o aumento das doses de metsulfuron-methyl, independente da época de aplicação (Tabela  
272 A3).



273

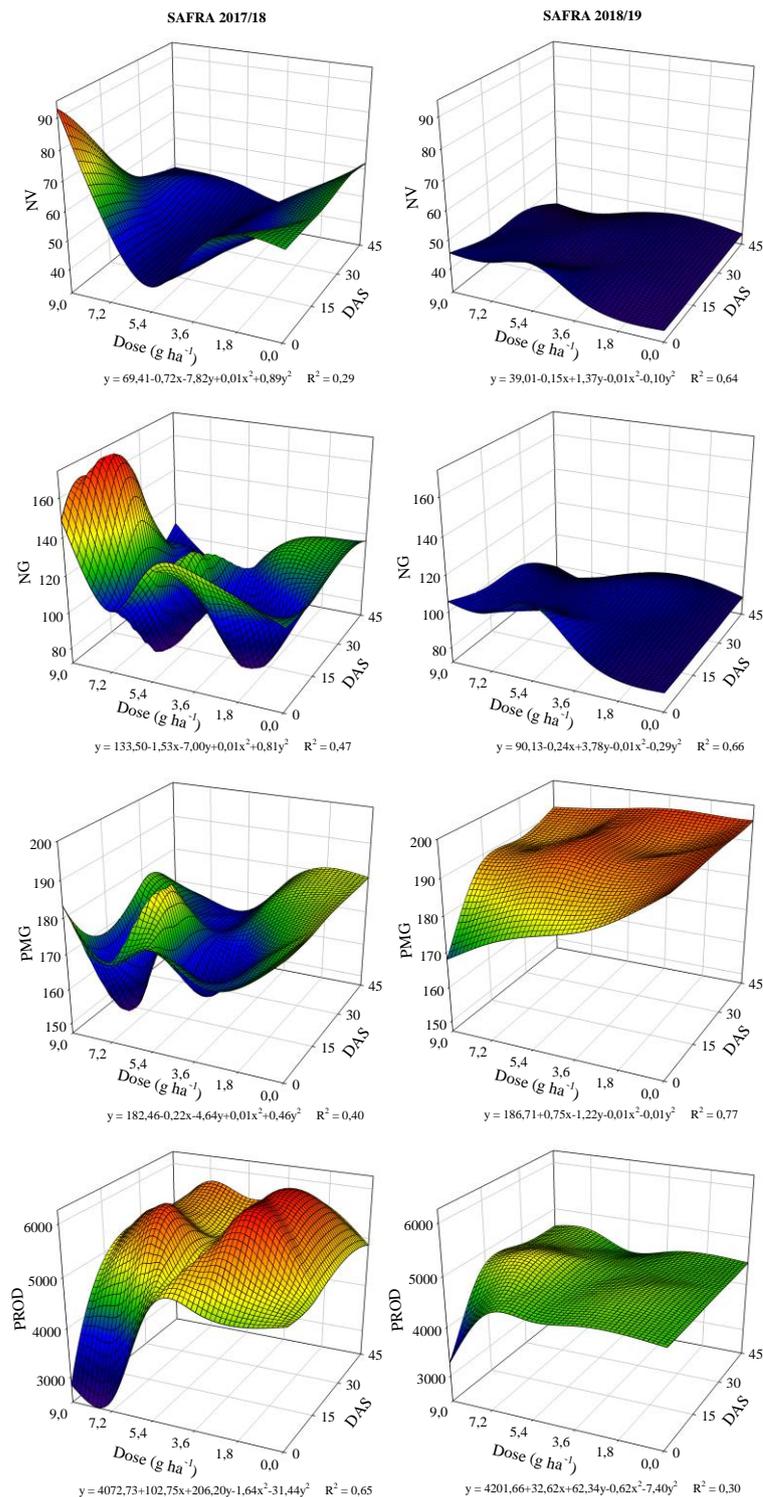
274 **Figura 3.** Taxas fotossintética ( $A$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e transpiratória ( $E$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), taxa de  
 275 transporte de elétrons (ETR) e dissipação não fotoquímica (NPQ) de plantas de soja cultivar  
 276 NA 5909 RG semeadas após 45, 30, 15 e 0 dias da aplicação de doses de metsulfuron-methyl  
 277 (0,0; 3,6; 5,4; 7,2 e 9,0  $\text{g ha}^{-1}$ ), na safra 2018/19. DAS: Dias antes da semeadura.

278

### 279 **Componentes de rendimento**

280 Os componentes do rendimento, de maneira geral, foram mais responsivos a  
 281 aplicação do herbicida na safra 2017/18. Observou-se, nesse ano, comprometimento do  
 282 número de vagens (NV) e número de grãos (NG) em todas as épocas de aplicação (0 a 45  
 283 DAS), com a aplicação de metsulfuron-methyl nas doses entre 1,8 e 7,2  $\text{g ha}^{-1}$  (Figura 4). Na  
 284 safra 2018/19 foi observado aumento no NV (35%) e NG (39%) entre as aplicações aos 0 e 15  
 285 DAS para doses acima de 3,6  $\text{g ha}^{-1}$  (Figura 4, Tabela A3).

286 Já o PMG apresentou menores valores com o aumento da dose de metsulfuron-  
 287 methyl e proximidade do período da semeadura das plantas de soja. No safra 2018/19, os  
 288 menores valores de PMG foram observados com a aplicação de doses superiores a 3,6  $\text{g ha}^{-1}$ ,  
 289 aos 0 e 15 DAS. Em ambas as safras, a produtividade foi reduzida principalmente decorrente  
 290 da aplicação das maiores doses do herbicida e do menor intervalo entre a aplicação e  
 291 semeadura da soja (Figura 4). Na safra de 2017/18 observou-se redução de até 47% na  
 292 produtividade, a partir dos 15 DAS; enquanto que na safra seguinte (2018/19) verificou-se  
 293 redução de 42%, na maior dose aplicada aos 0 DAS (Figura 4, Tabela A4).



294  
 295 **Figura 4.** Número de vagens (NV), número de grãos (NG), peso de mil grãos (PMG) e  
 296 produtividade (PROD) de plantas de soja cultivar NA 5909 RG semeadas após 45, 30, 15 e 9  
 297 dias da aplicação de doses de metsulfuron-methyl (0,0; 3,6; 5,4; 7,2 e 9,0  $g\ ha^{-1}$ ), em dois  
 298 anos consecutivos, 2017/18 e 2018/19. DAS: Dias antes da semeadura.

299

300 **Experimento em casa de vegetação**

301 *Fitotoxicidade*

302 Foi possível observar um aumento moderado (~5%) nas taxas de fitotoxicidade das  
303 plantas de pepinos cultivadas após a aplicação do herbicida metsulfuron-methyl (Tabela 1).

304

#### 305 *Características fisiológicas*

306 Houve interação entre as doses do metsulfuron-methyl e a época de aplicação, para as  
307 variáveis fluorescência inicial ( $F_o$ ) e dissipação não fotoquímica (NPQ), para as demais houve  
308 efeito dos fatores isolados. O uso do herbicida proporcionou um aumento na  $F_o$  em até 38%  
309 na aplicação aos 15 DAS. De maneira similar o NPQ teve um acréscimo em função do  
310 aumento da dose, atingindo valores de 265% na maior dose aos 0 DAS. O rendimento  
311 quântico potencial do FSII ( $F_v/F_m$ ) e a taxa de transporte de elétrons (ETR) não foram  
312 alteradas (Tabela 1).

313

#### 314 *Características morfológicas*

315 A massa seca da parte aérea (MSPA) do pepino apresentou redução linear de até 18%  
316 com o aumento da dose. Resposta similar foi observada para as épocas de aplicação, com a  
317 proximidade da semeadura do pepino a aplicação do herbicida (Tabela 1).

318 **Tabela 1.** Fitotoxicidade (%) aos 7 e 14 dias após a emergência (DAE), massa seca da parte aérea (MSPA), fluorescência mínima (F<sub>0</sub>), rendimento quântico potencial do  
 319 FSII (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>), taxa de transporte de elétrons (ETR) e dissipação não fotoquímica (NPQ) em plantas de pepino cultivar Pioneiro semeadas após 45, 30, 15 e 0 da aplicação  
 320 de doses de metsulfuron-methyl, na safra de 2018/19.

