

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

CARINE CANTÚ

**MANGANÊS E BIORREGULADOR EM SOJA RR2 MANEJADA COM
GLYPHOSATE**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2018

CARINE CANTÚ

**MANGANÊS E BIORREGULADOR EM SOJA RR2 MANEJADA COM
GLYPHOSATE**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Magister Scientiae.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Torres da Costa

Coorientadores: Prof. Dr. Leandro Paiola Albrecht

Prof. Dr. José Barbosa Duarte Júnior

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2018

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Cantú, Carine
MANGANÊS E BIORREGULADOR EM SOJA RR2 MANEJADA
COM GLYPHOSATE / Carine Cantú; orientador(a),
Antonio Carlos Torres da Costa; coorientador(a),
Leandro Paiola Albrecht, coorientador(a)II, José
Barbosa Duarte Júnior, 2018.
61 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do
Oeste do Paraná, Campus Marechal Cândido Rondon,
Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-
Graduação em Agronomia, 2018.

1. Glycine max (L.). 2. Roundup Ready®. 3.
Fitointoxicação. I. Torres da Costa, Antonio Carlos
. II. Paiola Albrecht, Leandro. III. Barbosa Duarte
Júnior, José. IV. Título.



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46

Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>

Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000

Marechal Cândido Rondon - PR.



PARANÁ

GOVERNO DO ESTADO

CARINE CANTÚ

Manganês e biorregulador em soja RR2 manejada com glyphosate

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Manejo de Culturas, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a) - Antonio Carlos Torres da Costa

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon
(UNIOESTE)

Cláudio Yuji Tsutsumi

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon
(UNIOESTE)

Alfredo Junior Paiola Albrecht

Universidade Federal do Paraná - Campus de Palotina (UFPR)

Marechal Cândido Rondon, 27 de fevereiro de 2018

*À minha família,
que sempre me apoiou e incentivou
para que eu pudesse conquistar
mais um de meus objetivos.
A vocês minha eterna gratidão,*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e pela proteção nesses dois anos de muito trabalho e aprendizado.

Aos meus pais, Vanda e Ildo Cantú e as minhas irmãs Vanessa e Juliana pelo apoio incondicional, dedicação, incentivo e amparo em todos os momentos da minha vida, por me animarem nos momentos mais difíceis e também por auxiliarem no desenvolvimento desta pesquisa. Vocês são indispensáveis em minha vida!

Aos professores que contribuíram para a realização deste trabalho, em especial ao meu orientador Antonio Carlos Torres da Costa e coorientadores Leandro Paiola Albrecht e José Barbosa Duarte Júnior pela paciência, dedicação e incentivo na elaboração deste trabalho, pelos ensinamentos repassados, pela amizade e por estarem sempre dispostos a me ajudar nos momentos em que precisei.

Ao Grupo de Pesquisa em Sistemas Sustentáveis de Produção Agrícola (SUPRA) da UFPR, o qual tive a oportunidade de participar e adquirir muitos conhecimentos práticos. Agradeço aos professores supervisores e aos integrantes do grupo, em especial aos professores Leandro Paiola Albrecht e Alfredo Junior Paiola Albrecht, Luísa Baccin, Gabriela Gayoso e Aline Pertuzati, pela ajuda e empenho depositado para o desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE e ao Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Agronomia pela oportunidade de realização do mestrado.

Às secretárias do PPGA, Leila Dirlene Allievi Werlang e Marciane Neves Francener pela paciência e dedicação ao realizarem seu trabalho.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos e financiamento da pesquisa.

Enfim, agradeço a todos que de alguma maneira fizeram parte da minha formação e contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Muito Obrigada!

“O que vale na vida não é o ponto de partida e sim a caminhada. Caminhando e semeando, no fim terás o que colher”.

Cora Coralina

RESUMO

CANTÚ, Carine, M. S. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Fevereiro de 2018. **Manganês e biorregulador em soja RR2 manejada com glyphosate.** Orientador: Antonio Carlos Torres da Costa. Coorientadores: Leandro Paiola Albrecht e José Barbosa Duarte Júnior.

O cultivo da soja RR (Roundup Ready®) tem aumentado nos últimos anos, e em decorrência disso, mudanças no manejo das plantas daninhas têm sido evidenciadas, com destaque à intensificação do uso de glyphosate. Porém, relatos de agricultores apontam que em alguns casos o herbicida tem causado efeitos fitotóxicos na cultura da soja. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento do manganês (Mn) e do biorregulador na reversão dos possíveis danos causados pelo herbicida glyphosate na soja RR. Foram realizados dois experimentos na safra 2016/17 no município de Palotina, PR. No primeiro experimento o delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em arranjo fatorial 5 x 4, sendo cinco doses de glyphosate (0; 720; 1440; 2160 e 2880 g. e.a. ha⁻¹) e quatro doses de manganês (0; 92,4; 184,8 e 369,6 g ha⁻¹). O glyphosate e o manganês foram aplicados em conjunto via foliar no estágio V4. As variáveis avaliadas foram: índice de clorofila, altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem, número de vagens por planta, massa de mil grãos e produtividade. Os resultados obtidos demonstraram efeito do glyphosate na redução do número de vagens por planta em função do aumento das doses do herbicida. Em relação à aplicação foliar de Mn, houve aumento do número de vagens por planta e da produtividade de grãos, verificando-se que o incremento das doses de Mn até a dose estimada de 261,64 g Mn ha⁻¹, proporcionou aumento da produtividade. No segundo experimento o delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em arranjo fatorial 5 x 4, sendo cinco doses de glyphosate (0, 720, 1440, 2160 e 2880 g. e.a. ha⁻¹) e quatro manejos (aplicação de manganês; aplicação de biorregulador; associação de ambos; sem aplicação). O glyphosate, manganês e o biorregulador foram aplicados em conjunto via foliar no estágio V4. As variáveis avaliadas foram sintomas de fitointoxicação e as demais descritas no primeiro experimento. Nas condições ambientais deste experimento e para o genótipo avaliado, a aplicação de glyphosate na formulação estudada, independente da dose

utilizada, apresentou sintomas de fitointoxicação nas plantas de soja RR e os manejos empregados (biorregulador e Mn) não se mostraram efetivamente como reversores da fitointoxicação. Portanto, a fitointoxicação não interferiu nas características agronômicas e nos componentes de produção avaliados. Apesar dos resultados verificados nesses experimentos, de modo geral a cultivar em estudo se mostrou altamente tolerante ao glyphosate, visto que, o herbicida não apresentou efeito no desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas de soja de tal modo a reduzir a produtividade de grãos. Ressalta-se a necessidade de estudos adicionais com o intuito de avaliar outros genótipos, locais e anos/safra de cultivo a fim de reavaliar o potencial de utilização do manganês e biorregulador no manejo com o glyphosate em soja soja RR2.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.). Roundup Ready®. Fitointoxicação.

ABSTRACT

CANTÚ, Carine, M. S. State University of Western Paraná, in February 2018. **Manganese and bioregulator in RR2 soybean managed with glyphosate.** Advisor: Antonio Carlos Torres da Costa. Co-Advisors: Leandro Paiola Albrecht and José Barbosa Duarte Júnior.

The cultivation of RR (Roundup Ready®) soybean has increased over the past few years and, as a result, changes regarding weed management have been evidenced, with emphasis on the intensification of glyphosate use. However, research results report that in some cases, the herbicide has caused phytotoxic effects on the soybean crop. Thus, the objective of this study was to evaluate the behavior of manganese and of the bioregulator in reversing possible damages caused by glyphosate herbicide in RR soybean. Two experiments were carried out during the 2016/17 crop in Palotina, PR. In the first experiment, the experimental design was a randomized block design in 5 x 4 factorial arrangement with 5 doses of glyphosate (0; 720; 1440; 2160 and 2880 g. e.a. ha⁻¹) and 4 doses of manganese (0; 92,4; 184,8 and 369,6 g ha⁻¹). Glyphosate and manganese were applied together via foliar at V₄ stage. The variables evaluated were: chlorophyll index, plant height, insertion height of the first pod, number of pods, 1.000 grain mass and yield. The results showed the glyphosate effect in reducing the number of pods per plant due to the increase of herbicide doses. Regarding the foliar application of Mn, there was an increase in the number of pods per plant and consequently in yield. It was observed that an increase in Mn doses up to 261,64 g Mn ha⁻¹ increased grain yield. In the second experiment, the experimental design was a randomized block design, in 5 x 4 factorial arrangement with 5 doses of glyphosate (0; 720; 1440; 2160 and 2880 g. e.a. ha⁻¹) and 4 management (manganese application; bioregulator application; association of both; no application). The glyphosate, manganese and bioregulator were applied together via foliar at V₄ stage. The evaluated variables were phytotoxicity symptoms and others described in the first experiment. Under the environmental conditions of this experiment and for the evaluated genotype, the application of glyphosate in the studied formulation, regardless of the dose used, presented very mild phytotoxicity symptoms in the RR soybean plants and the management applied (bioregulator and Mn) was not effective as phytotoxicant reversers. Therefore, phytotoxicity did not interfere in the evaluated agronomic

characteristics and production components. Despite the results verified in these experiments, in general, the cultivar under study showed to be highly tolerant to glyphosate, considering that the herbicide had no effect on the vegetative and reproductive development of soybean plants to the point of reducing grain yield. It is highlighted the need for additional studies in order to evaluate other genotypes, locations and years/crop and to reassess the potential of using manganese and bioregulator in the management with glyphosate in RR2 soybean.

Key words: *Glycine max* (L.). Roundup Ready. Phytotoxicity.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Médias mensais de temperaturas máxima e mínima (°C) e precipitação pluviométrica (mm) acumulada durante o período de condução do experimento, entre setembro de 2016 e fevereiro de 2017 (C.Vale) 15
- Figura 2. Efeito das doses de manganês no número de vagens por planta da cultivar M6210 RR2. Safra 2016/17. Palotina – PR.....20
- Figura 3. Efeito das doses de glyphosate no número de vagens por planta da cultivar M6210 RR2. Safra 2016/17. Palotina – PR.....20
- Figura 4. Efeito das doses de manganês na produtividade de grãos de soja cultivar M6210 RR2. Safra 2016/17. Palotina – PR.....23
- Figura 5. Médias mensais de temperaturas máxima e mínima (°C) e precipitação pluviométrica (mm) acumulada durante o período de condução do experimento, entre outubro de 2016 e fevereiro de 2017 (C.Vale)33
- Figura 6. Regressão linear do percentual de fitointoxicação da cultivar de soja M6210 RR2, sob aplicação de glyphosate nas doses de 0, 720, 1440, 2160 e 2880 g.e.a ha⁻¹ aos 7, 14, 21 e 28 dias após aplicação (DAA). ** significativo a (p≤0,01). Dados transformados em raiz(x+1). Safra 2016/17. Palotina - PR.....37
- Figura 7. Percentual de fitointoxicação da cultivar M6210 RR2, sob aplicação de manganês; biorregulador; manganês + biorregulador aos 21 e 28 dias após aplicação (DAA). **significativo a (p≤0,01) pelo teste de Tukey. Dados transformados em raiz(x+1). Safra 2016/17. Palotina - PR.....37

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Resultado da análise química e física do solo antes da implantação da cultura, na profundidade de 0-20 cm. Palotina - PR, 2016..... 15
- Tabela 2. Médias do índice de clorofila (CLO), altura de plantas (AP), altura de inserção da primeira vagem (AIPV) e massa de mil grãos (MMG) da cultivar de soja M6210 RR2 com aplicação de Mn e glyphosate. Safra 2016/17. Palotina – PR..... 18
- Tabela 3. Resultado da análise química e física do solo antes da implantação da cultura, na profundidade de 0-20 cm. Palotina - PR, 2016..... 33
- Tabela 4. Escala de notas utilizada para avaliação visual de fitotoxicidade de herbicidas..... 35
- Tabela 5. Médias do índice de clorofila (CLO), altura de plantas (AP), altura de inserção da primeira vagem (AIPV), número de vagens (NV), massa de mil grãos (MMG) e produtividade (PROD) da cultivar de soja M6210 RR2 com aplicação de Mn, biorregulador e glyphosate. Safra 2016/17. Palotina – PR..... 40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 IMPORTÂNCIA DA CULTURA DA SOJA	3
2.2 SOJA TRANSGÊNICA TOLERANTE AO GLYPHOSATE	3
2.3 HERBICIDA GLYPHOSATE.....	4
2.4 EFEITO DA APLICAÇÃO DE GLYPHOSATE NA SOJA RR	5
2.5 MANGANÊS E BIORREGULADOR NO MANEJO DA REVERSÃO DE FITOINTOXICAÇÃO	6
REFERÊNCIAS.....	8
3 ARTIGO I - DESEMPENHO AGRONÔMICO DA SOJA RR2 SUBMETIDA À APLICAÇÃO FOLIAR DE MANGANÊS E GLYPHOSATE.....	12
3.1 INTRODUÇÃO	13
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.2.1 Caracterização do local do experimento	14
3.2.2 Tratamentos e delineamento experimental	16
3.2.3 Implantação e condução do experimento.....	16
3.2.4 Avaliações do experimento	17
3.2.5 Análise Estatística.....	17
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
3.4 CONCLUSÕES	24
REFERÊNCIAS.....	25
4 ARTIGO II – MANGANÊS E BIORREGULADOR NO MANEJO DA FITOINTOXICAÇÃO DO GLYPHOSATE EM SOJA RR2.....	29
4.1 INTRODUÇÃO	30
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
4.2.1 Caracterização do local do experimento	32
4.2.2 Tratamentos e delineamento experimental	34
4.2.3 Implantação e condução do experimento.....	34
4.2.4 Avaliações do experimento	35
4.2.5 Análise estatística	36
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4.4 CONCLUSÕES	43

REFERÊNCIAS.....44

1 INTRODUÇÃO GERAL

A soja (*Glycine max* L.) é uma das culturas agrícolas mais importantes para a economia do Brasil, ocupando a posição de segundo maior produtor e primeiro exportador do grão no mundo (CONAB, 2018). Considerando a relevância dessa *commodity*, a biotecnologia vem a contribuir para o desenvolvimento de novas tecnologias no intuito de aumentar a produtividade dessa cultura. A exemplo disso, destaca-se a criação de cultivares de soja transgênica tolerantes ao herbicida glyphosate, conhecidas como soja RR. Em meio a essa tecnologia, verifica-se expressivo aumento do uso desse herbicida no manejo de plantas daninhas em pós-emergência na cultura da soja (FERREIRA et al., 2013).