Fatores		Fitotoxicidade			Fluorescência da clorofila <i>a</i>			
Épocas (DAS) <sup>1</sup>	Doses (g ha <sup>-1</sup> i.a.)	7 DAE	14 DAE	F <sub>0</sub>	F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub>	ETR	NPQ	MSPA (g)
45	0	0,00 ± 0,00 a B	0,00 ± 0,00 a C	187,00 ± 3,89 a B	0,655 ± 0,032 a A	61,91 ± 11,13 a A	0,447 ± 0,057 a B	0,530 ± 0,022 a A
30	0	0,00 ± 0,00 a B	0,00 ± 0,00 a B	187,00 ± 3,89 a B	0,655 ± 0,032 a A	61,91 ± 11,13 a A	0,447 ± 0,057 a B	0,530 ± 0,022 a A
15	0	0,00 ± 0,00 a C	0,00 ± 0,00 a B	187,00 ± 3,89 a B	0,655 ± 0,032 a AB	61,91 ± 11,13 a A	0,447 ± 0,057 a B	0,530 ± 0,022 a A
0	0	0,00 ± 0,00 a B	0,00 ± 0,00 a B	187,00 ± 3,89 a A	0,655 ± 0,032 a AB	61,91 ± 11,13 a A	0,447 ± 0,057 a B	0,530 ± 0,022 a A
45	3,6	2,25 ± 0,25 a A	2,33 ± 0,24 a AB	232,50 ± 32,34 a A	0,662 ± 0,027 a A	63,92 ± 6,60 a A	1,166 ± 0,081 a A	0,433 ± 0,016 a AB
30	3,6	3,00 ± 1,22 a A	2,00 ± 0,71 a AB	206,50 ± 8,17 a AB	0,665 ± 0,037 a A	66,10 ± 6,73 a A	0,478 ± 0,084 b B	0,518 ± 0,029 a A
15	3,6	2,00 ± 0,71 a B	3,75 ± 1,75 a A	209,25 ± 9,67 a B	0,649 ± 0,040 a AB	69,43 ± 7,20 a A	0,499 ± 0,034 b B	0,498 ± 0,031 a AB
0	3,6	2,75 ± 0,48 a A	2,75 ± 0,75 a A	188,25 ± 5,23 a A	0,688 ± 0,021 a AB	65,66 ± 4,67 a A	0,659 ± 0,024 b B	0,526 ± 0,032 a A
45	5,4	1,75 ± 0,63 b AB	1,33 ± 0,47 b BC	238,25 ± 32,82 a A	0,665 ± 0,031 ab A	60,72 ± 5,63 a A	1,122 ± 0,114 a A	0,498 ± 0,040 a AB
30	5,4	3,00 ± 0,71 ab A	3,25 ± 0,63 ab A	203,00 ± 12,36 a AB	0,702 ± 0,031 a A	63,95 ± 4,91 a A	0,753 ± 0,025 a AB	0,462 ± 0,030 a AB
15	5,4	4,75 ± 1,11 a A	4,25 ± 1,44 a A	195,00 ± 2,48 a B	0,631 ± 0,011 b B	53,55 ± 7,09 a A	0,746 ± 0,075 a B	0,364 ± 0,051 b C
0	5,4	2,00 ± 0,00 b A	2,00 ± 0,71 ab AB	209,67 ± 11,55 a A	0,680 ± 0,021 ab AB	58,40 ± 4,50 a A	0,884 ± 0,223 a B	0,512 ± 0,038 a A
45	7,2	3,50 ± 0,50 a A	2,75 ± 0,75 a AB	224,25 ± 24,16 ab AB	0,635 ± 0,055 a A	61,30 ± 9,20 a A	1,018 ± 0,142 a A	0,475 ± 0,027 a AB
30	7,2	4,00 ± 0,58 a A	2,50 ± 0,29 a A	244,75 ± 18,32 a A	0,677 ± 0,022 a A	67,13 ± 8,75 a A	1,085 ± 0,070 a A	0,372 ± 0,013 b B
15	7,2	3,00 ± 0,71 a AB	3,75 ± 1,44 a A	258,50 ± 8,03 a A	0,695 ± 0,019 a A	72,31 ± 6,03 a A	1,198 ± 0,197 a A	0,423 ± 0,034 ab BC
0	7,2	2,75 ± 1,60 a A	2,00 ± 0,71 a AB	190,00 ± 6,72 b A	0,653 ± 0,017 a B	51,94 ± 6,28 a A	0,561 ± 0,048 b B	0,459 ± 0,029 ab A
45	9,0	2,50 ± 0,29 a A	4,00 ± 0,58 a A	200,75 ± 13,17 ab AB	0,668 ± 0,038 a A	53,53 ± 3,88 a A	0,944 ± 0,328 b A	0,399 ± 0,039 a B
30	9,0	3,00 ± 0,71 a A	3,50 ± 0,50 a A	227,50 ± 21,66 a AB	0,662 ± 0,025 a A	65,32 ± 3,62 a A	0,897 ± 0,310 b AB	0,418 ± 0,028 a B
15	9,0	4,25 ± 0,48 a A	3,50 ± 0,65 a A	180,00 ± 0,41 b B	0,708 ± 0,015 a A	61,61 ± 8,76 a A	0,768 ± 0,185 b B	0,413 ± 0,012 a BC
0	9,0	2,33 ± 0,24 a A	2,25 ± 0,25 a AB	217,33 ± 12,23 ab A	0,716 ± 0,034 a A	64,94 ± 4,47 a A	1,632 ± 0,220 a A	0,497 ± 0,065 a A
45		2,00 ± 0,31 a	2,08 ± 0,36 ab	216,55 ± 10,56 a	0,657 ± 0,015 a	60,27 ± 3,18 a	0,939 ± 0,091 a	0,467 ± 0,016 ab
30		2,60 ± 0,43 a	2,25 ± 0,35 ab	213,75 ± 7,36 a	0,672 ± 0,012 a	64,88 ± 3,02 a	0,732 ± 0,082 b	0,460 ± 0,017 b
15		2,80 ± 0,48 a	3,05 ± 0,60 a	205,95 ± 6,85 a	0,668 ± 0,012 a	63,76 ± 3,61 a	0,732 ± 0,080 b	0,446 ± 0,019 b
0		1,97 ± 0,38 a	1,80 ± 0,31 b	198,45 ± 4,36 a	0,678 ± 0,011 a	60,60 ± 2,83 a	0,837 ± 0,110 ab	0,505 ± 0,017 a
0		0,00 ± 0,00 B	0,00 ± 0,00 B	187,00 ± 1,74 C	0,655 ± 0,014 B	61,91 ± 4,98 A	0,447 ± 0,026 C	0,530 ± 0,010 A
3,6		2,50 ± 0,35 A	2,71 ± 0,49 A	209,13 ± 8,84 AB	0,666 ± 0,015 AB	66,28 ± 2,90 A	0,700 ± 0,077 B	0,494 ± 0,016 AB
5,4		2,88 ± 0,45 A	2,71 ± 0,49 A	211,48 ± 9,28 AB	0,669 ± 0,013 AB	59,16 ± 2,70 A	0,876 ± 0,071 AB	0,459 ± 0,023 BC
7,2		3,31 ± 0,44 A	2,75 ± 0,43 A	229,38 ± 9,79 A	0,665 ± 0,016 AB	63,17 ± 3,96 A	0,965 ± 0,085 A	0,432 ± 0,016 C
9,0		3,02 ± 0,28 A	3,31 ± 0,28 A	206,40 ± 7,82 BC	0,689 ± 0,014 A	61,35 ± 2,78 A	1,060 ± 0,148 A	0,432 ± 0,021 C
Causas de variação								
Épocas		0,1363	0,0672	0,2062	0,3856	0,6909	0,093	0,0369
Doses		<0,001	<0,001	0,0041	0,2135	0,7297	<0,001	<0,001
Épocas x doses		0,3031	0,6058	0,0444	0,1961	0,9171	<0,001	0,0929
Bloco		0,8446	0,2577	0,1012	<0,001	0,0972	0,2395	0,3357
CV (%)		58,14	65,81	13,95	5,96	23,58	36,66	13,80

321 <sup>1</sup> Dias antes da semeadura. <sup>2</sup> Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Duncan (p ≤ 0,05). Letras minúsculas comparam épocas de aplicação e maiúsculas as diferentes doses.

## DISCUSSÃO

O *carryover* do herbicida metsulfuron-methyl proporcionou fitotoxicidade, alterou os parâmetros fisiológicos e os componentes de rendimento das plantas de soja. Observou-se um aumento expressivo na fitotoxicidade das plantas cultivadas após aplicações do herbicida, com sintomas crescentes de acordo com a proximidade da aplicação do herbicida e a semeadura da soja. Cabe ressaltar que com a proximidade da aplicação do herbicida houve redução na presença de cobertura morta o que pode ter favorecido as maiores taxas de fitotoxicidade, no entanto, deve-se ter cautela no julgamento dessa característica. Ainda que a palha represente uma barreira ao herbicida para atingir o solo, é recomendado a adoção de herbicidas que possuem maior solubilidade e baixa pressão de vapor e coeficiente de partição octanol-água (Matos et al., 2016), como o metsulfuron-methyl. Além de que a ocorrência de chuva em um curto período após as aplicações favoreceu que o herbicida fosse lixiviado para o solo. O metsulfuron-methyl é ativo em concentrações muito baixas, e também caracterizado como herbicida de ação lenta (SENSEMAN, 2007). De forma similar, outros autores observaram fitotoxicidade devido ao efeito residual de herbicidas inibidores da ALS, como na cultura do milho, após 90 dias da aplicação de imazethapyr (SANTOS et al., 2018) e na soja, após 445 dias de aplicação da mistura de imazapyr e imazapic (AGOSTINETTO et al., 2018). Assim como o residual de diclosulam e imazethapyr utilizados na soja, sobre o milho cultivado em sucessão, causou fitotoxicidade (DAN et al., 2012). Aisenberg et al. (2016) ao estudarem efeitos do herbicida sulfentrazone aplicado em pré-emergência na cultura da soja verificaram fitotoxicidade acima de 60% na cultivar de soja NA 5909 RG, culminando em redução da produtividade. Os autores destacam que a fitotoxicidade é uma importante característica a ser avaliada, mesmo em culturas seletivas que podem vir a apresentar danos. Em muitos casos a fitotoxicidade, pode afetar os componentes de rendimento, e conseqüentemente a produtividade final da cultura (DAN et al., 2012), como foi verificado na época 0 DAS em ambas as safras no presente estudo.

O potencial de *carryover* depende, além do herbicida, da dose e da cultura em sucessão, das características do solo e das condições ambientais antes e após a aplicação de herbicidas (MANCUSO; NEGRISOLI; PERIM, 2011). A alta disponibilidade do metsulfuron-methyl é verificada em solos com pH superior ao pKa do herbicida, como ocorrido no presente estudo (pH = 5,2). Nessas condições, o princípio ativo predomina na forma aniônica para os herbicidas ácidos, como o metsulfuron-methyl, o que reduz a retenção aos coloides do solo (OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011). Isso favorece para uma maior disponibilidade do herbicida na solução no solo, permitindo a alta absorção pelas culturas

356 (GONÇALVES et al., 2018). No entanto, foi possível observar que a precipitação diferencial  
357 entre as safras pode ter contribuído para os menores impactos causados no segundo ano de  
358 cultivo. Após a aplicação dos tratamentos em pré-semeadura da soja, houve um acúmulo de  
359 chuva acima de 200 e 350 mm para as safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente. A maior  
360 precipitação pode ter contribuído para uma possível lixiviação do herbicida para camadas  
361 mais profundas do perfil, afetando a sua disponibilidade para ser absorvido, visto que a água  
362 regula os processos de dissipação (CARVALHO et al., 2015). Por outro lado, a ausência de  
363 precipitação durante a semeadura, porém com boa umidade solo, favoreceu a absorção do  
364 herbicida aplicado na época zero, ocasionando alta fitotoxicidade, constatada inclusive pela  
365 morte de plantas. Esse fato foi agravado, ainda, devido a um leve déficit hídrico nas duas  
366 semanas seguintes após a emergência das plantas, reduzindo a taxa de crescimento e,  
367 consequentemente, a taxa de metabolização acentuando os danos causados nas plantas durante  
368 o segundo ano de cultivo.

369 Observou-se, ainda, redução na eficiência fotoquímica da cultura, no ano 2018/19,  
370 com diminuição na taxa fotossintética,  $C_i/C_a$ , eficiência de carboxilação e eficiência do uso da  
371 água das plantas de soja, em todas as épocas avaliadas (Figura 3, Tabela A2 e A3). Apesar de  
372 não ter modo de ação agindo diretamente nos fotossistemas, herbicidas inibidores da ALS  
373 foram descritos por ter efeito secundário ou indiretos nos processos fisiológicos das plantas  
374 (ZHOU et al., 2007; GALON et al., 2010). Outros autores verificaram o comprometimento  
375 das taxas fotossintéticas e rendimento quântico do fotossistema II em diferentes plantas como  
376 *Solanum nigrum* (RIETHMULLER-HAAGE et al, 2006), trigo (AGOSTINETTO et al 2016),  
377 *Alopecurus aequalis* (ZHAO et al., 2019) e pepino (SUN et al., 2019), expostas ao  
378 metsulfuron-methyl e a da cana de açúcar na presença do trifloxysulfuron-sodium (GALON et  
379 al., 2010). O comprometimento da fotossíntese, pela toxicidade por herbicidas, é relacionado  
380 a menor fixação de  $CO_2$ , desenvolvimento (SU et al., 2018) e produtividade de culturas  
381 (LAMEGO et al., 2013).

382 Associada às avaliações de trocas gasosas, a fluorescência da clorofila *a* é uma  
383 ferramenta rápida e não invasiva na determinação de efeitos fotossintéticos decorrentes da  
384 exposição dos herbicidas. Considerando as variáveis da fluorescência da clorofila *a*, verificou-  
385 se uma pequena redução em  $F_v/F_m$ , na maior dose, e em ETR, para todas as doses, aos 0 DAS;  
386 e em  $qP$  e  $qL$ , com o aumento da dose (Figura 3, Tabela A3). As alterações em  $qP$  e  $qL$   
387 indicam que a menor dissipação fotoquímica pode estar associada a uma proporção de centros  
388 de reação do FSII fechados, ou seja, um aumento na proporção do estado reduzido da quinona  
389 A, e diminuição na energia de excitação disponível para a fotoquímica da fotossíntese

390 (GENTY et al. 1989). Além disso, os centros de reação são constituídos por clorofilas, as  
391 quais já foram descritas por reduzirem em plantas de soja expostas ao efeito residual dos  
392 herbicidas imazapyr+imazapic inibidores de ALS (FRAGA et al., 2019). O comprometimento  
393 do FSII afeta a taxa de transporte de elétrons e a produção de ATP e NADPH necessários para  
394 o funcionamento do Ciclo de Calvin e fixação de CO<sub>2</sub> (TIMM et al., 2016). Fraga et al (2019),  
395 ainda, observaram aumento na peroxidação de lipídios em folhas de soja, o que poderia  
396 ocasionar estresse oxidativo e comprometimento dos fotossistemas (ZHAO et al., 2019) e da  
397 enzima responsável pela carboxilação do CO<sub>2</sub> (DAS et al., 2016).

398 Um aumento na dissipação não-fotoquímica foi verificada nas plantas de soja, aos 30  
399 DAS, nas menores doses do herbicida. No entanto, a ativação dos mecanismos de dissipação  
400 térmica (NPQ) pelo ciclo das xantofilas, não foi suficiente para evitar alterações no transporte  
401 de elétrons e eficiência fotossintética das plantas de soja, como também observado em plantas  
402 de pepino expostas ao efeito residual de bensulfuron-methyl (SUN et al., 2019).

403 Além das alterações fisiológicas, a densidade das plantas é diretamente relacionada  
404 com os componentes de rendimento da cultura da soja. A redução na população de plantas  
405 observada principalmente aos 0 DAS, permitiu que a soja compensasse a baixa densidade de  
406 indivíduos através da plasticidade fenotípica. A plasticidade fenotípica permite que as plantas  
407 alterem a sua morfologia e regulem os componentes de crescimento e produção em função de  
408 diferentes densidades (BALBINOT Jr. et al., 2018), emitindo mais ramos e aumentando o  
409 crescimento de ramos em baixas densidades (FERREIRA et al., 2016). O número de vagens é  
410 descrita por ser a principal variável associada à plasticidade fenotípica (BALBINOT Jr. et al.,  
411 2018). Isso justifica o aumento significativo do número de vagens no segundo ano de cultivo,  
412 de forma mais expressiva na época zero.

413 Em ambos os anos, o número de grãos demonstrou resposta similar ao número de  
414 vagens. Além disso, nas duas safras, verificou-se uma redução no peso de mil grãos devido ao  
415 efeito residual do metsulfuron-methyl no solo. Os danos decorrentes do efeito residual de  
416 atrazine, metribuzin, flumioxazin e da mistura de diuron, hexazinone e sulfometuron-methyl  
417 também foram verificados pela redução do número de grãos e vagens por plantas e peso de  
418 mil grãos em soja (GONÇALVES et al., 2018). O peso de mil grãos é uma variável sensível  
419 às diversas condições de estresse pelas quais as plantas podem passar ao longo do seu  
420 desenvolvimento (COMIN et al. 2018), o que afeta diretamente o rendimento final da cultura  
421 (SOUZA et al., 2015; MEIER et al., 2019). Além disso, o PMG pode aumentar em  
422 decorrência de uma menor quantidade de vagens por planta (dreno), por diminuir a  
423 competição por fotoassimilados (CRUZ et al., 2016).

424 Corroborando os dados de fitotoxicidade, foi observado redução na produtividade na  
425 época mais próxima a sementeira. A diminuição do rendimento produtivo também foi  
426 constatada em plantas de soja expostas ao efeito residual de herbicidas da classe dos  
427 inibidores da síntese de carotenoides e inibidores do FSII, após 42 dias da aplicação  
428 (SOLTANI et al., 2011). Segundo os autores, o efeito residual de diferentes herbicidas  
429 ocasionou injúrias entre 35% (isoxaflutole e atrazina) a 90% (dimethenamid +  
430 dicamba/atrazine) nas plantas de soja cultivadas posteriormente, com consequente redução na  
431 biomassa e rendimento da cultura. Assim, o intervalo de segurança necessário antes da  
432 sementeira da soja para minimizar a perda de rendimento depende do herbicida aplicado  
433 (SOLTANI et al., 2011), visto que no solo os herbicidas podem ser absorvidos pelas plantas,  
434 lixiviados, degradados ou sorvidos pelas partículas de solo (SILVA; SILVA, 2007). Sendo  
435 que esses processos podem ocorrer em poucos dias, ou ainda durar meses ou anos, nos casos  
436 de compostos altamente persistentes (FILIZOLA et al., 2002). Isso demonstra a importância  
437 dos estudos com efeito residual de diferentes herbicidas para que os produtores possam  
438 utilizar produtos menos prejudiciais ao cultivo subsequente da soja.

439 O herbicida metsulfuron-methyl é utilizado em doses muito baixas nas aplicações  
440 sendo encontrado no solo em concentrações extremamente pequenas, o que dificulta a sua  
441 detecção. Assim, utilizar métodos capazes de determinar esses compostos em baixos níveis de  
442 concentração no solo é crucial (DA COSTA MARINHO et al., 2019) para evitar a sementeira  
443 de culturas sensíveis na mesma área. O uso de plantas bioindicadoras constitui o método mais  
444 simples para identificar solos contaminados por herbicidas (MARCHESAN, 2011), sendo o  
445 pepino (*Cucumis sativus*) uma das espécies mais sensíveis ao metsulfuron-methyl (ISMAIL;  
446 AZLIZAN, 2002). Neste estudo foi possível verificar os efeitos residuais do herbicida através  
447 da detecção da fitotoxicidade e alterações fisiológicas no cultivo de plantas bioindicadoras de  
448 pepino, o que culminou em reduções na massa seca da parte aérea para todas as doses  
449 utilizadas quando comparado à testemunha. De forma similar, o residual de bensulfuron-  
450 methyl afetou as variáveis fisiológicas do pepino com reduções na biomassa (SUN et al.,  
451 2019).

452 Para uma recomendação segura não é ideal o uso de metsulfuron-methyl no período  
453 que antecede a sementeira da soja em períodos inferior aos 45 dias, sendo que o recomendado  
454 em bula é 60 dias após a aplicação, pois diversos fatores contribuem para o processo de  
455 persistência e degradação do herbicida, entre eles destaca-se as condições ambientais que não  
456 são passíveis de serem controlados podendo vir a intensificar ou atenuar os danos causados.  
457 Mesmo para a cultivar estudada, ainda que não tenha ocorrido grandes variações nas

458 primeiras épocas de aplicação para a produtividade o conjunto das demais variáveis não  
459 permitem uma recomendação segura do produto, sendo necessários estudos mais detalhados.

460

#### 461 **Conclusões**

462 O uso de metsulfuron-methyl proporcionou efeitos negativos sobre a soja cultivar NA  
463 5909 RG, de forma mais expressiva nas aplicações mais próximas a semeadura e nas maiores  
464 doses. O pepino usado como planta bioindicadora confirmou os efeitos negativos nas  
465 características morfofisiológicas causados pelo metsulfuron-methyl mesmo quando usado aos  
466 45 dias após a semeadura. Não sendo indicado a semeadura da soja de forma segura em  
467 período inferior a 45 dias após a semeadura, independente da dose utilizada.