O glyphosate é classificado como não seletivo e de ação sistêmica, atua inibindo a atividade da enzima 5-enolpiruvil-shiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS), impedindo a síntese dos aminoácidos aromáticos (tirosina, fenilalanina e triptofano) em plantas sensíveis. Já as cultivares de soja RR, apresentam a enzima CP4-EPSPS proveniente da *Agrobacterium* sp., que confere a tolerância a esse herbicida (RODRIGUES e ALMEIDA, 2005; MONQUERO, 2005).

No entanto, apesar da tolerância da soja ao glyphosate, vários trabalhos relatam efeitos prejudiciais do herbicida no desenvolvimento da cultura. Santos et al. (2007) observaram redução no número de nódulos e no rendimento de grãos com o uso de glyphosate. Da mesma forma, Merotto Júnior et al. (2015) observaram que a aplicação de glyphosate na soja resultou em diminuição no rendimento de grãos e Albrecht et al. (2011) verificaram redução do número de vagens por planta com o uso do herbicida.

Em estudos realizados por Agostinetto et al. (2009), Matsuo et al. (2009), Ferreira et al. (2013) e Albrecht et al. (2014), observou-se sintomas de fitointoxicação na soja RR após a aplicação do glyphosate. Esses sintomas verificados na cultura após a aplicação do herbicida são conhecidos como *yellow flashing* ou amarelecimento das folhas superiores (ZOBIOLE et al., 2010a).

Esses efeitos também foram observados por Zobiole et al. (2010a e b) e Krenchinski et al. (2017), que além disso verificaram que o glyphosate causou redução no índice de clorofila da soja, o qual pode estar associado a uma deficiência induzida de manganês (BOTT et al., 2008; ZOBIOLE et al., 2010a; BASSO et al.,

2011). Esse elemento mostra-se essencial na síntese de clorofila, fotossíntese e na ativação de enzimas (MALAVOLTA, 2006).

Essa deficiência pode ser causada por uma menor eficiência de acúmulo do micronutriente na planta (ANDRADE e ROSOLEM, 2011). Corroborando essa observação, Zobiolo et al. (2010c) e Serra et al. (2011), ao avaliarem a aplicação de doses de glyphosate na soja RR, verificaram redução do teor de Mn na planta com a aplicação do herbicida. De maneira similar, Cavalieri et al. (2012) também verificaram que o acúmulo de Mn na soja transgênica é alterado em função da aplicação de diferentes formulações de glyphosate.

Em meio a esses resultados, Zobiolo et al. (2010a) concluíram que as recomendações nutricionais para o cultivo de soja RR devem considerar a eficiência nutricional reduzida imposta pela transgenia RR.

Em decorrência do estresse causado na soja devido ao efeito fitotóxico de herbicidas, foram desenvolvidas alternativas que possibilitam amenizar ou reverter o nível de dano nas plantas, dentre elas destaca-se os biorreguladores vegetais que possuem ação promotora no desenvolvimento da planta (CAMPOS et al., 2008).

Considerando a relevância da soja RR e o seu manejo com o herbicida glyphosate, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos do manganês e do biorregulador na reversão da fitointoxicação de glyphosate na soja RR2.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 IMPORTÂNCIA DA CULTURA DA SOJA

A soja é mundialmente considerada como uma das principais fontes de proteína e óleo vegetal e é amplamente utilizada na alimentação humana e animal (SOUZA et al., 2010). Além disso, Ferrari et al. (2005), apontam essa cultura como grande potencial de fonte alternativa de energia, por meio da produção de biocombustíveis.

No agronegócio mundial, a produção de soja está entre as atividades econômicas que apresentaram crescimento mais expressivo nas últimas décadas. Isso pode ser atribuído ao desenvolvimento e estruturação de um sólido mercado internacional relacionado com o comércio de produtos do complexo soja (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2011).

De acordo com dados da CONAB (2018) a cultura da soja é apontada como principal responsável pela expansão da área produtiva no Brasil. No contexto mundial, o Brasil se posiciona como o segundo maior produtor e o primeiro exportador do grão. O estado do Mato Grosso, destaca-se como o maior produtor de soja do país com produção de 30,11 milhões de toneladas e uma produtividade média de 3.155 kg ha⁻¹. O Paraná é o segundo maior produtor nacional com 18,27 milhões de toneladas e produtividade média de 3.350 kg ha⁻¹.

Em virtude dessa cultura representar um dos elementos mais fortes na economia brasileira, é importante analisar os fatores que limitam o potencial produtivo da soja e empregar práticas relacionadas ao manejo correto dessa cultura (CORREIA, 2013).

2.2 SOJA TRANSGÊNICA TOLERANTE AO GLYPHOSATE

O surgimento da biotecnologia moderna vem proporcionando aumento, tanto qualitativo quanto quantitativo, do que é produzido anualmente, a fim de atender à crescente demanda por alimento no mundo (MELHORANÇA FILHO et al., 2010).

Considerada como uma importante ferramenta para o desenvolvimento de novas cultivares de plantas e no estudo da genética dos mais diferentes organismos,

a biotecnologia é utilizada com o propósito de desenvolver cultivares para todas as regiões e aumentar suas produtividades (STEFANELLO et al., 2011).

De acordo com Silveira et al. (2005), a biotecnologia consiste em um conjunto de técnicas de manipulação de seres vivos ou parte destes para fins econômicos. Esse conceito inclui técnicas modernas de modificação direta do DNA de uma planta ou de um organismo vivo qualquer, de forma a alterar precisamente ou introduzir novas características desse organismo.

Com o conhecimento e domínio das técnicas relacionadas à biotecnologia, desenvolveu-se a soja geneticamente modificada com tolerância ao herbicida glyphosate, apresentando a tecnologia conhecida como Roundup Ready (RR) (MONQUERO, 2005).

As cultivares de soja RR possuem a enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS), isolado da bactéria *Agrobacterium tumefaciens* estirpe CP4. Assim, a soja RR é capaz de metabolizar o glyphosate, tornando-se imune aos efeitos destrutivos e letais desse herbicida (SANTOS et al., 2007).

2.3 HERBICIDA GLYPHOSATE

Glyphosate é o termo geralmente empregado para indicar tanto o ácido como seus sais, pois é reconhecido que eles são biologicamente equivalentes. Em 1964, desenvolveu-se o herbicida glyphosate (N-fosfonometil glicina), inicialmente como potencial quelante industrial e em 1971 passou a ser utilizado como herbicida (YAMADA; CASTRO, 2007).

O mecanismo de ação do herbicida glyphosate é capaz de inibir a enzima EPSPS (5 enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase), impedindo a síntese dos aminoácidos aromáticos e evitando a transformação do chiquimato em corismato (SHANER; BRIDGES, 2003 apud SANTOS et al., 2007).

Na planta, o herbicida é absorvido pelas folhas e transportado por toda a planta, agindo nos vários sistemas enzimáticos, inibindo o metabolismo de aminoácidos. As plantas que recebem aplicação de glyphosate morrem lentamente em poucos dias ou semanas e nenhuma parte do vegetal sobrevive devido ao transporte por todo o sistema (AMARANTE JÚNIOR et al., 2002).

Segundo Bervalde et al. (2010), a aplicação de glyphosate é recomendada na cultura da soja transgênica no estágio de 20 a 30 dias após a emergência, uma vez

que se aplicado antes desse período pode afetar a germinação da semente e a emergência das plântulas de soja, provocando a morte das plantas.

2.4 EFEITO DA APLICAÇÃO DE GLYPHOSATE NA SOJA RR

Devido à grande importância da soja transgênica no cenário agrícola, são observadas pesquisas voltadas à obtenção de informações com relação aos efeitos causados pela utilização do glyphosate, aplicado na soja RR (ALBRECHT; ALBRECHT; VICTORIA FILHO, 2013).

Existem relatos de agricultores sobre o possível efeito negativo do glyphosate no desenvolvimento inicial de plantas de soja, para o qual esse produto é recomendado (SANTOS et al., 2007; ZABLOTOWICZ e REDDY, 2007). Zobiolo et al. (2011) observaram em estudo que a taxa fotossintética e o índice SPAD apresentaram redução proporcionais às doses de glyphosate aplicadas. Esses resultados estão de acordo com o relato feito por Krausz e Young, (2001) que algumas cultivares de soja mesmo tolerantes ao herbicida glyphosate podem apresentar sintomas de fitointoxicação após a aplicação do produto, dentre esses sintomas destaca-se a clorose causada nas folhas.

De acordo com Rodrigues e Almeida (2011), o efeito do herbicida glyphosate pode estar relacionado ao aumento excessivo da dose aplicada, à aplicação de outras formulações de glyphosate não recomendadas para a cultura, ou ainda ao efeito de outras substâncias químicas naturais ou sintéticas, como aleloquímicos ou surfactantes. Diversas formulações de glyphosate são disponibilizadas no mercado, que apesar de apresentarem o mesmo mecanismo de ação, os produtos possuem na composição, diferentes sais, sendo os principais: sal potássico, de isopropilamina e de amônio.

Vários trabalhos são encontrados na literatura relatando efeitos fitotóxicos na soja RR em função de diferentes formulações, doses e épocas de aplicação do glyphosate. Santos et al. (2007) observaram que o herbicida a base do sal de isopropilamina foi o mais prejudicial às plantas. No estudo de Krenchinski et al. (2013) foi observado que a dose de 2160 g e.a ha⁻¹ causaram severas injúrias em cultivares de soja, ocasionando fitotoxicidade de até 43,75%. O maior percentual de fitointoxicação na soja foi observado com a dose 2880 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate (FERREIRA et al., 2013). Em estudos Zobiolo et al. (2010a, b, c) e Zobiolo et al.

(2011) observaram maior injúria nas plantas de soja com aplicação única de glyphosate quando comparada à aplicação sequencial. Reddy e Zablatowing (2003) concluíram que a soja tolerante ao glyphosate pode sofrer injúrias ocasionadas pelo herbicida, sob determinadas condições e formulações do sal de glyphosate.

Outras pesquisas demonstram que com a aplicação de glyphosate na soja RR podem ocorrer redução no número de vagens (ALBRECHT et al., 2011; MELHORANÇA FILHO et al., 2010), no rendimento de grãos (MEROTTO JÚNIOR et al., 2015; SANTOS et al., 2007), altura de plantas (ALBRECHT et al., 2014), no conteúdo de clorofila (ZOBIOLE et al., 2010b, c) e no teor de Mn na planta (Serra et al., 2011; ZOBIOLE et al., 2010e).

Em contrapartida, em estudo realizado por Correia e Durigan (2007), que avaliaram diferentes formulações de glyphosate, não foram observados sintomas visuais de fitotoxicidade na soja RR oriundos da aplicação do herbicida. Esse resultado corrobora com o obtido por Stefanello et al. (2011), demonstrando que as cultivares avaliadas no estudo possuem alta tolerância ao glyphosate. Albrecht et al. (2014) não verificaram sintomas visuais de fitotoxicidade no período reprodutivo da soja, mesmo com aplicação de altas doses do herbicida.

Diante dos resultados divergentes encontrados na literatura em relação aos efeitos fitotóxicos do glyphosate nas plantas de soja, é possível que a fitotoxicidade observada na soja RR, seja decorrente da dose, dos ingredientes inertes existentes nas diversas formulações comerciais do herbicida, de fatores ambientais, associado a cultivares de soja RR mais sensíveis a esses compostos, devido as características diferenciadas de cada cultivar (STEFANELLO et al., 2011).