468

469                   **EFFECT OF METSULFURON-METHYL APPLICATION ON EARLY**  
470                   **DESICCATION ON THE MORPHOPHYSIOLOGICAL AND PRODUCTIVE**  
471                   **TRAITS OF SOYBEAN SUCCESSION**

472  
473   **ABSTRACT**

474   The intensive and continued use of herbicides has been increasing the number of resistant  
475   weeds, mainly to glyphosate. This fact, added to the lack of perspective for the  
476   commercialization of new molecules in the short term, has led producers to seek alternatives  
477   among the commercially available herbicides for the control of weeds in no-tillage systems.  
478   Thus, metsulfuron-methyl has been used for the management of glyphosate-tolerant or  
479   resistant species, mainly in crops desiccation. However, it is necessary to know the potential  
480   carryover risk that this herbicide can cause in the crop sown after applications. The objectives  
481   of this work were to study the effects of doses of the herbicide metsulfuron-methyl applied at  
482   different times on the physiological and productive traits of soybean cultivar NA 5909 RG  
483   and to evaluate the effects of metsulfuron-methyl in cucumber plants, as a bioindicator  
484   species. Two field experiments were carried out in field areas in 2017/18 and 2018/19 to  
485   evaluate the soybean crop and in a greenhouse for the bioindicator cucumber assays. For both  
486   experiments, a randomized block design was adopted, in a 4x5 factorial scheme, with four  
487   replications. In factor A, the herbicide application times (0, 15, 30 and 45 days before soybean  
488   sowing - DAS) and in factor B, metsulfuron-methyl doses (0.0; 3.6; 5.4 ; 7.2 and 9.0 g ha<sup>-1</sup>  
489   i.a.) were tested. The phytotoxicity of soybean was evaluated at 7, 14, 21, 28 and 35 days after  
490   emergence (DAE) and of cucumber plants at 7 and 14 DAE. The physiological traits were  
491   measured at the end of the vegetative stage (50 DAE) for soybeans, and for cucumber at 21  
492   DAE, where shoot dry mass and the components of grain yield in the soybean harvest were  
493   also evaluated. metsulfuron-methyl carryover provided phytotoxicity, changed physiological  
494   parameters and yield components of the soybean cultivar NA 5909 RG. In general, the  
495   increase in metsulfuron-methyl doses caused an increase in the phytotoxicity of the soybean.  
496   Gas exchange and chlorophyll *a* fluorescence variables were negatively affected depending on  
497   the tested time and dose, respectively. The thousand grains weight and productivity were  
498   reduced both by the herbicide dose and by the time of application, which compromised the  
499   productive crop performance. For cucumber plants, negative effects on morphophysiological  
500   traits were also observed. Thus, an interval of more than 45 days is recommended for sowing  
501   soybeans after application of the herbicide metsulfuron-methyl in desiccation.

502  
503   Keywords: *Glycine max.* Spray times. Carryover.

## REFERÊNCIAS

504

505

506 AGOSTINETTO, D. et al. Changes in photosynthesis and oxidative stress in wheat plants  
507 submitted to herbicides application. **Planta Daninha**, v. 34, p. 1-9, 2016.

508

509 AGOSTINETTO, D. et al. Response of soybean cultivars in rotation with irrigated rice crops  
510 cultivated in Clearfield® system. **Planta Daninha**, v. 36, p. 1-9, 2018.

511

512 AISENBERG, et al. Weed control and selectivity of alternative herbicides to glyphosate in  
513 soy cultivation. **International Journal of Current Research**, v. 8, p. 37729-37735, 2016.

514

515 ALESSO, Magdalena et al. Metsulfuron-methyl determination in environmental samples by  
516 solid surface fluorescence. **Microchemical Journal**, v. 139, p. 150-154, 2018.

517

518 ALONSO, D. G. et al. Selectivity of glyphosate alone or in mixtures for RR soybean in  
519 sequential applications. **Planta Daninha**, v. 31, p. 203-212, 2013.

520

521 ANNETT, R.; HABIBI, H. R.; HONTELA, A. Impact of glyphosate and glyphosate-based  
522 herbicides on the freshwater environment. **Journal of Applied Toxicology**, v. 34, p. 458-479,  
523 2014.

524

525 ARNHOLD, E. et al. Package in the R environment for analysis of variance and  
526 complementary analyses. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**,  
527 v. 50, p. 488-492, 2013.

528

529 BALBINOT JUNIOR, A. A. et al. Phenotypic plasticity in a soybean cultivar with  
530 indeterminate growth type. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, p. 1038-1044, 2018.

531

532 BILGER, W.; SCHREIBER, U.; BOCK, M. Determination of the quantum efficiency of  
533 photosystem II and of non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the  
534 field. **Oecologia**, v. 102, p. 425-432, 1995.

535

536 BÜCHI, L. et al. Cover crops to secure weed control strategies in a maize crop with reduced  
537 tillage. **Field Crops Research**, v. 247, p. 107583, 2020.

538

539 CARVALHO, S. J. P. et al. Soil persistence of chlorimuron-ethyl and metsulfuron-methyl and  
540 phytotoxicity to corn seeded as a succeeding crop. **Planta Daninha**, v. 33, p. 331-339, 2015.

541

542 CQFS – Comissão de química e fertilidade do solo. **Manual de Calagem e Adubação para**  
543 **os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre, SBCS, 2016. p. 376.

544

545 COMIN, R. C. et al. Qualidade fisiológica de sementes de soja submetidas à dessecação em  
546 pré-colheita. **Colloquium Agrariae**, v. 14, p. 112-120, 2018.

547

548 CRUZ, S. C. S. et al. Cultivo de soja sob diferentes densidades de semeadura e arranjos  
549 espaciais. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 3, p. 1-6, 2016.

550

551 DA COSTA MARINHO, M. I. et al. Validation and application of a QuEChERS based  
552 method for estimation of half-life of imidazolinone herbicides in soils by LC-ESI-MS/MS.  
553 **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 167, p. 212-217, 2019.

554  
555 DAN, H. A. et al. Resíduos de herbicidas utilizados na cultura da soja sobre o milho cultivado  
556 em sucessão. **Revista Caatinga**, v. 25, p. 86-91, 2012.

557  
558 DAS, A. et al. Leaf proteome analysis reveals prospective drought and heat stress response  
559 mechanisms in soybean. **BioMed research international**, v. 2016, p. 1-23, 2016.

560  
561 DUKE, S. O. Why have no new herbicide modes of action appeared in recent years?. **Pest**  
562 **management science**, v. 68, p. 505-512, 2012.

563  
564 EHLERINGER, J. Leaf absorptances of Mohave and Sonoran desert plants. **Oecologia**, v. 49,  
565 p. 366-370, 1981.

566  
567 EMBRAPA – Empresa brasileira de pesquisa agropecuária, Embrapa. **Sistema brasileiro de**  
568 **classificação de solos**. Embrapa Solos. 2013; 154 p.

569  
570 FEHR, W.R., CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State  
571 University, 1977. 12p. (Special Report, 80).

572  
573 FERREIRA, A. S. et al. Plant density and mineral nitrogen fertilization influencing yield,  
574 yield components and concentration of oil and protein in soybean grains. **Bragantia**, v. 75, p.  
575 362-370, 2016.

576  
577 FILIZOLA, Heloisa Ferreira et al. Monitoramento e avaliação do risco de contaminação por  
578 pesticidas em água superficial e subterrânea na região de Guaíra. **Pesquisa agropecuária**  
579 **brasileira**, v. 37, p. 659-667, 2002.

580  
581 FRAGA, D. S. et al. Morphological and Metabolic Changes in Soybean Plants Cultivated in  
582 Irrigated Rice Rotation and as Affected by Imazapyr and Imazapic Herbicides  
583 Carryover. **Planta Daninha**, v. 37, p. 1-10, 2019.

584  
585 GALON, L. et al. Influência de herbicidas na atividade fotossintética de genótipos de cana-  
586 de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 28, p. 591-597, 2010.

587  
588 GENTY, B.; BRIANTAIS, J. M.; BAKER, N. R. The relationship between the quantum yield  
589 of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica**  
590 **et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects**, v. 990, p. 87-92, 1989.

591  
592 GILBERT, N. A hard look at GM crops. **Nature**, v. 497, p. 24, 2013.

593  
594 GONÇALVES, F. A. R. et al. Atividade residual de herbicidas nas culturas do milho e da  
595 soja. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and**  
596 **Environmental Sciences**, v. 61, 2018.

597

598 HENDRICKSON, L.; FURBANK, R. T.; CHOW, W. S. A simple alternative approach to  
599 assessing the fate of absorbed light energy using chlorophyll fluorescence. **Photosynthesis**  
600 **research**, v. 82, p. 73, 2004.

601  
602 INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados históricos**. Disponível em:  
603 <[http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/gera\\_serie\\_txt.php?&mRelEstacao=83914&](http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/gera_serie_txt.php?&mRelEstacao=83914&btnProcesso=serie&mRelDtInicio=20/10/2017&mRelDtFim=30/04/2018&mAtributos=,,,,,,1,,1,,)  
604 [btnProcesso=serie&mRelDtInicio=20/10/2017&mRelDtFim=30/04/2018&mAtributos=,,,,,,1,,1,,](http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/gera_serie_txt.php?&mRelEstacao=83914&btnProcesso=serie&mRelDtInicio=20/10/2017&mRelDtFim=30/04/2018&mAtributos=,,,,,,1,,1,,)>. Acesso em: 19 dez. 2019.

605  
606  
607 ISMAIL, B. S.; AZLIZAN, B. A. Persistence and bioactivity of metsulfuron-methyl in three  
608 soils. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 37, p. 345-353, 2002.

609  
610 JABRAN, K. et al. Allelopathy for weed control in agricultural systems. **Crop Protection**, v.  
611 72, p. 57-65, 2015.

612  
613 KRAMER, D. M. et al. New fluorescence parameters for the determination of Q A redox state  
614 and excitation energy fluxes. **Photosynthesis research**, v. 79, p. 209, 2004.

615  
616 LAISK, A.; LORETO, F. Determining photosynthetic parameters from leaf CO<sub>2</sub> exchange  
617 and chlorophyll fluorescence (ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase specificity  
618 factor, dark respiration in the light, excitation distribution between photosystems, alternative  
619 electron transport rate, and mesophyll diffusion resistance. **Plant Physiology**, v. 110, p. 903-  
620 912, 1996.

621  
622 LAMEGO, F. P. et al. Manejo de *Conyza bonariensis* resistente ao glyphosate: coberturas de  
623 inverno e herbicidas em pré-semeadura da soja. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 31, p. 433-  
624 442, 2013

625  
626 LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMANN, C.; KNAPP, M. How to correctly determine the  
627 different chlorophyll fluorescence parameters and the chlorophyll fluorescence decrease ratio  
628 R Fd of leaves with the PAM fluorometer. **Photosynthetica**, v. 43, p. 379-393, 2005.

629  
630 LICORINI, L. R. et al. Identificação e controle de biótipos resistentes de *Digitaria insularis*  
631 (L.) Fedde ao glyphosate. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 14, p. 148-154, 2015.

632  
633 MARCHESAN, E. D. Seleção de espécies bioindicadoras para uso em bioensaios de  
634 lixiviação e persistência de atrazina no solo. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio**  
635 **Ambiente**, v. 21, 2011.

636  
637 MANCUSO, M. A. C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. Efeito residual de herbicidas no solo  
638 (carryover). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, p. 151-164, 2011.

639  
640 MELO, C. A. D. et al. Carryover de herbicidas em sistemas cultivados com  
641 olerícolas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, p. 67-78, 2016.

642  
643 NORSWORTHY, J. K. et al. Reducing the risks of herbicide resistance: best management  
644 practices and recommendations. **Weed Science**, v. 60, p. 31-62, 2012.

645  
646 NTOANIDOU, S. et al. Molecular basis of *Cyperus difformis* cross-resistance to ALS-  
647 inhibiting herbicides. **Pesticide biochemistry and physiology**, v. 127, p. 38-45, 2016.

648  
649 OLIVEIRA, M. F. de; BRIGHENTI, A. M. Comportamento dos herbicidas no  
650 ambiente. **Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2011.  
651  
652 OLIVEIRA JR, R. S. et al. Interação entre sistemas de manejo e de controle de plantas  
653 daninhas em pós-emergência afetando o desenvolvimento e a produtividade da soja. **Planta**  
654 **Daninha**, v. 24, p. 721-732, 2006.  
655  
656 OLIVEIRA, T. L., et al. Seleção de espécies bioindicadoras do herbicida  
657 ethoxysulfuron. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and**  
658 **Environmental Sciences**, v. 61, 2018.  
659  
660 OXBOROUGH, K.; BAKER, N. R. An instrument capable of imaging chlorophyll a  
661 fluorescence from intact leaves at very low irradiance and at cellular and subcellular levels of  
662 organization. **Plant, Cell & Environment**, v. 20, p. 1473-1483, 1997.  
663  
664 PEROTTI, V. E. et al. Herbicide resistant weeds: A call to integrate conventional agricultural  
665 practices, molecular biology knowledge and new technologies. **Plant Science**, p. 110255,  
666 2019.  
667  
668 PLACIDO, H. F. et al. Desiccants application season in pre-emergence in conventional  
669 soybeans1. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 14, p. 93-102, 2015.  
670  
671 R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for  
672 Statistical Computing, Vienna, Austria, 2019. URL <https://www.R-project.org/>.  
673  
674 RIETHMULLER-HAAGE, I. et al. Influence of the acetolactate synthase inhibitor  
675 metsulfuron-methyl on the operation, regulation and organisation of photosynthesis in  
676 *Solanum nigrum*. **Photosynthesis research**, v. 88, p. 331-341, 2006.  
677  
678 RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. R. **Guia de herbicidas: 7. ed.** Londrina: Edição dos  
679 Autores, 2018. 764 p.  
680  
681 SANTOS, C. G. et al. Residual do herbicida imazetapir na cultura do milho. **Colloquium**  
682 **Agrariae**, v. 14, p. 154-159, 2018.  
683  
684 SANTOS, T. T. M. dos et al. Associação dos herbicidas diclosulam e glyphosate na  
685 dessecação visando o controle residual de plantas daninhas na cultura da soja. **Revista**  
686 **Brasileira de Herbicidas**, v. 15, p. 138-147, 2016.  
687  
688 SBPCPD – Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas. **Procedimentos para**  
689 **instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: 1995. p. 42.  
690  
691 SENSEMAN, S. A. **Herbicide handbook**, in: Weed Science Society of America, ninth ed.,  
692 Lawrence, KS, 2007.  
693  
694 SILVA, A.A., SILVA, J.F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: Editora UFV,  
695 2007. p. 367.  
696

697 SOLTANI, N. et al. The effect of residual corn herbicides on injury and yield of soybean  
698 seeded in the same season. **Canadian journal of plant science**, v. 91, p. 571-576, 2011.  
699

700 SOUZA, V. Q. de et al. Componentes de rendimento em combinações de fungicidas e  
701 inseticidas e análise de trilha em soja. **Global Science and Technology**, v. 8, p. 167-176,  
702 2015.  
703

704 SU, W. C. et al. The residual effects of bensulfuron-methyl on growth and photosynthesis of  
705 soybean and peanut. **Photosynthetica**, v. 56, p. 670-677, 2018.  
706

707 SUN, L. et al. Effects of bensulfuron-methyl residue on photosynthesis and chlorophyll  
708 fluorescence in leaves of cucumber seedlings. **PloS one**, v. 14, p. 1-11, 2019.  
709

710 TIMM, S. et al. The regulatory interplay between photorespiration and  
711 photosynthesis. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, p. 2923-2929, 2016.  
712

713 ZHAO, N. et al. Unravelling mesosulfuron-methyl phytotoxicity and metabolism-based  
714 herbicide resistance in *Alopecurus aequalis*: Insight into regulatory mechanisms using  
715 proteomics. **Science of the total environment**, v. 670, p. 486-497, 2019.  
716

717 ZHOU, Q. et al. Action mechanisms of acetolactate synthase-inhibiting herbicides. **Pesticide**  
718 **biochemistry and physiology**, v. 89, p. 89-96, 2007.  
719

720 YANG, J. H. et al. Preparation of a monolithic magnetic stir bar for the determination of  
721 sulfonylurea herbicides coupled with HPLC. **Microchemical Journal**, v. 141, p. 369-376,  
722 2018.

## ANEXOS

**Tabela 1.** Fitotoxicidade (%) aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a emergência (DAE) de plantas de soja cultivar NA 5909 RG semeadas após 45, 30, 15 e 0 dias da aplicação de doses de metsulfuron-methyl, em dois anos consecutivos, 2017/18 e 2018/19.