2.5 MANGANÊS E BIORREGULADOR NO MANEJO DA REVERSÃO DE FITOINTOXICAÇÃO

O manganês (Mn) depois do ferro, é considerado o micronutriente mais exigido pelas principais culturas brasileiras, visto que esse micronutriente participa de importantes processos na planta, como por exemplo: da fotossíntese, no controle hormonal e no metabolismo do nitrogênio, apresentando como principal função a ativação de enzimas. Além disso, atua como um importante cofator em reações chave envolvidas na biossíntese de metabólitos secundários da planta associados com a via do ácido chiquímico (MALAVOLTA, 2006).

O Mn é essencial na síntese de clorofila e a sua deficiência pode acarretar em diminuição da fotossíntese. O sintoma típico de deficiência desse micronutriente é a clorose internerval em folhas novas, seguido de branqueamento. Já os sintomas de excesso de Mn, a princípio são apresentados pela deficiência de ferro induzida, por manchas necróticas ao longo do tecido condutor, encarquilhamento de folhas largas e menor nodulação nas leguminosas (MALAVOLTA et al., 1989).

De acordo com Stefanello (2011), por meio de evidências experimentais observa-se que a aplicação de glyphosate em soja RR pode induzir a deficiência de Mn nessa cultura. Para Gordon (2007) o gene adicionado a soja transgênica tolerante ao glyphosate, pode ter alterado alguns processos fisiológicos da planta, retardando a absorção e a translocação do Mn. E ainda, ter efeito adverso nas populações de microrganismos do solo promovendo uma deficiência em relação à absorção pelas raízes, que exigiria uma adição suplementar desse micronutriente para evitar possível deficiência e comprometimento da produtividade da soja. Diante desse contexto, Merotto Júnior et al. (2015) relatam que com o objetivo de minimizar os possíveis efeitos negativos do glyphosate na soja RR, tem se realizado a adubação foliar com micronutrientes.

Assim como, outras alternativas vem sido empregadas no manejo da cultura da soja que possibilitam amenizar ou reverter o nível de dano nas plantas, causado pelos herbicidas. Os reguladores vegetais tem-se mostrado cada vez mais importantes na agricultura, promovendo o crescimento e aumento na produtividade das culturas, destacando-se principalmente o uso em culturas de alto valor econômico, como por exemplo na soja. No entanto, ainda são poucos os estudos sobre o uso destas substâncias em plantas sob estresse (OLIVEIRA et al., 2016).

Os reguladores vegetais são produtos sintéticos que possuem as mesmas características que os hormônios vegetais, podendo incrementar o crescimento e o desenvolvimento vegetal e também com capacidade de favorecer o desenvolvimento ou evitar as limitações na produção (MOTERLE et al., 2011; ALBRECHT et al., 2012). Além disso, promovem o equilíbrio hormonal das plantas, beneficiando a expressão do seu potencial genético (BATISTA FILHO et al., 2013).

REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, A. J. P.; ALBRECHT, L. P.; KRENCHINSKI, F. H.; PLACIDO, H. F.; LORENZETTI, J. B.; VICTORIA FILHO, R.; BARROSO, A. A. M. Behavior of RR soybeans subjected to different formulations and rates of glyphosate in the reproductive period. **Planta Daninha**, v.32, n.4, p.851-859, 2014.
- ALBRECHT, L. P.; ALBRECHT, A. J. P.; VICTORIA FILHO, R. Soja RR e o glyphosate. In: ALBRECHT, L. P.; MISSIO, R. F. **Manejo de cultivos transgênicos**, Curitiba: UFPR, 2013. 139 p. cap. 2. p. 25-45.
- ALBRECHT, L. P.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; ÁVILA, M. R.; ALBRECHT, A. J. P. Biorregulador na composição química e na produtividade de grãos de soja. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.4, p.774-782, 2012.
- ALBRECHT, L. P.; BARBOSA, A. P.; SILVA, A. F. M.; MENDES, M. A.; MARASCHI-SILVA, L. M.; ALBRECHT, A. J. P. Desempenho da soja Roundup Ready sob aplicação de glyphosate em diferentes estádios. **Planta Daninha**, v.29, n.3, p.585-590, 2011.
- AMARANTE JUNIOR, O. P.; SANTOS, T. C. R.; BRITO, N. M.; RIBEIRO, M. L. Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. **Química Nova**, v.25, p.589-593, 2002.
- BASSO, C. J.; SANTI, A. L.; LAMEGO, F. P.; GIROTTO, E. Aplicação foliar de manganês em soja transgênica tolerante ao glyphosate. **Ciência Rural**, v.41, n.10, p.1726-1731, 2011.
- BATISTA FILHO, C. G.; MARCO, K.; DALLACORT, R.; SANTI, A.; INOUE, M. H.; SILVA, E. S. Efeito do Stimulate® nas características agronômicas da soja. **Acta Iguazu**, v.2, n.4, p.76-86, 2013.
- BERVALD, C. M. P.; MENDES, C. R.; TIMM, F. C.; MORAES, D. M.; BARROS, A. C. S. A.; PESKE, S. T. Desempenho fisiológico de sementes de soja de cultivares convencional e transgênica submetidas ao glifosato. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n.2, p.9-18, 2010.
- CAMPOS, M. F.; ONO, E. O.; BOARO, C. S. F.; RODRIGUES, J. D. Análise de crescimento em plantas de soja tratadas com substâncias reguladoras. **Revista Biotemas**, v.21, n.3, p.53-63, 2008.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos - Safra 2017/18**. Quarto levantamento, p.1-132, janeiro 2018.
- CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C. Seletividade de diferentes herbicidas à base de glyphosate a Soja RR. **Planta Daninha**, v.25, n.2, p.375-379, 2007.

CORREIA, A. M. P. **Desempenho de soja transgênica ao glifosato e seu efeito na nodulação e produtividade da cultura.** 2013. 63 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2013.

FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja – Taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, v.28, n.1, p.19-23, fev. 2005.

FERREIRA, R. L.; SILVA, A. G.; SIMON, G. A.; TEIXEIRA, I. R.; MARTINS, P. D. S. Glyphosate em pós-emergência na soja Roundup Ready. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.12, n.2, p.151-161, 2013.

GORDON, B. Manganese nutrition of glyphosate-resistant and conventional soybeans. **Better Crops**, v.91, n.4, p.12-13, 2007.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. **Evolução e perspectivas de desempenho econômico associadas com a produção de soja nos contextos mundial e brasileiro.** Londrina: Embrapa Soja, 2011. – Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937; n.319.

JOLLEY, V. D.; HANSEN, N. C.; SHIFFLER, A. K. Nutritional and management related interactions with iron-deficiency stress response mechanisms. **Soil Science Plant Nutrition**, v.50, n.7, p.973-981, 2004.

KRAUSZ, R. F.; YOUNG, B. G. Response of Glyphosate-Resistant Soybean (*Glycine max*) to Trimethylsulfonium and Isopropylamine Salts of Glyphosate. **Weed Technology**, v.15, n.4, p.745-749, 2001.

KRENCHINSKI, F. H.; ALBRECHT, L. P.; ALBRECHT, A. J. P.; CESCO, V. J. S.; RODRIGUES, D. M.; PORTZ, R. L.; ZOBIOLE, L. H. S. Glyphosate affects chlorophyll, photosynthesis and water use of four Intacta RR2 soybean cultivars. **Acta Physiologiae Plantarum**, 39:63, 2017

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.

MELHORANÇA FILHO, A. L.; MARTINS, D.; PEREIRA, M. R. R.; ESPINOSA, W. R. Efeito de glyphosate sobre características produtivas em cultivares de soja transgênica e convencional. **Bioscience Journal**, v.26, n.3, p.322-333, 2010.

MEROTTO JÚNIOR, A.; WAGNER, J.; MENEGUZZI, C. Efeitos do herbicida glifosato e da aplicação foliar de micronutrientes em soja transgênica. **Bioscience Journal**, v.31, n.2, p.499-508, 2015.

MONQUERO, P. A. Plantas transgênicas resistentes aos herbicidas: situação e perspectivas. **Bragantia**, v.64, n.4, p.517-531, 2005.

MOTERLE, L. M.; SANTOS, R. F.; SCAPIM, C. A.; BRACCINI, A. L.; BONATO, C. M.; CONRADO, T. Efeito de biorregulador na germinação e no vigor de sementes de soja. **Revista Ceres**, v.58, n.5, p. 651-660, 2011.

OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; CUNHA, R. C.; SOUZA, M. W. L.; LIMA, L. A. Uso de bioestimulante como agente amenizador do estresse salino na cultura do milho pipoca. **Revista Ciência Agrônômica**, v.47, n.2, p.307-315, 2016.

REDDY, K. N.; ZABLOTOWICZ, R. M. Glyphosate-resistant soybean response to various salts of glyphosate and glyphosate accumulation in soybean nodules. **Weed Science**, v.51, n.4, p.496–502, 2003.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 6 ed. Londrina, 2011. 697 p.

SANTOS, J. B.; FERREIRA, E. A.; REIS, M. R.; SILVA, A. A.; FIALHO, C. M. T.; FREITAS, M. A. M. Avaliação de formulações de glyphosate sobre soja roundup ready. **Planta Daninha**, v.25, n.1, p.165-171, 2007.

SHANER, D.; BRIDGES, D. Inhibitors of aromatic amino acid biosynthesis (glyphosate). In: **Herbicide action course**. West Lafayette: Purdue University, p.514-529, 2003.

SILVEIRA, J. M. F. J.; BORGES, I. C.; BUAINAIN, A. M. Biotecnologia e agricultura: da ciência e tecnologia aos impactos da inovação. **São Paulo em Perspectiva**, v.19, n.2, p.101-114, 2005.

SOUZA, M. O.; MARQUES, D. V.; SOUZA, G. S.; MARRA, R. O complexo da soja: aspectos descritivos e previsões. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, v.2, n.1, p.1-86, 2010.

STEFANELLO, F. F.; MARCHETTI, M. E.; SILVA, E. F.; STEFANELLO, J.; DORETO, R. B. S.; NOVELINO, J. O. Efeito de glyphosate e manganês na nutrição e produtividade da soja transgênica. **Semina: Ciências Agrárias**, v.32, n.3, p.1007-1014, 2011.

YAMADA, T.; CASTRO, P. R. C. Efeitos do glifosato nas plantas: implicações fisiológicas e agrônômicas. Encarte técnico. **Informações Agrônômicas**, n.119, 32p, 2007.

ZABLOTOWICZ, R. M.; REDDY, K. N. Nitrogenase activity, nitrogen content, and yield responses to glyphosate in glyphosate-resistant soybean. **Crop Protection**, v.26, p.370-376, 2007.

ZOBIOLE, L. H. S.; OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; BIFFE, D. F. Prevenção de injúrias causadas por glyphosate em soja RR por meio do uso de aminoácido. **Planta Daninha**, v.29, n.1, p.195-205, 2011.

ZOBIOLE, L. H. S.; OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; BIFFE, D. F.; KREMER, R. J. Uso de aminoácido exógeno na prevenção de injúrias causadas por glyphosate na soja RR. **Planta Daninha**, v.28, n.3, p.643-653, 2010a.

ZOBIOLE, L. H. S.; OLIVEIRA JR., R. S.; HUBER, D. M.; CONSTANTIN, J.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA JR., A. Glyphosate reduces shoot concentration of mineral nutrients in glyphosate resistant soybeans. **Plant and Soil**, v.328, n.1, p.57-69, 2010b.

ZOBIOLE, L. H. S.; OLIVEIRA JR., R. S.; KREMER, R. J.; CONSTANTIN, J.; BONATO, C. M.; MUNIZ, A. S. Water use efficiency and photosynthesis of glyphosate resistant soybean as affected by glyphosate. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.97, n.3, p.182-193, 2010c.

ZOBIOLE, L. H. S.; OLIVEIRA JR., R. S.; KREMER, R. J. CONSTANTIN, J.; YAMADA, T.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA JR., A. Effect of glyphosate on symbiotic N₂ fixation and nickel concentration in glyphosate resistant soybeans. **Applied Soil Ecology**, v.44, n.1, p.176-180, 2010d.

ZOBIOLE, L. H. S.; OLIVEIRA JR., R. S.; KREMER, R. J.; MUNIZ, A. S.; OLIVEIRA JR., A. Nutrient accumulation and photosynthesis in glyphosate resistant soybeans is reduced under glyphosate use. **Journal of Plant Nutrition**, v.33, n.1, p.1860-1873, 2010e.