Fatores		2017/18					2018/19				
Épocas (DAS) <sub>1</sub>	Doses (g ha <sup>-1</sup> i.a.)	7 DAE	14 DAE	21 DAE	28 DAE	35 DAE	7 DAE	14 DAE	21 DAE	28 DAE	35 DAE
45	0	0,0 ± 0,0 a A <sup>2</sup>	0,0 ± 0,0 a A	0,0 ± 0,0 a A	0,0 ± 0,0 a A	0,0 ± 0,0 a A	0,0 ± 0,0 a D	0,0 ± 0,0 a B	0,0 ± 0,0 a B	0,0 ± 0,0 a B	0,0 ± 0,0 a A
30	0	0,0 ± 0,0 a A	0,0 ± 0,0 a A	0,0 ± 0,0 a A	0,0 ± 0,0 a A	0,0 ± 0,0 a A	0,0 ± 0,0 a D	0,0 ± 0,0 a C	0,0 ± 0,0 a B	0,0 ± 0,0 a C	0,0 ± 0,0 a B
15	0	0,0 ± 0,0 a A	0,0 ± 0,0 a A	0,0 ± 0,0 a A	0,0 ± 0,0 a A	0,0 ± 0,0 a A	0,0 ± 0,0 a E	0,0 ± 0,0 a C	0,0 ± 0,0 a C	0,0 ± 0,0 a D	0,0 ± 0,0 a D
0	0	0,0 ± 0,0 a D	0,0 ± 0,0 a D	0,0 ± 0,0 a C	0,0 ± 0,0 a D	0,0 ± 0,0 a C	0,0 ± 0,0 a E	0,0 ± 0,0 a D	0,0 ± 0,0 a E	0,0 ± 0,0 a E	0,0 ± 0,0 a D
45	3,6	2,0 ± 1,2 b A	3,3 ± 2,0 b A	4,0 ± 2,3 b A	0,0 ± 0,0 b A	1,5 ± 0,9 b A	2,8 ± 0,3 b C	6,5 ± 0,9 b A	5,3 ± 1,0 b AB	4,5 ± 2,1 b AB	6,0 ± 3,0 b A
30	3,6	2,8 ± 1,9 b A	1,7 ± 1,2 b A	7,0 ± 1,2 b A	5,8 ± 2,2 b A	4,5 ± 1,7 b A	3,0 ± 0,0 b C	5,8 ± 0,8 b B	5,8 ± 0,8 b AB	4,0 ± 0,6 b BC	5,8 ± 0,8 b AB
15	3,6	5,3 ± 1,0 b A	5,0 ± 0,0 b A	3,8 ± 2,4 b A	6,5 ± 2,2 b A	2,5 ± 1,4 b A	3,8 ± 0,5 b D	7,8 ± 1,0 b B	8,0 ± 0,0 b B	7,0 ± 1,2 b C	8,0 ± 0,0 b C
0	3,6	18,3 ± 4,3 a C	18,8 ± 5,2 a C	34,5 ± 5,9 a B	42,5 ± 7,8 a C	42,5 ± 10,9 a B	12,0 ± 0,0 a D	25,5 ± 1,7 a C	38,8 ± 3,8 a D	41,3 ± 1,3 a D	47,5 ± 1,4 a C
45	5,4	4,8 ± 1,2 b A	1,3 ± 1,3 b A	8,8 ± 1,3 b A	3,3 ± 2,0 b A	2,8 ± 1,0 b A	5,5 ± 0,9 b AB	7,3 ± 0,8 b A	6,3 ± 1,3 b AB	6,0 ± 1,2 b A	6,3 ± 1,3 b A
30	5,4	4,3 ± 1,7 b A	3,0 ± 3,0 b A	9,5 ± 3,6 b A	3,8 ± 2,4 b A	10,0 ± 10,0 b A	5,3 ± 0,9 b B	6,0 ± 1,2 b B	9,5 ± 1,0 b A	5,8 ± 0,8 b BC	5,3 ± 1,0 b AB
15	5,4	5,3 ± 2,3 b A	3,8 ± 1,3 b A	7,5 ± 3,2 b A	9,5 ± 5,5 b A	8,8 ± 5,9 b A	6,0 ± 0,7 b C	9,5 ± 0,5 b B	8,0 ± 1,8 b B	10,0 ± 0,8 b C	7,5 ± 1,7 b C
0	5,4	24,3 ± 8,7 a BC	38,8 ± 10,9 a B	58,8 ± 12,1 a A	65,0 ± 13,7 a B	68,5 ± 15,0 a A	15,8 ± 0,8 a C	28,8 ± 3,1 a C	48,8 ± 3,8 a C	50,0 ± 4,6 a C	53,8 ± 3,8 a C
45	7,2	5,8 ± 2,1 b A	7,5 ± 3,2 b A	5,8 ± 4,3 b A	10,7 ± 5,2 b A	5,0 ± 3,5 b A	3,8 ± 0,5 c BC	10,0 ± 0,8 b A	7,8 ± 1,0 b A	7,3 ± 1,5 c A	6,8 ± 1,3 c A
30	7,2	5,3 ± 2,5 b A	3,8 ± 2,4 b A	5,0 ± 3,0 b A	5,8 ± 2,2 b A	1,3 ± 1,3 b A	5,5 ± 0,9 c B	9,0 ± 2,1 b AB	8,3 ± 1,2 b A	7,8 ± 1,0 c B	7,3 ± 0,8 c A
15	7,2	6,5 ± 2,0 b A	7,5 ± 3,2 b A	6,8 ± 2,7 b A	10,0 ± 5,0 b A	7,8 ± 5,8 b A	8,5 ± 0,5 b B	10,5 ± 1,0 b AB	14,0 ± 4,0 b B	17,8 ± 3,1 b B	15,8 ± 4,0 b B
0	7,2	30,0 ± 11,0 a AB	37,5 ± 4,8 a B	65,0 ± 7,9 a A	72,5 ± 10,3 a AB	84,8 ± 3,9 a A	19,5 ± 0,5 a B	36,3 ± 1,3 a B	58,8 ± 2,4 a B	63,8 ± 4,3 a B	65,0 ± 4,1 a B
45	9,0	4,5 ± 0,5 b A	10,0 ± 5,0 b A	9,3 ± 1,5 b A	8,5 ± 2,9 b A	5,8 ± 3,3 b A	6,8 ± 0,8 c A	7,8 ± 1,0 c A	9,5 ± 1,0 c A	7,5 ± 1,4 d A	6,0 ± 1,2 c A
30	9,0	6,0 ± 1,2 b A	2,0 ± 2,0 b A	9,5 ± 1,0 b A	4,3 ± 2,8 b A	2,0 ± 2,0 b A	8,5 ± 0,5 c A	13,0 ± 1,7 b A	11,0 ± 0,6 c A	13,5 ± 1,5 c B	8,8 ± 1,3 c A
15	9,0	5,8 ± 2,1 b A	4,5 ± 1,7 b A	8,8 ± 1,5 b A	10,0 ± 3,5 b A	4,5 ± 2,1 b A	10,8 ± 1,5 b A	14,3 ± 1,4 b A	21,8 ± 6,9 b A	30,0 ± 3,5 b A	27,8 ± 5,7 b A
0	9,0	40,0 ± 8,4 a A	51,3 ± 12,1 a A	71,0 ± 14,7 a A	83,0 ± 7,7 a A	77,8 ± 14,3 a A	23,8 ± 1,3 a A	43,8 ± 3,8 a A	68,8 ± 1,3 a A	76,8 ± 2,7 a A	76,3 ± 4,7 a A
45		3,4 ± 0,7 b	4,4 ± 1,4 b	5,6 ± 1,2 b	4,5 ± 1,5 b	3,0 ± 1,0 b	3,8 ± 0,6 c	6,3 ± 0,8 c	5,8 ± 0,8 c	5,1 ± 0,9 c	5,0 ± 0,9 c
30		3,7 ± 0,8 b	2,1 ± 0,9 b	6,2 ± 1,2 b	3,9 ± 1,0 b	3,6 ± 2,0 b	4,5 ± 0,7 c	6,8 ± 1,1 bc	6,9 ± 0,9 c	6,2 ± 1,1 c	5,4 ± 0,8 c
15		4,6 ± 0,9 b	4,2 ± 0,9 b	5,4 ± 1,2 b	7,2 ± 1,8 b	4,7 ± 1,7 b	5,8 ± 0,9 b	8,4 ± 1,1 b	10,4 ± 2,2 b	13,0 ± 2,5 b	11,8 ± 2,5 b
0		22,5 ± 4,3 a	29,3 ± 5,2 a	45,9 ± 7,1 a	52,6 ± 7,7 a	54,7 ± 8,2 a	14,2 ± 1,9 a	26,9 ± 3,5 a	43,0 ± 5,5 a	46,4 ± 6,1 a	48,5 ± 6,2 a
0		0,0 ± 0,0 C	0,0 ± 0,0 C	0,0 ± 0,0 C	0,0 ± 0,0 C	0,0 ± 0,0 C	0,0 ± 0,0 E	0,0 ± 0,0 D	0,0 ± 0,0 E	0,0 ± 0,0 E	0,0 ± 0,0 D
3,6		7,1 ± 2,0 B	7,2 ± 2,2 B	12,3 ± 3,7 B	13,7 ± 4,7 B	12,8 ± 5,1 B	5,4 ± 1,0 D	11,4 ± 2,2 C	14,4 ± 3,7 D	14,2 ± 4,1 D	16,8 ± 4,6 C
5,4		9,6 ± 3,0 AB	11,7 ± 4,8 AB	21,1 ± 6,3 B	20,4 ± 7,5 AB	22,5 ± 8,1 A	8,1 ± 1,2 C	12,9 ± 2,5 C	18,1 ± 4,7 C	17,9 ± 4,9 C	18,2 ± 5,4 C
7,2		11,9 ± 3,8 AB	14,1 ± 3,9 A	20,6 ± 7,0 B	24,8 ± 7,7 A	24,7 ± 9,2 A	9,3 ± 1,6 B	16,4 ± 3,0 B	22,2 ± 5,6 B	24,1 ± 6,1 B	23,7 ± 6,4 B
9,0		14,1 ± 4,3 A	16,9 ± 6,0 A	24,6 ± 7,7 A	26,4 ± 8,7 A	22,5 ± 8,9 A	12,4 ± 1,8 A	19,7 ± 3,8 A	27,8 ± 6,4 A	31,9 ± 7,1 A	29,7 ± 7,5 A
Causas de variação											
Épocas		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Doses		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Épocas x doses		0,0044	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Bloco		0,03	0,0512	0,1043	0,0256	0,03	0,0863	0,2867	0,0782	0,0413	0,0226
CV (%)		89,43	85,04	64,08	58,13	71,44	18,52	24,71	27,57	22,50	26,65

<sup>1</sup>D ias antes da semeadura da soja. <sup>2</sup>Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Duncan (p ≤ 0,05). Letras minúsculas comparam épocas de aplicação e maiúsculas as diferentes doses.

**Tabela 2.** Taxa fotossintética (A), condutância estomática (gs), transpiração (E) e relação entre a concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (Ci/Ca) em plantas de soja cultivar NA 5909 RG semeadas após 45, 30, 15 e 0 dias da aplicação de doses de metsulfuron-methyl, na safra 2018/19.

Fatores		A	gs	E	Ci/Ca
Épocas (DAS) <sup>1</sup>	Doses (g ha <sup>-1</sup> i.a.)	( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	( $\text{mmol mol}^{-1}$ )	( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ )
45	0	15,69 ± 0,62 a A <sup>2</sup>	1,37 ± 0,14 a A	5,53 ± 0,37 a A	0,827 ± 0,022 a AB
30	0	15,69 ± 0,62 a A	1,37 ± 0,14 a A	5,53 ± 0,37 a A	0,827 ± 0,022 a A
15	0	15,69 ± 0,62 a B	1,37 ± 0,14 a A	5,53 ± 0,37 a A	0,827 ± 0,022 a A
0	0	15,69 ± 0,62 a A	1,37 ± 0,14 a B	5,53 ± 0,37 a A	0,827 ± 0,022 a A
45	3,6	14,28 ± 1,58 a A	1,17 ± 0,05 b A	5,51 ± 0,53 ab A	0,809 ± 0,023 ab B
30	3,6	13,43 ± 1,16 a A	1,45 ± 0,17 b A	4,41 ± 0,70 b B	0,829 ± 0,025 a A
15	3,6	16,05 ± 1,81 a AB	1,23 ± 0,08 b A	5,10 ± 0,05 ab AB	0,796 ± 0,029 b B
0	3,6	14,51 ± 1,39 a A	2,24 ± 0,48 a A	6,17 ± 0,43 a A	0,816 ± 0,022 ab A
45	5,4	15,75 ± 1,35 a A	1,36 ± 0,16 a A	5,20 ± 0,28 ab A	0,815 ± 0,011 a AB
30	5,4	14,55 ± 1,68 a A	1,46 ± 0,09 a A	4,82 ± 0,15 ab AB	0,824 ± 0,021 a A
15	5,4	15,56 ± 1,58 a B	1,40 ± 0,06 a A	3,86 ± 0,41 b B	0,805 ± 0,028 a AB
0	5,4	15,34 ± 1,71 a A	1,51 ± 0,20 a B	5,58 ± 0,55 a A	0,819 ± 0,022 a A
45	7,2	14,80 ± 1,27 ab A	1,30 ± 0,17 a A	4,77 ± 0,22 a A	0,837 ± 0,020 a A
30	7,2	14,09 ± 1,63 b A	1,31 ± 0,20 a A	4,64 ± 0,29 a A	0,824 ± 0,018 a A
15	7,2	17,20 ± 0,69 a AB	1,30 ± 0,04 a A	3,84 ± 0,53 a A	0,796 ± 0,027 b B
0	7,2	12,95 ± 1,26 b A	1,53 ± 0,22 a B	4,28 ± 0,64 a A	0,832 ± 0,025 a A
45	9,0	15,53 ± 1,67 b A	1,25 ± 0,08 a A	5,57 ± 0,50 a A	0,818 ± 0,017 ab AB
30	9,0	14,46 ± 1,55 b A	1,46 ± 0,08 a A	5,37 ± 0,25 a AB	0,823 ± 0,020 ab A
15	9,0	18,50 ± 0,78 a A	1,29 ± 0,10 a A	5,62 ± 0,59 a A	0,800 ± 0,029 b B
0	9,0	15,72 ± 0,93 b A	1,15 ± 0,08 a B	4,47 ± 0,93 a B	0,834 ± 0,027 a A
	45	15,21 ± 0,56 b	1,29 ± 0,05 b	5,32 ± 0,17 a	0,821 ± 0,008 a
	30	14,44 ± 0,58 b	1,41 ± 0,06 ab	4,95 ± 0,19 ab	0,826 ± 0,009 a
	15	16,60 ± 0,55 a	1,32 ± 0,04 b	4,79 ± 0,25 b	0,805 ± 0,011 b
	0	14,84 ± 0,54 b	1,56 ± 0,13 a	5,21 ± 0,29 ab	0,826 ± 0,009 a
	0	15,69 ± 0,32 AB	1,37 ± 0,06 A	5,53 ± 0,17 A	0,827 ± 0,010 A
	3,6	14,57 ± 0,72 B	1,52 ± 0,16 A	5,30 ± 0,27 AB	0,812 ± 0,011 B
	5,4	15,30 ± 0,72 AB	1,43 ± 0,06 A	4,87 ± 0,24 BC	0,816 ± 0,010 AB
	7,2	14,76 ± 0,69 AB	1,36 ± 0,08 A	4,38 ± 0,22 C	0,822 ± 0,011 AB
	9,0	16,05 ± 0,69 A	1,29 ± 0,05 A	5,26 ± 0,30 AB	0,819 ± 0,011 AB
Causas de variação					
	Épocas	0,0021	0,0555	0,0994	<0,001
	Doses	0,1163	0,3592	<0,001	0,0862
	Épocas x doses	0,4352	0,0666	0,0125	0,284
	Bloco	<0,001	0,1971	<0,001	<0,001
	CV (%)	11,67	23,89	14,24	1,93

<sup>1</sup>D ias antes da semeadura da soja. <sup>2</sup>Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Duncan ( $p \leq 0,05$ ). Letras minúsculas comparam épocas de aplicação e maiúsculas as diferentes doses.

**Tabela 3.** Fluorescência mínima (F<sub>0</sub>), rendimento quântico potencial do FSII (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>), taxa de transporte de elétrons (ETR), e dissipação fotoquímica (qP), coeficiente de extinção fotoquímico (qL) e dissipação não fotoquímica (NPQ) em plantas de soja cultivar NA 5909 RG semeadas após 45, 30, 15 e 0 dias da aplicação de doses de metsulfuron-methyl, na safra 2018/19.

Épocas (DAS) <sup>1</sup>	Doses (g ha <sup>-1</sup> i.a.)	F <sub>0</sub>	F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub>	ETR	qP	qL	NPQ
45	0	163,7 ± 5,3 a A <sup>2</sup>	0,762 ± 0,026 a A	44,2 ± 11,7 a BC	0,925 ± 0,131 a A	0,623 ± 0,123 a A	1,62 ± 0,09 a AB
30	0	163,7 ± 5,3 a A	0,762 ± 0,026 a A	44,2 ± 11,7 a A	0,925 ± 0,131 a A	0,623 ± 0,123 a A	1,62 ± 0,09 a A
15	0	163,7 ± 5,3 a A	0,762 ± 0,026 a A	44,2 ± 11,7 a A	0,925 ± 0,131 a A	0,623 ± 0,123 a A	1,62 ± 0,09 a A
0	0	163,7 ± 5,3 a A	0,762 ± 0,026 a AB	44,2 ± 11,7 a A	0,925 ± 0,131 a A	0,623 ± 0,123 a A	1,62 ± 0,09 a AB
45	3,6	145,0 ± 8,6 b AC	0,790 ± 0,016 a A	99,4 ± 3,3 a A	0,898 ± 0,180 a A	0,583 ± 0,153 a A	1,68 ± 0,24 ab AB
30	3,6	171,0 ± 9,4 a A	0,756 ± 0,027 b A	35,6 ± 6,8 b A	0,840 ± 0,197 a A	0,528 ± 0,148 a A	2,08 ± 0,41 a A
15	3,6	117,7 ± 5,4 c C	0,772 ± 0,028 ab A	46,8 ± 14,8 b A	0,626 ± 0,042 a A	0,352 ± 0,036 a A	1,62 ± 0,09 b A
0	3,6	147,3 ± 8,6 b AB	0,778 ± 0,024 ab A	33,5 ± 11,4 b A	0,817 ± 0,097 a A	0,527 ± 0,090 a A	2,18 ± 0,34 a A
45	5,4	137,0 ± 14,8 a BC	0,784 ± 0,028 a A	56,2 ± 15,7 a B	0,758 ± 0,103 a A	0,468 ± 0,094 a A	2,18 ± 0,07 a A
30	5,4	121,0 ± 5,0 a B	0,765 ± 0,034 a A	39,0 ± 10,3 a A	0,674 ± 0,014 a A	0,393 ± 0,009 a A	1,90 ± 0,30 a A
15	5,4	116,7 ± 2,3 a C	0,785 ± 0,016 a A	47,0 ± 17,5 a A	0,720 ± 0,024 a A	0,432 ± 0,026 a A	1,35 ± 0,07 b A
0	5,4	126,5 ± 7,3 a BC	0,775 ± 0,019 a A	35,2 ± 10,6 a A	0,721 ± 0,028 a A	0,439 ± 0,024 a A	1,73 ± 0,24 ab AB
45	7,2	161,3 ± 9,9 a AB	0,786 ± 0,023 a A	50,0 ± 16,3 a BC	0,623 ± 0,153 a A	0,388 ± 0,123 a A	2,00 ± 0,06 a A
30	7,2	160,7 ± 12,7 a A	0,785 ± 0,018 a A	46,1 ± 11,0 ab A	0,869 ± 0,106 a A	0,577 ± 0,107 a A	1,82 ± 0,28 a A
15	7,2	116,3 ± 1,3 b BC	0,795 ± 0,013 a A	29,2 ± 6,7 ab A	0,638 ± 0,028 a A	0,359 ± 0,022 a A	1,55 ± 0,05 a A
0	7,2	111,0 ± 1,5 b C	0,783 ± 0,029 a A	23,9 ± 1,6 b A	0,653 ± 0,047 a A	0,375 ± 0,036 a A	1,61 ± 0,03 a AB
45	9,0	127,7 ± 11,4 b C	0,765 ± 0,024 a A	26,0 ± 11,9 ab C	0,636 ± 0,083 a A	0,390 ± 0,074 a A	1,22 ± 0,45 a B
30	9,0	160,0 ± 9,2 a A	0,766 ± 0,026 a A	39,8 ± 12,7 ab A	0,731 ± 0,122 a A	0,457 ± 0,102 a A	1,79 ± 0,22 a A
15	9,0	141,3 ± 14,3 ab AB	0,772 ± 0,016 a A	46,9 ± 17,9 a A	0,777 ± 0,165 a A	0,493 ± 0,140 a A	1,76 ± 0,07 a A
0	9,0	128,3 ± 10,9 b BC	0,742 ± 0,034 a B	19,6 ± 0,1 b A	0,717 ± 0,016 a A	0,432 ± 0,012 a A	1,56 ± 0,02 a B
45		146,9 ± 5,2 a	0,778 ± 0,010 a	55,2 ± 7,52 a	0,768 ± 0,061 a	0,490 ± 0,051 a	1,74 ± 0,12 ab
30		155,3 ± 5,3 a	0,767 ± 0,011 a	40,9 ± 4,34 bc	0,808 ± 0,055 a	0,516 ± 0,047 a	1,84 ± 0,12 a
15		131,1 ± 5,2 b	0,777 ± 0,009 a	42,8 ± 5,92 b	0,737 ± 0,046 a	0,452 ± 0,041 a	1,51 ± 0,05 b
0		135,4 ± 5,0 b	0,768 ± 0,011 a	31,3 ± 3,91 c	0,767 ± 0,037 a	0,479 ± 0,034 a	1,74 ± 0,09 ab
0		163,7 ± 2,4 A	0,762 ± 0,012 B	44,2 ± 5,24 AB	0,925 ± 0,059 A	0,623 ± 0,055 A	1,62 ± 0,04 A
3,6		145,3 ± 6,1 B	0,774 ± 0,011 AB	53,8 ± 8,27 A	0,795 ± 0,069 AB	0,497 ± 0,057 B	1,82 ± 0,16 A
5,4		125,3 ± 4,4 C	0,777 ± 0,012 AB	44,4 ± 6,55 AB	0,718 ± 0,026 B	0,433 ± 0,024 B	1,77 ± 0,12 A
7,2		137,3 ± 7,1 B	0,787 ± 0,010 A	37,3 ± 5,46 B	0,696 ± 0,051 B	0,425 ± 0,044 B	1,75 ± 0,08 A
9,0		139,3 ± 6,2 B	0,761 ± 0,012 B	33,1 ± 6,25 B	0,715 ± 0,051 B	0,443 ± 0,043 B	1,58 ± 0,13 A
Causas de variação							
Épocas		<0,001	0,2599	<0,001	0,7449	0,7091	0,0514
Doses		<0,001	0,0073	0,0106	0,0122	0,011	0,3375
Épocas x doses		<0,001	<0,001	0,0016	0,7621	0,7846	0,0314
Bloco		0,0419	0,7684	<0,001	0,0021	0,0013	0,0017
CV (%)		11,54	2,85	39,09	26,21	35,95	22,08

<sup>1</sup>Dias antes da semeadura da soja. <sup>2</sup>Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Duncan (p ≤ 0,05). Letras minúsculas comparam épocas de aplicação e maiúsculas as diferentes doses.

**Tabela 4.** Número de vagens (NV), número de grãos (NG), peso de mil grãos (PMG, g) e produtividade (PROD, kg ha<sup>-1</sup>) de plantas de soja cultivar NA 5909 RG semeadas após 45, 30, 15 e 0 dias da aplicação de doses de metsulfuron-methyl, em dois anos consecutivos, 2017/18 e 2018/19.