3 ARTIGO I - DESEMPENHO AGRONÔMICO DA SOJA RR2 SUBMETIDA À APLICAÇÃO FOLIAR DE MANGANÊS E GLYPHOSATE

RESUMO

A soja RR é tolerante ao glyphosate, no entanto, há relatos de que o herbicida pode ocasionar deficiência momentânea de manganês (Mn) na cultura, podendo ser indicada a aplicação foliar suplementar desse micronutriente com o intuito de corrigir potenciais danos provocados pelo glyphosate. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar o desempenho agrônomo da soja RR em função da aplicação de glyphosate e manganês. O experimento foi realizado na safra 2016/17 em uma propriedade rural no município de Palotina – PR, com delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 5 x 4, sendo cinco doses de glyphosate (0; 720; 1440; 2160 e 2880 g.e. a. ha⁻¹) e quatro doses de manganês (0; 92,4; 184,8 e 369,6 g. ha⁻¹). O glyphosate e o manganês foram aplicados em conjunto via foliar no estágio V4. As variáveis avaliadas foram índice de clorofila, altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem, número de vagens, massa de mil grãos e produtividade. A aplicação de glyphosate na soja transgênica causou redução do número de vagens por planta, em função do aumento das doses do herbicida. Em relação à aplicação foliar de Mn, houve aumento no número de vagens por planta e na produtividade, verificando que o incremento das doses de Mn até a dose estimada de 261,64 g Mn ha⁻¹ proporciona aumento da produtividade de grãos.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.). Roundup Ready®. Micronutriente.

AGRONOMIC PERFORMANCE OF RR2 SOYBEAN SUBMITTED TO FOLIAR APPLICATION OF MANGANESE AND GLYPHOSATE

ABSTRACT

The RR soybean is tolerant to glyphosate, however there are reports that the herbicide may cause momentary deficiency of manganese (Mn) in the crop, when supplementary foliar applications of this micronutrient might be indicated to correct potential damages caused by glyphosate. Thus, this study aimed to evaluate the agronomic performance of RR soybean due to the application of glyphosate and

manganese. The experiment was performed during the 2016/17 crop in a rural property in Palotina - PR, with experimental design in randomized blocks with four repetitions. The treatments were arranged in a 5 x 4 factorial arrangement with 5 doses of glyphosate (0; 720; 1440; 2160 e 2880 g. e.a. ha⁻¹) and 4 doses of manganese (0; 92,4; 184,8 e 369,6 g. ha⁻¹). Glyphosate and manganese were applied together via foliar at V4 stage. The variables evaluated were: chlorophyll index, plant height, insertion height of the first pod, number of pods, 1.000 grain mass and yield. The application of glyphosate in transgenic soybeans caused a reduction in the number of pods per plant due to the increased doses of herbicide. Regarding the foliar application of Mn, there was an increase in the number of pods per plant and consequently in yield. It was observed that an increase in Mn doses up to 261,64 g Mn ha⁻¹, rises grain yield.

Key word: *Glycine max* (L.). Roundup Ready®. Micronutrient.

3.1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L.) é considerada um dos principais produtos agrícolas com expressiva importância para a economia do país. O Brasil ocupa a posição de segundo maior produtor e primeiro exportador do grão no mundo. A produção de soja atualmente é apontada como principal responsável pela expansão da área produtiva (CONAB, 2018).

Zobiole et al. (2010a), relacionaram o aumento da área cultivada com soja transgênica tolerante ao herbicida glyphosate (RR) no Brasil, ao resultado do benefício dessa tecnologia no manejo de plantas daninhas. No entanto, a expansão da área de soja RR aumentou significativamente o uso de glyphosate e conseqüentemente, em alguns casos, têm sido observados sintomas de amarelecimento nas folhas superiores da soja transgênica.

O amarelecimento causado na soja RR é consequência da imobilização de ferro e manganês pelo glyphosate, e possivelmente, a duração desse sintoma dependente da habilidade das plantas de repor os níveis adequados destes elementos por meio da absorção radicular ou foliar (JOLLEY; HANSEN; SHIFFLER, 2004). Essa injúria é perceptível em nível de campo e muitos produtores e técnicos

estão associando esse sintoma visual à uma possível deficiência de Mn (BASSO et al., 2011).

Com o intuito de minimizar os possíveis efeitos negativos do glyphosate na cultura, Merotto Júnior et al. (2015) relataram que a adubação foliar com micronutrientes tem sido utilizada em lavouras de produção de soja para suprir tal deficiência provocada.

Com base na hipótese de que a aplicação de glyphosate associado ao manganês pode minimizar os efeitos negativos do herbicida na cultura, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho agrônômico da soja RR em função da aplicação de glyphosate associado ao manganês.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Caracterização do local do experimento

O experimento foi conduzido em campo, no ano agrícola de 2016/2017 em uma área no município de Palotina - PR, situada nas coordenadas geográficas de 24°16'49"S e 53°42'41"W, com altitude de 321 metros. Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante local é Cfa, subtropical, com temperatura média anual variando de 17 e 19 °C e precipitações de 1200 e 2000 mm, distribuídos durante o ano (CAVIGLIONE et al., 2000). Os dados de precipitação pluvial (mm) e temperaturas máxima e mínima (°C), referentes ao período da condução do experimento, estão representadas na Figura 1, por decêndios.

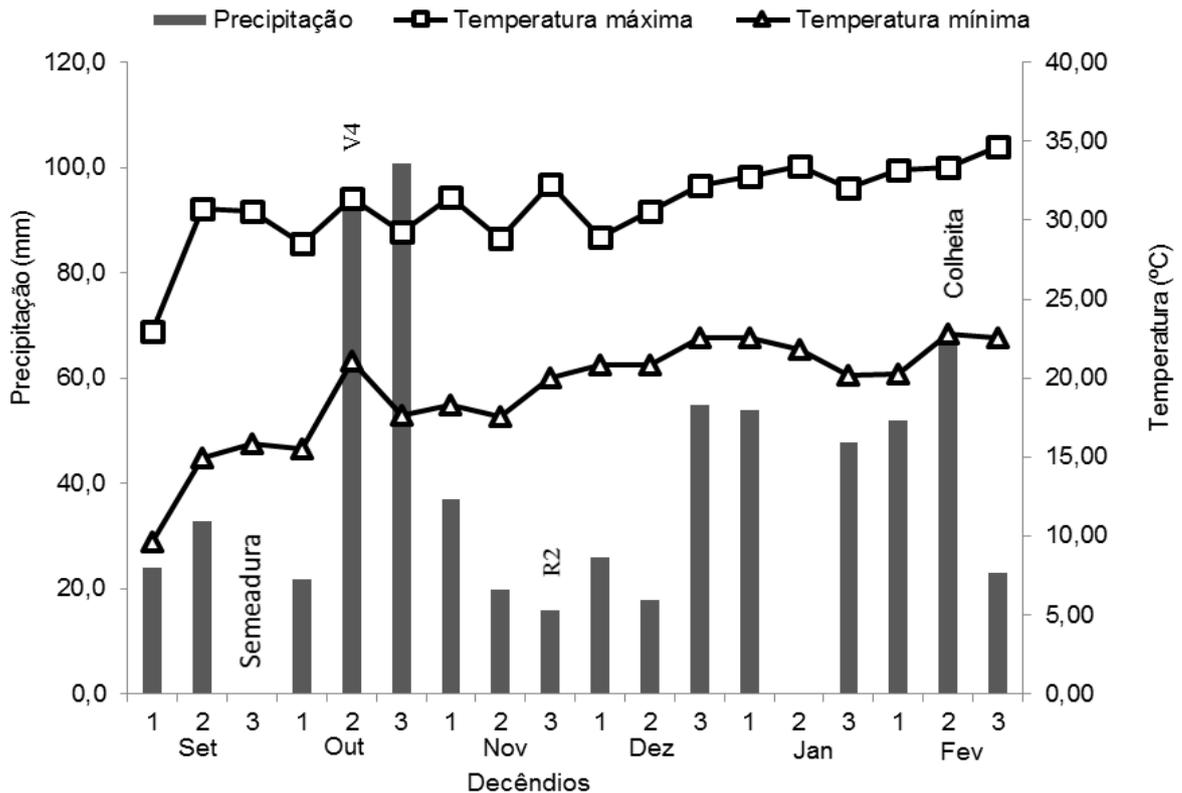


Figura 1. Médias mensais de temperaturas máxima e mínima (°C) e precipitação pluviométrica (mm) acumulada durante o período de condução do experimento, entre setembro de 2016 e fevereiro de 2017 (C.Vale)

Fonte: Campo Experimental da Cooperativa C.Vale, Palotina – PR, 2017

O solo da área é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, de textura muito argilosa (SANTOS et al., 2013). O resultado da análise química e física (amostra 0 – 20 cm de profundidade) realizada antes da instalação do experimento estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultado da análise química e física do solo antes da implantação da cultura, na profundidade de 0-20 cm. Palotina - PR, 2016

pH	P	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	
CaCl ₂	H ₂ O	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³			mg dm ⁻³				
5,10	5,80	15,95	0,00	6,12	2,29	0,43	28,12	79,00	6,31	8,07
Areia			Silte			Argila				
----- % -----										
17,5			16,25			66,25				

3.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental empregado foi em blocos casualizados, em arranjo fatorial 5 x 4, com 4 repetições. Foram avaliadas cinco doses de glyphosate (0, 720, 1440, 2160 e 2880 g e.a. ha⁻¹) de um produto comercial, cuja formulação corresponde a 400,80 g L⁻¹ do sal de isopropilamina de glyphosate e 297,75 g L⁻¹ do sal de potássio de glyphosate, e quatro doses de manganês (0; 92,4; 184,8 e 369,6 g ha⁻¹) de um produto comercial com 92,4 g L de manganês quelatizado.

3.2.3 Implantação e condução do experimento

Foi utilizada no experimento, a cultivar de soja Monsoy 6210 com a tecnologia Intacta RR2 Pro[®], semeada no dia 22 de setembro de 2016 no sistema de semeadura direta, com espaçamento entre linhas de 0,45 cm, a uma profundidade média de 3 cm, com população de 266.667 plantas ha⁻¹. No sulco de semeadura foram aplicados 248 kg ha⁻¹ do fertilizante formulado NPK 02-20-18. O controle de plantas daninhas durante a condução do experimento foi realizado por meio de capina manual. As demais recomendações técnicas de manejo fitossanitário da cultura seguiram as prescrições da Embrapa (2013).

As parcelas experimentais foram constituídas de seis linhas de semeadura com cinco metros de comprimento, totalizado 13,5 m² por parcela. Para as avaliações utilizou-se uma área útil de 5,4 m², sendo consideradas apenas as quatro fileiras centrais das parcelas, descartando-se 1 m de cada extremidade das fileiras como bordaduras.

A aplicação dos tratamentos com os produtos (glyphosate e manganês) foram realizados em conjunto via foliar quando as plantas de soja encontravam-se no estágio de desenvolvimento V4. Foi utilizado pulverizador costal pressurizado com CO₂, equipado com pontas tipo leque XR-110.015, mantido a pressão constante de 2 BAR (ou 29 PSI), proporcionando volume de calda equivalente a 150 L ha⁻¹.

3.2.4 Avaliações do experimento

As variáveis analisadas foram índice de clorofila, altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem, número de vagens por planta, massa de mil grãos e produtividade de grãos. O índice de clorofila (índice de clorofila Falker) foi avaliado no estágio R2 em pleno florescimento, mediante leitura realizada no folíolo central do terceiro trifólio completamente expandido, do ápice para a base da planta, em dez plantas da área útil da parcela utilizando o aparelho clorofilômetro portátil ClorofiLOG Falker® (FALKER, 2008).

Para a determinação da altura das plantas e altura de inserção da primeira vagem, foram avaliadas 10 plantas, escolhidas ao acaso na área útil das parcelas, realizando a medição com o auxílio de régua milimetrada, e os resultados expressos em centímetros. O número de vagens por planta, foi obtido por meio da contagem manual das vagens presentes também em 10 plantas escolhidas aleatoriamente na área útil de cada parcela.

Em seguida, a fim de avaliar a massa de mil grãos e a produtividade de grãos, foi realizada a colheita manual das plantas quando encontravam-se no estágio R8 em maturação plena e as vagens foram debulhadas utilizando trilhadeira para experimentos. Para determinar a massa de mil grãos (g) foi seguido a metodologia descrita nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009) e para o rendimento, foram estimadas as produtividades em quilogramas por hectare (kg ha⁻¹). Para o cálculo da massa de mil grãos e rendimento, o grau de umidade em base úmida dos grãos foi corrigido para 13%.

3.2.5 Análise Estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância e posteriormente, realizados os desdobramentos necessários e quando constatada significância do efeito das doses foi realizada à análise de regressão utilizando o programa estatístico SAS University Edition (SAS INSTITUTE INC, 2014).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a análise de variância verificou-se que as variáveis índice de clorofila (CLO), altura de planta (AP), altura de inserção da primeira vagem (AIPV) e massa de mil grãos (MMG) não foram influenciadas pelas doses de glyphosate, de Mn e pela interação destes fatores, as respectivas médias estão representadas na Tabela 2.

Tabela 2. Médias do índice de clorofila (CLO), altura de plantas (AP), altura de inserção da primeira vagem (AIPV) e massa de mil grãos (MMG) da cultivar de soja M6210 RR2 com aplicação de Mn e glyphosate. Safra 2016/17. Palotina – PR.

	CLO ^{ns}	AP (cm) ^{ns}	AIPV (cm) ^{ns}	MMG (g) ^{ns}
Manganês (g ha ⁻¹)				
0	33,46	84,51	14,84	118,13
92,4	33,32	85,81	14,78	116,08
184,8	33,15	85,16	15,14	114,95
369,6	33,78	84,04	14,84	117,84
Glyphosate (g e.a. ha ⁻¹)				
0	33,36	84,11	14,95	116,91
720	33,78	87,21	14,87	118,96
1440	33,92	84,16	14,77	116,37
2160	33,16	86,56	15,25	118,25
2880	32,93	82,36	14,67	113,24
CV (%)	2,99	6,79	8,11	5,5
Média	33,43	84,88	14,9	116,75

^{ns} não significativo

Diante dos resultados obtidos, a aplicação de glyphosate, independente da dose utilizada e interação, não causou efeito significativo no desenvolvimento vegetativo da soja RR.

Os índices de clorofila da soja RR não sofreram influência da aplicação de glyphosate, apresentado média geral de 33,43. Entretanto, Zobiole et al. (2010a) quando avaliaram o teor de clorofila no estágio R1, evidenciaram que a aplicação única (V4) e sequencial (V4 e V5) de glyphosate na soja resultaram em concentrações de clorofila menores quando comparado as plantas que não receberam a aplicação do herbicida.

Contudo, em estudo que avaliou a aplicação de doses de glyphosate em quatro cultivares de soja RR2 Krenchinski et al. (2017) observaram variações no comportamento de cada cultivar em relação a redução dos índices de clorofila. Os autores relataram que pode haver diferença de sensibilidade entre as cultivares, sendo algumas mais sensíveis e outras mais tolerantes ao herbicida.

A ausência de resposta do glyphosate no índice de clorofila observado neste estudo, pode estar relacionado ao fato da planta ter se recuperado até o momento em que foi realizada a leitura dessa variável, considerado que a aplicação do herbicida foi realizada no estágio V4 e a clorofila mensurada no estágio R2.

Nesse contexto, Zobiolo et al. (2010b) observaram que após a aplicação de glyphosate no estágio V4 da soja, houve redução do índice de clorofila e verificou-se declínio desse efeito com o passar dos dias. Os autores constataram que à medida que as plantas se desenvolvem, o índice de clorofila vai gradativamente aumentando.

Corroborando os resultados encontrados por esses autores, Krenchinski et al. (2017) verificaram que após um período da aplicação do herbicida a planta consegue restabelecer a produção normal de clorofila, indicando dessa forma que a soja RR2 tem potencial de recuperação ao efeito oriundo da aplicação de glyphosate.

Em relação à altura de plantas, a média geral observada foi 84,88 cm e mesmo após a aplicação de dosagens elevadas de glyphosate a soja manteve o seu crescimento, não afetando essa variável. Considerando esse resultado, Ferreira et al. (2013) observaram que apesar da maior dose de glyphosate avaliada (2880 g e.a. ha⁻¹) ter ocasionado fitointoxicação na soja, esse efeito não interferiu na altura de plantas. Em contrapartida, Zobiolo et al. (2010b) e Albrecht et al. (2014) verificaram redução desta variável com o incremento das doses de glyphosate. Neste trabalho, possivelmente a condição meteorológica favorável para o crescimento vegetativo da soja pode ter favorecido a ausência de resposta do glyphosate na altura de planta do genótipo em estudo.

Para massa de mil grãos (116,75 g) e altura de inserção da primeira vagem (14,9 cm) não foi observada influência das doses de glyphosate sobre essas variáveis. O mesmo foi observado por Correia e Durigan (2007) em estudo que avaliou a seletividade de cultivares de soja transgênica a diferentes formulações de glyphosate.

Quanto ao componente de produção número de vagens por planta, houve efeito dos fatores principais doses de Mn (1% de significância) e doses de glyphosate (9% de significância) (Figura 2 e 3).

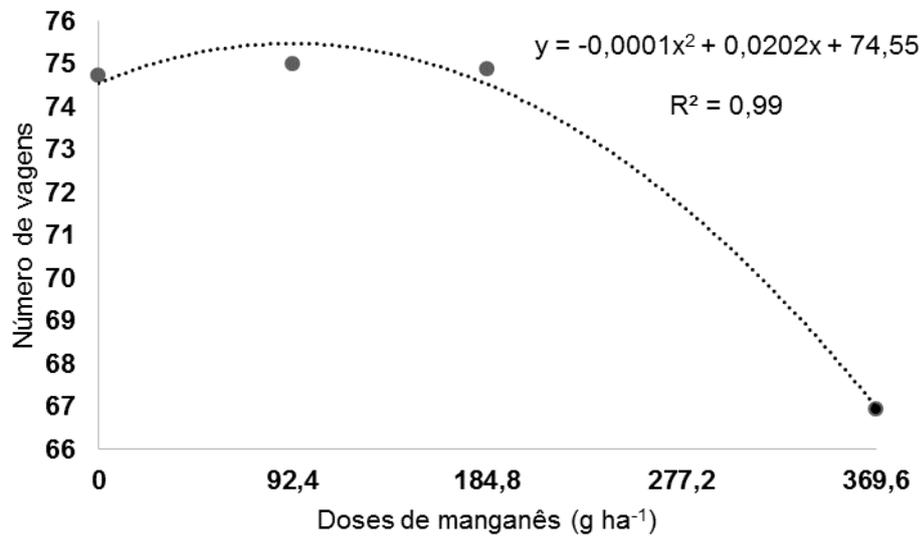


Figura 2. Efeito das doses de manganês no número de vagens por planta da cultivar M6210 RR2. Safra 2016/17. Palotina – PR.

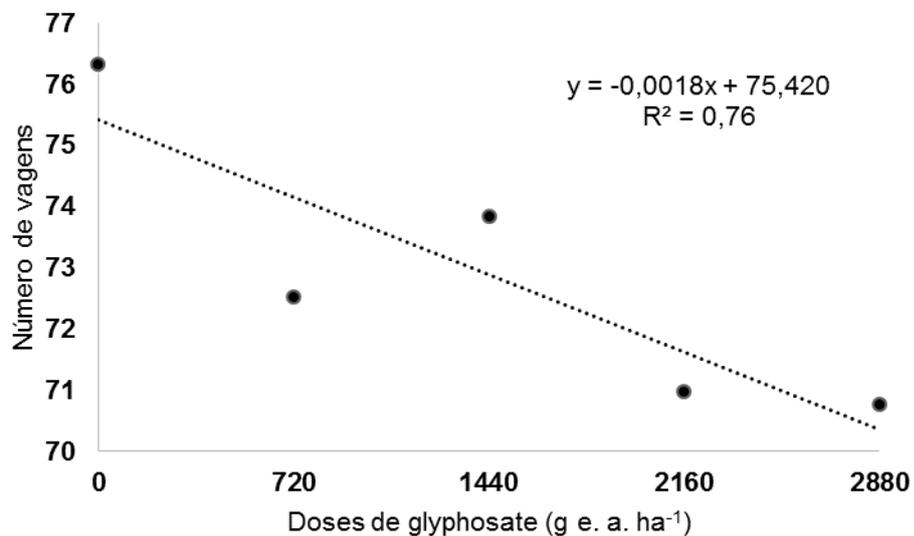


Figura 3. Efeito das doses de glyphosate no número de vagens por planta da cultivar M6210 RR2. Safra 2016/17. Palotina – PR.

Na Figura 2, a aplicação de doses crescentes de Mn demonstra comportamento quadrático nos resultados de número de vagens por planta, obtendo valor máximo estimado de 75,57 vagens com a dose estimada de 101 g ha⁻¹. A partir

dessa dosagem, observa-se um comportamento decrescente dessa variável, ou seja, conforme aumentam as doses de Mn ocorre redução do número de vagens, refletindo em valores inferiores à testemunha. Carvalho et al. (2015) constataram efeito quadrático com o valor máximo de 110,51 vagens obtido com a dose de 189,88 g Mn ha⁻¹. Em estudo Mann et al. (2001) também observaram aumento dessa variável com a aplicação de Mn em diferentes formas e doses do micronutriente avaliado.

Com relação ao efeito do glyphosate no número de vagens por planta, constatou-se efeito linear decrescente dessa variável ao incremento das doses do herbicida, assim, conforme aumentam as gramas de equivalente ácido de glyphosate ocorre redução no número de vagens de 0,0018 para cada grama de equivalente ácido (Figura 3).

Os resultados obtidos nesse experimento estão em concordância com os relatados por Albrecht et al. (2011) e Melhorança Filho et al. (2010), nos quais observaram que o aumento das doses de glyphosate reduziram o número de vagens por planta, comprometendo dessa forma um importante componente de produção.

Contudo, apesar da aplicação de glyphosate ter reduzido o número de vagens por planta, esse efeito não refletiu na produtividade de grãos de soja (da cultivar estudada, diante as condições meteorológicas), assim como, a interação dos fatores estudados (doses de glyphosate e doses de Mn) não influenciaram nessa variável. Esses resultados confirmam os relatados por Agostinetto et al. (2009) avaliando a aplicação de formulações e doses de glyphosate na soja transgênica, observaram que a cultivar BRS-244 RR não teve a produtividade afetada pelos tratamentos, demonstrando-se altamente tolerante ao herbicida glyphosate.

Similar aos resultados obtidos neste estudo, diversos experimentos que avaliaram o efeito da associação de glyphosate e Mn, como os de Bailey et al. (2002), Correia e Durigan (2009) e Stefanello et al. (2011), não observaram o efeito dos tratamentos sobre a produtividade de grãos de soja.

Por outro lado, Santos et al. (2007), ao avaliarem a aplicação de três formulações de glyphosate na soja, verificaram efeito variável das formulações no desenvolvimento da soja RR, da qual, uma das marcas comerciais à base do sal de isopropilamina foi mais prejudicial à cultura, reduzindo o rendimento de grãos. Albrecht et al. (2014) observaram que a aplicação de diferentes formulações e doses de glyphosate no estádio reprodutivo da soja RR reduziram linearmente o

desempenho agrônômico da cultura, identificando que aplicações tardias podem ser significativamente prejudiciais.

Apesar dos resultados divergentes encontrados na literatura, a cultivar (M6210 RR2) avaliada neste experimento se mostrou altamente tolerante a formulação de glyphosate estudada, pois não foram constatados os possíveis prejuízos causados pelo herbicida na produtividade de grãos da soja RR. Na pesquisa de Oliveira Júnior et al. (2008), que investigou a influência da aplicação única e sequencial de doses de glyphosate sobre 20 cultivares de soja RR, foi verificado que os efeitos causados pelo herbicida na soja transgênica dependem de fatores como variedade, grupo de maturação, época de aplicação e da dose utilizada.

Corroborando essa observação Merotto Júnior et al. (2015) verificaram que a cultivar Fundacep 59 RR teve um menor rendimento de grãos em resposta as doses de glyphosate, contudo, a cultivar CD 206 RR não apresentou diferenças com a aplicação do herbicida. Considerando o resultado obtido, os autores destacam a variabilidade do efeito do glyphosate, assim como a diferença na sensibilidade ao herbicida entre cultivares.

Além da seletividade do genótipo, a ausência de resposta pode estar relacionada com as condições ambientais, como as meteorológicas (temperatura e precipitação) favoráveis ao desenvolvimento vegetativo da soja (Figura 1), bem como à boa fertilidade do solo, que não se somaram ao possível estresse xenobiótico provocado pelo herbicida. O mesmo foi observado por Ferreira et al. (2013), que também atribuíram a ausência dos efeitos negativos do glyphosate às condições ambientais adequadas para a cultura da soja.

Desse modo, as boas condições do ambiente possibilitaram que as plantas da cultivar em estudo se recuperassem após a aplicação do herbicida e se desenvolvessem normalmente, não causando danos à cultura. Assim, os resultados obtidos neste estudo se assemelham com outras pesquisas, que confirmaram a tolerância da soja RR ao glyphosate, como os de Correia e Durigan (2007) e Agostinetto et al. (2009).

Entretanto, no presente estudo constatou-se efeito dependente das doses de manganês na produtividade de grãos. Esse resultado mostrou-se correlacionado com o encontrado para o número de vagens por planta (Figura 2), evidenciando que a cultivar de soja tolerante ao glyphosate avaliada respondeu favoravelmente à

aplicação foliar das doses deste micronutriente, diante das condições ambientais ao qual foi submetida. De acordo com a análise de regressão (Figura 4), verificou-se que a produtividade máxima estimada (4642,78 kg ha⁻¹) foi obtida com a dose de 261,64 g Mn ha⁻¹. Essa variável teve um acréscimo de 14,33% em comparação com a testemunha.