Fatores		2017/18				2018/19			
Épocas (DAS) <sup>1</sup>	Doses (g ha <sup>-1</sup> i.a.)	NV	NG	PMG	PROD	NV	NG	PMG	PROD
45	0	62,1 ± 3,4 a A <sup>2</sup>	115,9 ± 16,8 a A	180,2 ± 6,0 a A	4857,2 ± 158,4 a B	35,4 ± 3,3 a A	81,9 ± 9,0 a A	195,78 ± 1,0 a A	4468,0 ± 81,2 a A
30	0	62,1 ± 3,4 a A	115,9 ± 16,8 a A	180,2 ± 6,0 a A	4857,2 ± 158,4 a B	35,4 ± 3,3 a A	81,9 ± 9,0 a A	195,78 ± 1,0 a A	4468,0 ± 81,2 a A
15	0	62,1 ± 3,4 a A	115,9 ± 16,8 a AB	180,2 ± 6,0 a AB	4857,2 ± 158,4 a B	35,4 ± 3,3 a A	81,9 ± 9,0 a A	195,78 ± 1,0 a A	4468,0 ± 81,2 a A
0	0	62,1 ± 3,4 a B	115,9 ± 16,8 a A	180,2 ± 6,0 a A	4857,2 ± 158,4 a A	35,4 ± 3,3 a C	81,9 ± 9,0 a C	195,78 ± 1,0 a A	4468,0 ± 81,2 a A
45	3,6	42,1 ± 3,9 a B	94,1 ± 2,7 ab A	175,1 ± 3,6 a A	5662,3 ± 291,5 a A	37,9 ± 1,5 a A	88,0 ± 3,6 a A	196,0 ± 3,4 a A	4428,7 ± 120,0 a A
30	3,6	47,8 ± 2,2 a AB	109,5 ± 3,3 ab A	171,1 ± 6,1 a A	5920,6 ± 313,3 a A	40,4 ± 1,5 a A	96,1 ± 3,3 a A	191,4 ± 4,4 a A	4525,2 ± 60,6 a A
15	3,6	42,6 ± 2,0 a B	72,3 ± 9,2 b B	182,3 ± 6,9 a A	5698,1 ± 145,1 a A	39,0 ± 2,5 a A	92,5 ± 5,0 a A	191,3 ± 6,9 a A	4640,2 ± 70,5 a AB
0	3,6	54,7 ± 11,0 a B	134,7 ± 25,0 a A	169,3 ± 4,2 a A	4825,5 ± 229,7 b A	40,2 ± 2,2 a BC	95,0 ± 3,8 a BC	181,8 ± 3,8 b B	4527,1 ± 104,4 a A
45	5,4	45,6 ± 1,1 a B	80,4 ± 4,0,0 b A	164,3 ± 5,1 a A	5474,5 ± 51,9 a AB	35,3 ± 1,5 b A	82,7 ± 1,3 b A	194,7 ± 4,2 a A	4310,4 ± 127,6 a A
30	5,4	41,6 ± 3,9 a B	80,3 ± 3,8 b A	165,1 ± 4,0 a A	5099,3 ± 67,2 ab B	39,9 ± 4,8 b A	94,0 ± 12,0 b A	193,6 ± 4,9 a A	4606,4 ± 89,7 a A
15	5,4	45,3 ± 6,1 a B	86,9 ± 9,1 b AB	159,9 ± 1,5 a C	5868,1 ± 24,2 a A	37,93 ± 1,4 b A	94,8 ± 8,1 b A	193,0 ± 1,6 a A	4602,2 ± 34,7 a AB
0	5,4	40,3 ± 5,8 a C	131,8 ± 39,9 a A	175,7 ± 6,8 a A	4700,9 ± 420,4 b A	47,9 ± 1,9 a A	113,4 ± 3,6 a A	178,7 ± 1,2 b B	4455,3 ± 289,6 a A
45	7,2	48,1 ± 4,0 ab AB	87,9 ± 8,9 a A	165,6 ± 4,0 a A	5730,1 ± 204,2 a A	32,3 ± 0,6 b A	73,9 ± 2,2 b A	193,1 ± 1,1 a A	4644,9 ± 77,7 ab A
30	7,2	53,1 ± 2,8 ab AB	107,9 ± 0,6 a A	169,6 ± 5,3 a A	5498,9 ± 168,2 a AB	38,8 ± 1,1 ab A	90,7 ± 2,1 a A	188,9 ± 1,2 a A	4721,4 ± 120,3 ab A
15	7,2	40,7 ± 4,2 b B	110,1 ± 4,6 a AB	166,6 ± 2,0 a BC	5118,0 ± 62,5 a AB	41,4 ± 2,9 a A	93,9 ± 5,9 a A	189,9 ± 2,6 a A	4970,6 ± 84,4 a A
0	7,2	57,5 ± 7,7 a B	105,6 ± 12,8 a A	169,2 ± 7,0 a A	2678,2 ± 305,0 b B	45,2 ± 1,4 a AB	104,1 ± 4,7 a AB	174,5 ± 4,4 b BC	4430,6 ± 277,1 a A
45	9,0	48,5 ± 5,3 b AB	107,4 ± 4,6 ab A	169,1 ± 5,9 ab A	4988,0 ± 223,9 a AB	33,6 ± 3,6 b A	79,3 ± 8,4 b A	192,1 ± 4,4 a A	4620,3 ± 165,8 a A
30	9,0	45,4 ± 1,7 b B	94,3 ± 5,5 b A	171,7 ± 7,2 ab A	5515,1 ± 76,9 a AB	40,5 ± 1,6 ab A	95,9 ± 3,0 ab A	188,5 ± 3,0 a A	4674,7 ± 92,0 a A
15	9,0	52,7 ± 5,8 b AB	127,2 ± 3,0 ab A	159,8 ± 6,1 b C	5671,6 ± 253,0 a A	40,9 ± 2,3 ab A	98,2 ± 5,1 a A	188,3 ± 4,6 a A	4743,6 ± 65,0 a AB
0	9,0	92,7 ± 3,0 a A	148,7 ± 9,2 a A	183,3 ± 9,3 a A	2832,2 ± 673,5 b B	45,4 ± 1,4 a AB	105,7 ± 3,0 a AB	168,0 ± 4,0 b C	3274,3 ± 344,1 b B
45		49,3 ± 2,1 b	97,1 ± 4,7 b	170,8 ± 2,5 a	5342,4 ± 116,7 a	34,9 ± 1,1 c	81,2 ± 2,6 c	194,5 ± 1,2 a	4494,5 ± 54,8 a
30		50,0 ± 2,0 b	101,6 ± 4,4 b	171,5 ± 2,6 a	5378,2 ± 110,6 a	39,0 ± 1,2 b	91,7 ± 3,1 b	191,6 ± 1,5 a	4599,1 ± 41,9 a
15		48,7 ± 2,6 b	102,5 ± 6,0 b	169,8 ± 3,0 a	5442,6 ± 107,2 a	38,9 ± 1,1 b	92,2 ± 3,0 b	191,7 ± 1,7 a	4684,9 ± 47,4 a
0		61,4 ± 4,8 a	127,3 ± 9,9 a	175,5 ± 3,0 a	3978,8 ± 279,5 b	42,8 ± 1,3 a	100,0 ± 3,2 a	179,7 ± 2,5 b	4231,1 ± 146,5 b
0		62,1 ± 1,5 A	115,9 ± 7,5 AB	180,2 ± 2,7 A	4857,2 ± 70,8 B	35,4 ± 1,5 B	81,9 ± 4,0 B	196,0 ± 0,4 A	4468,0 ± 36,3 B
3,6		46,8 ± 3,0 B	102,6 ± 8,4 AB	174,5 ± 2,7 AB	5526,6 ± 156,3 A	39,4 ± 0,9 A	92,9 ± 1,9 A	190,1 ± 2,5 B	4530,3 ± 45,5 AB
5,4		43,2 ± 2,2 B	94,9 ± 10,8 B	166,2 ± 2,6 C	5285,7 ± 147,5 A	40,3 ± 1,7 A	96,2 ± 4,4 A	190,0 ± 2,3 B	4493,6 ± 80,4 AB
7,2		49,8 ± 2,8 B	102,9 ± 4,3 AB	167,7 ± 2,25 BC	4756,3 ± 327,9 B	39,4 ± 1,4 A	90,6 ± 3,3 A	186,6 ± 2,2 BC	4691,9 ± 87,8 A
9,0		59,8 ± 5,3 A	119,4 ± 6,0 A	171,0 ± 3,9 BC	4751,7 ± 338,9 B	40,1 ± 1,5 A	94,8 ± 3,5 A	184,2 ± 3,0 C	4328,2 ± 181,0 B
Causas de variação									
Épocas		<0,001	0,006	0,3364	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Doses		<0,001	0,0996	0,0029	<0,001	0,0443	0,0095	<0,001	0,0186
Épocas x doses		<0,001	0,2582	0,2418	<0,001	0,2447	0,36	0,0102	<0,001
Bloco		0,6977	0,6617	0,0038	0,8991	0,2589	0,0131	<0,001	0,2345
CV (%)		18,45	26,62	6,10	10,27	12,69	12,90	2,71	6,46

<sup>1</sup>Dias antes da semeadura da soja. <sup>2</sup> Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Duncan (p ≤ 0,05). Letras minúsculas comparam épocas de aplicação e maiúsculas as diferentes doses.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos constantes problemas no manejo de plantas daninhas, como a resistência ou a tolerância de muitas espécies, a dependência quase que exclusiva do método químico no controle e a falta de perspectiva de novas moléculas, entre outras circunstâncias adversas enfrentadas pelos produtores, torna necessário estudos que viabilizem a adoção das ferramentas disponíveis de forma segura do ponto de vista técnico e ambiental.

Ao avaliar os efeitos da aplicação de metsulfuron-methyl em diferentes doses em intervalos de 0 a 45 DAS da semeadura da soja, foi possível observar que esse herbicida é tóxico a cultura, mesmo no maior intervalo entre a aplicação e semeadura da soja na menor dose e para os diferentes tipos de solos. As alterações observadas ocorreram de forma gradativa nas características fisiológicas e morfológicas das plantas de soja expostas ao efeito residual, afetando de forma negativa os componentes de rendimento e a produtividade.

A utilização do metsulfuron-methyl em período inferior ao recomendado de 60 DAS não é seguro para a soja cultivar NA 5909 RG, visto que variáveis morfofisiológicas e componentes de produção foram negativamente afetados nas plantas de soja semeadas 45 dias após a aplicação do herbicida.

Os resultados obtidos evidenciam a importância da continuidade de pesquisas que possam detalhar as respostas de herbicidas residuais sob culturas não-alvo, visando disponibilizar novas informações importantes para a adoção de técnicas de manejo eficazes pelos profissionais e produtores agrícolas, possibilitando uma agricultura sustentável.