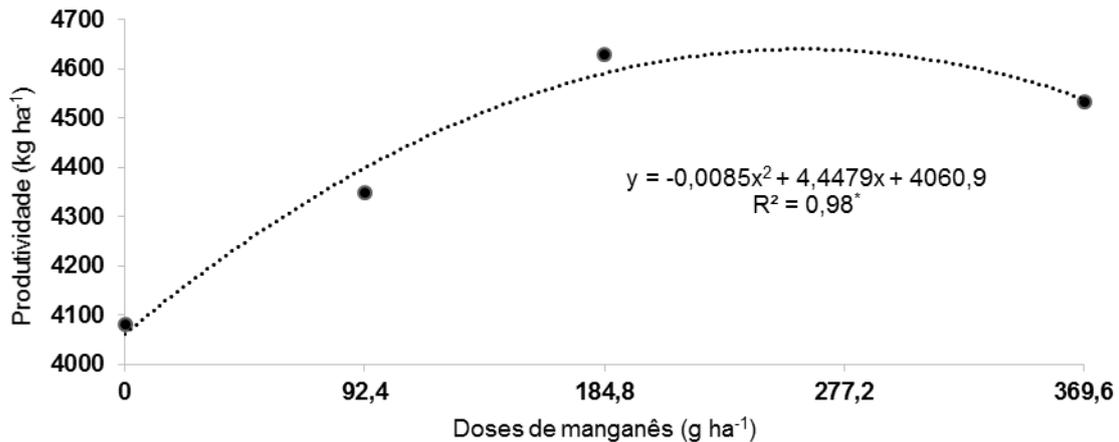


Figura 4. Efeito das doses de manganês na produtividade de grãos de soja cultivar M6210 RR2. Safra 2016/17. Palotina – PR.

Vale ressaltar que a produtividade média geral obtida neste experimento (4398 kg ha⁻¹), foi superior à média atingida no Estado do Paraná (3731 kg ha⁻¹) na safra 2016/17 (Conab, 2018) que pode ser resultante das condições meteorológicas favoráveis, com chuvas regulares durante todo o ciclo da cultura, associado a boa fertilidade do solo.

De acordo com Kirkby e Römheld (2007), o Mn representa um dos micronutrientes envolvidos na determinação da produtividade das plantas. Logo, o aumento do rendimento de grãos com a aplicação de Mn obtido neste estudo, pode estar relacionado devido à importância desse elemento na fase reprodutiva das plantas.

Evidencia-se na Figura 4, que a produtividade sofreu influência do Mn e os dados ajustaram-se ao modelo quadrático, demonstrando redução de produtividade com doses mais elevadas do micronutriente avaliado. Diante desse resultado, possivelmente o nível tóxico de manganês para a soja pode ter sido atingido, no qual resultou em decréscimo da produtividade a partir da dose de 261,64 g Mn ha⁻¹.

Similar a essa resposta, alguns trabalhos relatam que elevadas doses de Mn podem reduzir a produtividade de grãos de soja, como o de Mann et al. (2001) que

revelam queda de produtividade com a maior dose (300 g ha⁻¹) de Mn avaliada. Carvalho et al. (2015) observaram as menores produtividades com doses próximas a 500 g Mn ha⁻¹. Essa redução pode acontecer em decorrência da maior concentração do micronutriente no tecido foliar, provocando fitotoxidez na soja. Esses resultados também corroboram com os relatados por Oliveira Júnior et al. (2000), que observaram aumento na produtividade de grãos com o acréscimo das doses de Mn, porém a maior dose aplicada causou redução dessa variável.

Contudo, Nava et al. (2012); Stefanello et al. (2011) e Basso et al. (2011) observaram que a suplementação foliar com Mn não proporcionou incremento no rendimento de grãos da soja transgênica RR submetida a aplicação de glyphosate.

Considerando os resultados obtidos neste estudo, bem como os resultados divergentes encontrados na literatura em relação à resposta da soja RR ao glyphosate e ao Mn, ressalta-se a importância de realizar pesquisas complementares com o intuito de avaliar outros genótipos, locais e anos/safra de cultivo a fim de reconsiderar o potencial de utilização do uso do manganês no manejo com o glyphosate.

3.4 CONCLUSÕES

A aplicação de glyphosate e manganês associados não interferiram nas características agronômicas e nos componentes de produção da soja RR. Contudo, verificou-se que o glyphosate provocou redução do número de vagens por planta e a aplicação foliar de Mn aumentou o número de vagens e a produtividade de grãos.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINETTO, D.; TIRONI, S. P.; GALON, L.; MAGRO, T. D. Desempenho de formulações e doses de glyphosate em soja transgênica. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v.3, n.2, p.35-41, 2009.
- ALBRECHT, A. J. P.; ALBRECHT, L. P.; KRENCHINSKI, F. H.; PLACIDO, H. F.; LORENZETTI, J. B.; VICTORIA FILHO, R.; BARROSO, A. A. M. Behavior of RR soybeans subjected to different formulations and rates of glyphosate in the reproductive period. **Planta Daninha**, v.32, n.4, p.851-859, 2014.
- ALBRECHT, L. P.; BARBOSA, A. P.; SILVA, A. F. M.; MENDES, M. A.; MARASCHI-SILVA, L. M.; ALBRECHT, A. J. P. Desempenho da soja Roundup Ready sob aplicação de glyphosate em diferentes estádios. **Planta Daninha**, v.29, n.3, p.585-590, 2011.
- ANDRADE, G. J. M.; ROSOLEM, C. A. Absorção de manganês em soja RR sob efeito do glifosate. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.3, p.961-968, 2011.
- BAILEY, W. A.; POSTON, D. H.; WILSON, H. P.; HINES, T. E. Glyphosate interactions with manganese. **Weed Technology**, v.16, n.4, p.792-799, 2002.
- BASSO, C. J.; SANTI, A. L.; LAMEGO, F. P.; GIROTTO, E. Aplicação foliar de manganês em soja transgênica tolerante ao glyphosate. **Ciência Rural**, v.41, n.10, p.1726-1731, 2011.
- BOTT, S.; TESFAMARIAM, T.; CANDAN, H.; CAKMAK, I.; RÖMHELD, V.; NEUMANN, G. Glyphosate-induced impairment of plant growth and micronutrient status in glyphosate-resistant soybean (*Glycine max* L.). **Plant Soil**, v.312, n.1, p.185-194, 2008.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Secretaria de Defesa Agropecuária, 2009. 398p.
- CARVALHO, E. R.; OLIVEIRA, J. A.; COSTA NETO, J.; SILVA, C. A. T.; FERREIRA, V. F. Doses e épocas de aplicação de manganês via foliar no cultivo de soja convencional e em derivada transgênica RR. **Bioscience Journal**, v.31, n.2, p.352-361, 2015.
- CAVALIERI, S. D.; VELINI, E. D.; SILVA, F. M. L.; SÃO JOSÉ, A. R.; ANDRADE, G. J. M. Acúmulo de nutrientes e matéria seca na parte aérea de dois cultivares de soja RR sob efeito de formulações de glyphosate. **Planta Daninha**, v.30, n.2, p.349-358, 2012.
- CAVIGLIONE, J. H.; KILHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR. 2000. CD-ROM.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos - Safra 2017/18**. Quarto levantamento, Brasília, p.1-132, janeiro 2018.

CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C. Glyphosate e adubação foliar com manganês na cultura da soja transgênica. **Planta Daninha**, v.27, n.4, p.721-727, 2009.

CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C. Seletividade de diferentes herbicidas à base de glyphosate a Soja RR. **Planta Daninha**, v.25, n.2, p.375-379, 2007.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil: 2014**. Embrapa Soja, 2013. 266 p. (Sistemas de Produção, 16).

FALKER, Automação agrícola. **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG/CFL 1030)**. Porto Alegre, 2008. 33p.

FERREIRA, R. L.; SILVA, A. G.; SIMON, G. A.; TEIXEIRA, I. R.; MARTINS, P. D. S. Glyphosate em pós-emergência na soja Roundup Ready. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.12, n.2, p.151-161, 2013.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. **Informações Agronômicas**, n.118, 2007.

KRENCHINSKI, F. H.; ALBRECHT, L. P.; ALBRECHT, A. J. P.; CESCO, V. J. S.; RODRIGUES, D. M.; PORTZ, R. L.; ZOBIOLE, L. H. S. Glyphosate affects chlorophyll, photosynthesis and water use of four Intacta RR2 soybean cultivars. **Acta Physiologiae Plantarum**, 39:63, 2017.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MANN, E. N.; REZENDE, P. M.; CARVALHO, J. G.; CORRÊA, J. B. D. Efeito da adubação com manganês, via solo e foliar em diferentes épocas na cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Ciência e Agrotecnologia**, v.25, n.2, p.264-273, 2001.

MATSUO, E.; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C. D.; SILVA, A. A.; OLIVEIRA, R. C. T.; NOGUEIRA, A. P. O.; TANCREDI, F. D. Resistência de genótipos de soja ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, v.27, p.1063-1073, 2009. Número especial.

MELHORANÇA FILHO, A. L.; MARTINS, D.; PEREIRA, M. R. R.; ESPINOSA, W. R. Efeito de glyphosate sobre características produtivas em cultivares de soja transgênica e convencional. **Bioscience Journal**, v.26, n.3, p.322-333, 2010.

MEROTTO JÚNIOR, A.; WAGNER, J.; MENEGUZZI, C. Efeitos do herbicida glifosato e da aplicação foliar de micronutrientes em soja transgênica. **Bioscience Journal**, v.31, n.2, p.499-508, 2015.

MONQUERO, P. A. Plantas transgênicas resistentes aos herbicidas: situação e perspectivas. **Bragantia**, v.64, n.4, p.517-531, 2005.

NAVA, I. A.; GONÇALVES JR., A. C.; SCHWANTES, D.; STREY, L.; ROWEDER, F. A.; SOUSA, R. F.B. Efeitos da fertilização foliar com manganês em soja transgênica cultivada no inverno manejada com glifosato. **Recursos Rurais**, v.8, p.5-11, 2012.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. A. DE; MALAVOLTA, E.; CABRAL, C. P. Efeitos do manganês sobre a soja cultivada em solo de cerrado do Triângulo Mineiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.8, p.1629-1636, 2000.

OLIVEIRA JR., R. S.; DVORANEN, E. C.; CONSTANTIN, J.; CAVALIERI, S. D.; FRANCHINI, L. H. M.; RIOS, F. A.; BLAINSKI, E. Influência do glyphosate sobre a nodulação e o crescimento de cultivares de soja resistente ao glyphosate. **Planta Daninha**, v.26, n.4, p.831-843, 2008.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 6ed. Londrina, 2011, 697p.

SANTOS, J. B.; FERREIRA, E. A.; REIS, M. R.; SILVA, A. A.; FIALHO, C. M. T.; FREITAS, M. A. M. Avaliação de formulações de glyphosate sobre soja Roundup Ready. **Planta Daninha**, v.25, n.1, p.165-171, 2007.

SANTOS, H. G.; ALMEIDA, J. A.; OLIVEIRA, J. B.; LUMBRERAS, J. F.; ANJOS, L. H. C.; COELHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, V. A. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília, DF, EMBRAPA, 2013. 353p.

SAS INSTITUTE INC. **SAS University Edition: installation guide for Windows**. Cary: SAS Institute, 2014.

SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; CANDIDO, A. C. S.; DIAS, A. C. R.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Influência do glifosato na eficiência nutricional do nitrogênio, manganês, ferro, cobre e zinco em soja resistente ao glifosato. **Ciência Rural**, v.41, n.1, p.77-84, 2011.

STEFANELLO, F. F.; MARCHETTI, M. E.; SILVA, E. F.; STEFANELLO, J.; DORETO, R. B. S.; NOVELINO, J. O. Efeito de glyphosate e manganês na nutrição e produtividade da soja transgênica. **Semina: Ciências Agrárias**, v.32, n.3, p.1007-1014, 2011.

WAGNER, J. F.; MEROTTO JÚNIOR, A. Parâmetros fisiológicos e nutricionais de cultivares de soja resistentes ao glifosato em comparação com cultivares isogênicas próximas. **Ciência Rural**, v.44, n.3, p.393-399, 2014.

ZOBIOLE, L. H. S.; OLIVEIRA JR., R. S.; HUBER, D. M.; CONSTANTIN, J.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA JR., A. Glyphosate reduces shoot concentrations of mineral nutrients in glyphosate-resistant soybeans. **Plant Soil**, v.328, n.1, p.57-69, 2010a.

ZOBIOLE, L. H. S.; OLIVEIRA JR., R. S.; KREMER, R. J.; CONSTANTIN, J.; BONATO, C. M.; MUNIZ, A. S. Water use efficiency and photosynthesis of

glyphosate-resistant soybean as affected by glyphosate. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.97, n.1, p.182-193, 2010b.

ZOBIOLE, L. H. S.; OLIVEIRA JR., R. S.; KREMER, R. J.; MUNIZ, A. S.; OLIVEIRA JR., A. Nutrient accumulation and photosynthesis in glyphosate resistant soybeans is reduced under glyphosate use. **Journal of Plant Nutrition**, v.33, n.1, p.1860-1873, 2010c.

4 ARTIGO II – MANGANÊS E BIORREGULADOR NO MANEJO DA FITOINTOXICAÇÃO DO GLYPHOSATE EM SOJA RR2

RESUMO

O surgimento da soja transgênica tolerante ao glyphosate tem intensificado o uso desse herbicida no manejo de plantas daninhas. Em consequência disso, alguns produtores relatam casos de injúrias visuais na soja causados pelo glyphosate. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito dos produtos manganês e biorregulador na reversão dos possíveis danos causados pelo glyphosate na cultura da soja. O experimento foi realizado na safra 2016/17 no campo experimental da C.Vale localizado em Palotina – PR, com delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram dispostos em arranjo fatorial 5 x 4, sendo cinco doses de glyphosate (0, 720, 1440, 2160 e 2880 g. e.a. ha⁻¹) e quatro manejos (aplicação de manganês; aplicação de biorregulador; associação de ambos; sem aplicação). Os tratamentos foram aplicados via foliar no estágio fenológico V4 da cultura. As variáveis avaliadas foram sintomas de fitointoxicação, índice de clorofila, altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem, número de vagens, massa de mil grãos e produtividade. Os resultados obtidos neste estudo indicam que, a aplicação de glyphosate na formulação estudada, independente da dose utilizada, apresentou sintomas de fitointoxicação muito leves nas plantas de soja transgênica. No entanto, esse efeito não interferiu nas características agronômicas e nos componentes de produção avaliados. Nas condições ambientais em que foi realizada a pesquisa e para o genótipo avaliado os manejos empregados (biorregulador e manganês) não se mostraram efetivamente como reversores da fitointoxicação.

Palavras-chave: Soja transgênica. Herbicida. *Yellow flashing*.

MANGANESE AND BIOREGULATOR IN THE MANAGEMENT OF GLYPHOSATE PHYTOTOXICITY IN RR SOYBEAN

ABSTRACT

The emergence of glyphosate-resistant transgenic soybean has intensified this herbicide use in weed management. As a result, some producers report cases of visual injury in the soybeans caused by glyphosate. Thus, the objective of this study was to evaluate the effect of manganese and bioregulator products on the reversal possible damages caused by glyphosate in the soybean crop. The experiment was carried out during the 2016/17 harvest in the experimental field of C.Vale located in Palotina - PR, with experimental design in randomized blocks with four replicates. The treatments were arranged in a 5 x 4 factorial arrangement with 5 doses of glyphosate (0, 720, 1440, 2160 e 2880 g. e.a. ha⁻¹) and 4 management (manganese application; bioregulator application; association of both; no application). The treatments were applied via foliar at phenological stage V4. The variables evaluated were phytotoxicity symptoms, chlorophyll index, plant height, insertion height of the first pod, number of pods, 1,000 grain mass and yield. The results obtained in this study indicate that, the application of glyphosate in the studied formulation, regardless of the dose used, showed apparently very mild symptoms of phytotoxicity in transgenic soybean plants. However, this effect did not interfere in the evaluated agronomic characteristics and production components. Under the environmental conditions in which the research was conducted and for the evaluated genotype, the treatments applied (bioregulator and Mn) were not effective as a phytotoxicity reversers.

Key words: Transgenic soybean. Herbicide. Yellow flashing.

4.1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a cultura da soja é considerada a protagonista no aumento da área e da produção de grãos. Tal representatividade está relacionada a sua rentabilidade em relação a outras culturas o que faz com que os produtores continuem apostando nessa cultura (CONAB, 2018).

A expansão do cultivo da soja está associado aos avanços científicos e a disponibilização de tecnologias ao setor produtivo (FREITAS, 2011), dentre elas destaca-se a soja RR (Roundup Ready®) tolerante ao herbicida glyphosate, considerada como uma das grandes inovações promovidas pelas aplicações da engenharia genética na agricultura (REIS et al., 2010).

Bonny (2008) enfatiza que a soja RR se destaca dentre os transgênicos devido ao seu alto nível de expansão e extensão de área que abrange como também por permitir adequado controle das plantas daninhas presente na área de cultivo com o uso de glyphosate.

O glyphosate é um potencial herbicida de pós-emergência, largo espectro e não seletivo (YAMADA e CASTRO, 2007). Apesar da soja RR ser tolerante a esse herbicida, Santos et al. (2007), afirmam que há relatos de agricultores sobre o possível efeito negativo do glyphosate para o desenvolvimento inicial de plantas de soja, para a qual esse produto é recomendado. Albrecht et al., (2011) corrobora essa afirmação evidenciando que o glyphosate pode apresentar algum efeito indesejável sobre a cultura da soja RR, para o qual é seletivo.

Dentre esses efeitos, Santos et al. (2007) observaram que a resposta da aplicação do herbicida é variável de acordo com a formulação do glyphosate. Para Reddy e Zablatowing (2003) a soja pode sofrer injúrias devido à aplicação sob determinadas condições e formulações do sal de glyphosate.

Os sintomas visuais observados com a aplicação desse herbicida podem ser causados devido à imobilização dos cátions bivalentes, como Fe e Mn (BOTT et al., 2008; ZOBIOLE et al., 2010a), efeito conhecido como *yellow flashing* ou amarelecimento das folhas (ZOBIOLE et al., 2011). Para Basso et al. (2011) esse amarelecimento pode estar associado à deficiência momentânea de manganês.

Zobiole et al. (2010a) relatam que as plantas de soja submetidas a aplicação de glyphosate possuem menor concentração de clorofila devido ao menor teor de nutrientes, especialmente ao Mn e Mg, que atuam na produção e funcionalidade da clorofila.

Em decorrência do estresse causado na soja devido ao efeito fitotóxico de herbicidas, foram desenvolvidas alternativas que possibilitam amenizar ou reverter o nível de dano nas plantas, dentre elas destaca-se os biorreguladores vegetais que possuem ação promotora no desenvolvimento da planta (CAMPOS et al., 2008).

Diante disso, baseado na hipótese de que a aplicação de glyphosate associado ao manganês e biorregulador podem reduzir os efeitos negativos do herbicida na cultura, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos do manganês e do biorregulador na reversão da fitointoxicação do herbicida glyphosate na soja RR.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Caracterização do local do experimento

O experimento foi conduzido no ano agrícola de 2016/2017 em uma área do campo experimental da C.Vale - Cooperativa Agroindustrial localizada no município de Palotina - PR, situada nas coordenadas geográficas de 24°20'49"S e 53°51'43"W com altitude de 360 metros. Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante local é Cfa, subtropical, com temperatura média anual variando de 17 e 19 °C e precipitações de 1200 e 2000 mm, distribuídos durante o ano (CAVIGLIONE et al., 2000). Os dados de precipitação pluvial (mm) e temperaturas máxima e mínima (°C), referentes ao período da condução do experimento, estão representados na Figura 5, por decêndios.

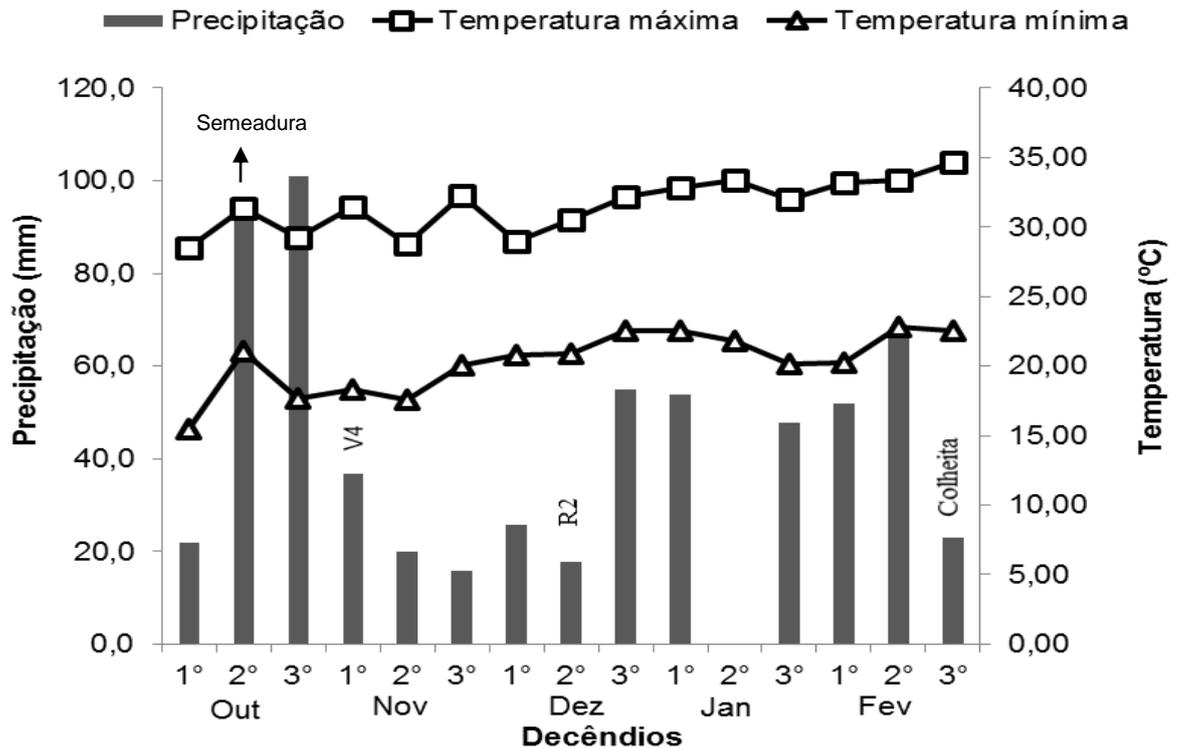


Figura 5. Médias mensais de temperaturas máxima e mínima (°C) e precipitação pluviométrica (mm) acumulada durante o período de condução do experimento, entre outubro de 2016 e fevereiro de 2017 (C.Vale)

Fonte: Campo Experimental da Cooperativa C.Vale, Palotina – PR, 2017

O solo da área é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, de textura muito argilosa (SANTOS et al., 2013). O resultado da análise química e física (amostra 0 – 20 cm de profundidade) realizada antes da instalação do experimento, estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultado da análise química e física do solo antes da implantação da cultura, na profundidade de 0-20 cm. Palotina - PR, 2016

pH		P	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺
CaCl ₂	H ₂ O	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³			mg dm ⁻³				
4,70	5,20	14,82	0,00	4,05	1,23	0,56	24,77	106,40	4,62	7,65
Areia			Silte			Argila				
----- % -----										
16,25			15			68,75				

4.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental empregado foi em blocos casualizados, em arranjo fatorial 5 x 4, com 4 repetições. Foram avaliadas cinco doses de glyphosate (0, 720, 1440, 2160 e 2880 g e.a. ha⁻¹) de um produto comercial, cuja formulação corresponde a 400,80 g L⁻¹ do sal de isopropilamina de glyphosate e 297,75 g L⁻¹ do sal de potássio de glyphosate, e quatro manejos (aplicação de manganês; aplicação de biorregulador; associação de ambos; sem aplicação). Para fornecer manganês foi utilizado um produto comercial com 92,4 g L⁻¹ de Mn quelatizado, aplicando a dose de 184,8 g ha⁻¹. O biorregulador utilizado é composto por três reguladores vegetais, contendo 0,09 g L⁻¹ de cinetina, 0,05 g L⁻¹ de ácido giberélico e 0,05 g L⁻¹ de ácido indol-butírico, aplicando a dosagem de 250 mL ha⁻¹.

4.2.3 Implantação e condução do experimento

Foi utilizada no experimento, a cultivar de soja Monsoy 6210 com a tecnologia Intacta RR2 Pro™, semeada no dia 11 de outubro 2016 no sistema de semeadura direta, com espaçamento entre linhas de 0,45 cm, a uma profundidade média de 3 cm, com população de 266.667 plantas ha⁻¹. No sulco de semeadura foram aplicados 248 kg ha⁻¹ do fertilizante formulado NPK 02-20-18. O controle de plantas daninhas durante a condução do experimento foi realizado por meio de capina manual. As demais recomendações técnicas de manejo fitossanitário da cultura seguiram as prescrições da Embrapa (2013).

As parcelas experimentais foram constituídas de seis linhas de semeadura com cinco metros de comprimento, totalizado 13,5 m² por parcela. Para as avaliações utilizou-se uma área útil de 5,4 m², sendo consideradas apenas as quatro fileiras centrais das parcelas, descartando-se 1 m de cada extremidade das fileiras como bordaduras.

A aplicação dos tratamentos com os produtos (glyphosate, manganês e biorregulador) foram realizados em conjunto via foliar quando as plantas de soja encontravam-se no estágio de desenvolvimento V4. Foi utilizado pulverizador costal pressurizado com CO₂, equipado com pontas tipo leque XR-110.015, mantido a pressão constante de 2 BAR (ou 29 PSI), proporcionando volume de calda equivalente a 150 L ha⁻¹.

4.2.4 Avaliações do experimento

As variáveis analisadas foram sintomas de fitointoxicação, índice de clorofila, altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem, número de vagens, massa de mil grãos e produtividade de grãos. As avaliações dos sintomas de fitointoxicação nas plantas de soja foram realizadas aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (D.A.A) dos tratamentos, atribuindo notas percentuais que variam de zero (ausência de injúrias) a 100% (morte das plantas), de acordo com a escala adaptada da SBCPD (Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas – SBCPD, 1995), apresentada na Tabela 4.

Tabela 4. Escala de notas utilizada para avaliação visual de fitotoxicidade de herbicidas

Conceito	Nota (%)	Observação
Muito Leve	0-5	Sintomas fracos ou pouco evidentes. Nota zero quando não se observam quaisquer alterações na cultura.
Leve	6-10	Sintomas nítidos, de baixa intensidade.
Moderada	11-20	Sintomas nítidos, mais intensos que na classe anterior
Aceitável	21-35	Sintomas pronunciados, porém totalmente tolerados pela cultura.
Preocupante	36-45	Sintomas mais drásticos que na categoria anterior, mas ainda passíveis de recuperação, e sem expectativas de redução no rendimento econômico
Alta	46-60	Danos irreversíveis, com previsão de redução no rendimento econômico.
Muito Alta	61-100	Danos irreversíveis muito severos, com previsão de redução drástica no rendimento econômico. Nota 100 para morte de toda a cultura.

Fonte: Adaptado da SBCPD (1995).

O índice de clorofila (índice de clorofila Falker) foi avaliado no estágio R2 em pleno florescimento, mediante leitura realizada no folíolo central do terceiro trifólio completamente expandido, do ápice para a base da planta, em dez plantas da área útil da parcela, utilizando um clorofilômetro portátil modelo ClorofiLOG Falker® (WAGNER e MEROTTO JÚNIOR, 2014).

Para a determinação da altura das plantas e altura de inserção da primeira vagem, foram avaliadas 10 plantas, escolhidas ao acaso na área útil das parcelas, realizando a medição com o auxílio de régua milimetrada, e os resultados expressos em centímetros. O número de vagens por planta, foi obtido por meio da contagem

manual presentes também em 10 plantas escolhidas aleatoriamente na área útil de cada parcela.

A fim de avaliar a massa de mil grãos e a produtividade de grãos, foi realizada a colheita manual das plantas, quando se encontravam no estágio R8 (em maturação plena) e as vagens foram debulhadas utilizando trilhadeira para experimentos.

Para determinar a massa de mil grãos (g) foi seguido a metodologia descrita nas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009) e para o rendimento, foi estimada a produtividade em quilogramas por hectare (kg ha^{-1}). Para o cálculo da massa de mil grãos e rendimento, o grau de umidade em base úmida dos grãos foi corrigido para 13%.

4.2.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$) e posteriormente, realizados os desdobramentos necessários, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) e foi realizado à análise de regressão para o fator doses, utilizando o programa estatístico SAS University Edition (SAS INSTITUTE INC, 2014).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação a variável avaliada, sintomas de fitointoxicação observa-se efeito significativo nos fatores principais, doses de glyphosate e manejos de reversão (manganês e biorregulador) aplicados na cultura da soja (Figuras 6 e 7), porém na interação dos fatores não houve efeito significativo para essa variável.

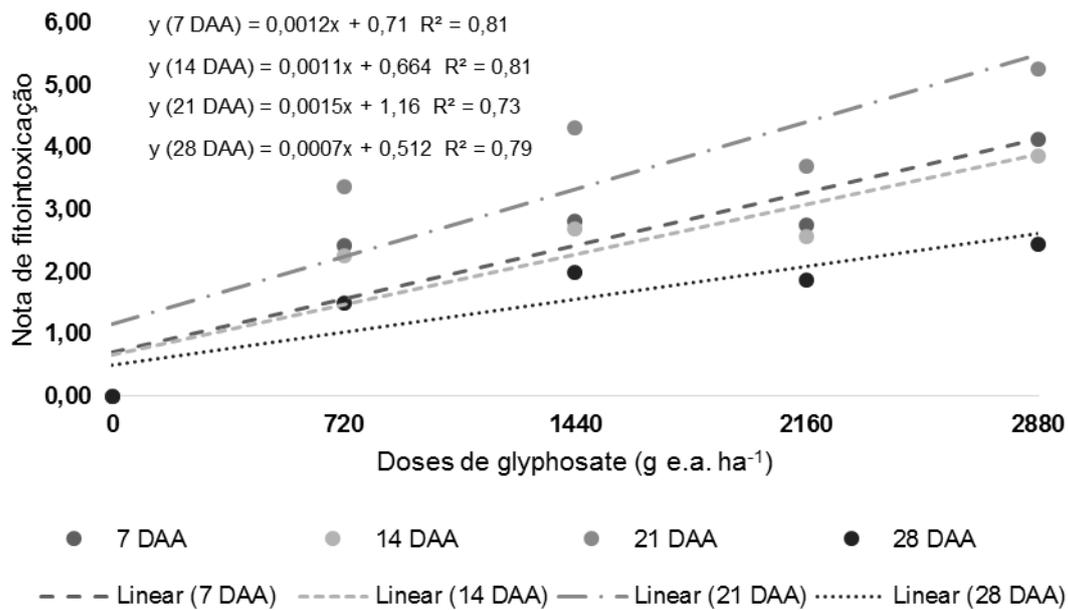


Figura 6. Regressão linear do percentual de fitointoxicação da cultivar de soja M6210 RR2, sob aplicação de glyphosate nas doses de 0, 720, 1440, 2160 e 2880 g.e.a ha⁻¹ aos 7, 14, 21 e 28 dias após aplicação (DAA). ** significativo a ($p \leq 0,01$). Dados transformados em raiz(x+1). Safra 2016/17. Palotina - PR

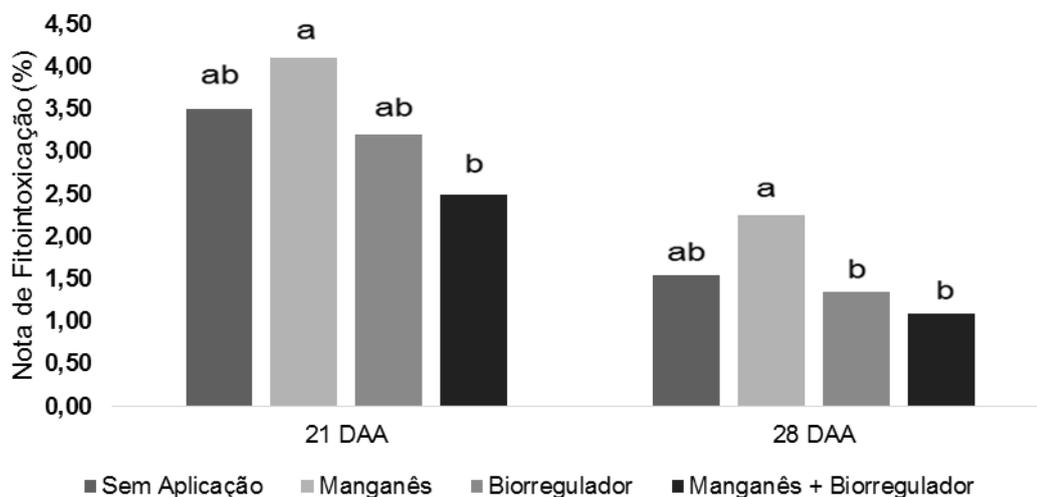


Figura 7. Percentual de fitointoxicação da cultivar M6210 RR2, sob aplicação de manganês; biorregulador; manganês + biorregulador aos 21 e 28 dias após aplicação (DAA). **significativo a ($p \leq 0,01$) pelo teste de Tukey. Dados transformados em raiz(x+1). Safra 2016/17. Palotina - PR

O efeito da fitointoxicação causado nas plantas pelo glyphosate é atribuído pelo amarelecimento das folhas superiores da cultura, sintoma denominado como *yellow flashing* (Zobiole et al., 2011). A avaliação visual de fitointoxicação foi realizada com base na escala de notas percentuais adaptada da SBCPD (1995)

(Tabela 4), em que, a nota zero indica ausência de injúrias e a nota 100 refere-se a morte das plantas.

Observando o comportamento dos dados apresentados na Figura 6, verifica-se que a aplicação de glyphosate no estágio V4 da cultura da soja causou sintomas de fitotoxicidade na planta em todas as épocas de avaliação, aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA). De modo geral, de acordo com a escala de notas, as injúrias observadas na soja após a aplicação dos tratamentos são classificadas como muito leve, com sintomas fracos ou pouco evidentes (notas de 0-5%), independente da época de avaliação ou da dose do herbicida aplicado.

Esses sintomas de fitotoxicidade observados na soja RR após a aplicação do glyphosate, podem ser causadas devido à imobilização de cátions bivalentes, como Fe e Mn (BOTT et al., 2008; ZOBIOLE et al., 2010a). O período de permanência desses sintomas pode estar relacionado com a capacidade da planta em absorver esses elementos que são imobilizados pelo glyphosate nos tecidos foliares, assim os níveis e disponibilidade desses elementos no solo podem auxiliar nesse processo (CAKMAK et al., 2009). Além disso, a presença de injúrias nas folhas pode estar relacionada com o acúmulo do AMPA (ácido aminometilfosfônico) que é o primeiro metabólito fitotóxico do glyphosate (REDDY et al. 2004). Portanto, as injúrias transitórias são derivadas de efeitos secundários do glyphosate na planta.

Na Figura 6, evidencia-se comportamento linear crescente das doses de glyphosate, no qual em todas as épocas de avaliação o aumento das doses do herbicida provocou acréscimo na porcentagem de fitotoxicidade. Conforme aumentam as gramas de equivalente ácido de glyphosate intensifica as injúrias nas plantas em 0,0012; 0,0011; 0,0015 e 0,0007 para cada grama de equivalente ácido nas épocas de 7, 14, 21 e 28 DAA, respectivamente.

Aos 7 e 14 DAA os resultados se assemelham, mostrando considerável elevação das notas de fitointoxicação com a dose de 2880 g e.a. ha⁻¹. Observa-se que a fitointoxicação mais pronunciada é obtida aos 21 DAA com a dose de 2880 g e.a. ha⁻¹. Apesar de ser em menor intensidade, mas na última época de avaliação, aos 28 DAA as injúrias ainda persistiram.

Quando a planta atingiu o pleno florescimento (estádio R2), observou-se recuperação total das plantas de soja aos sintomas de *yellow flashing* provocados pelo glyphosate. Essa observação está de acordo com os resultados obtidos para o índice de clorofila, que não foram significativos, caracterizando esse efeito causado

pelo herbicida como uma fitointoxicação transitória, pois com o passar do tempo (dias após a aplicação dos tratamentos) as injúrias desapareceram.

Em estudo Reddy e Zablotowicz (2003) verificaram que são necessárias duas semanas para que essas injúrias visuais desapareçam após serem observadas. Krenchinski et al. (2013) observaram que a dose de 2160 g e.a ha⁻¹ causaram severas injúrias em cultivares de soja, com duração até os 21 DAA. Zobiolo et al. (2010a) avaliando cultivares de soja com diferentes grupos de maturação, observaram que as cultivares precoces apresentaram maiores injúrias quando comparadas as de ciclo mais tardio. Esse resultado foi associado ao fato de que houve um período menor de desintoxicação do glyphosate ou de seus metabólitos secundários, o AMPA por exemplo (DUKE et al., 2003; REDDY et al., 2004).

Em contrapartida, Correia e Durigan (2007), avaliando a aplicação de diferentes formulações de glyphosate no estágio V3 da cultura da soja, não observaram sintomas visuais de fitotoxicidade na planta. Semelhante a esses resultados, Albrecht et al. (2014) também não verificaram injúrias com a aplicação de glyphosate no período reprodutivo da soja, mesmo com aplicação de altas doses do herbicida. Diante dos resultados divergentes sobre o efeito do herbicida na soja RR, evidencia-se que os sintomas fitotóxicos podem variar de acordo com as cultivares, o sal ou formulação de glyphosate, uso de altas doses, o estágio de aplicação do herbicida e as condições ambientais reinantes.

Em relação aos produtos utilizados no manejo de reversão de fitointoxicação (Mn e biorregulador), houve efeito significativo somente aos 21 e 28 DAA dos tratamentos (Figura 7), demonstrando semelhança no comportamento dos tratamentos nas duas épocas de avaliação.

De acordo com a escala da SBCPD (1995), nas duas épocas de avaliação (21 e 28 DAA) verificou-se sintomas de fitointoxicação muito leve. Aos 21 DAA evidencia-se que à associação dos produtos (Mn + biorregulador) proporcionam menor porcentagem na nota de fitointoxicação, quando comparado à aplicação isolada de Mn. E aos 28 DAA os manejos com biorregulador mostraram-se superiores a aplicação isolada de Mn, uma vez que estes apresentaram menor porcentagem de fitointoxicação. Diante dos resultados obtidos, a aplicação do biorregulador mostrou-se superior ao manganês, resultando em menores notas de fitointoxicação.

No presente estudo, a interação do ambiente, formulação do glyphosate (sal de isopropilamina + sal de potássio) e genótipo, demonstrou fitotoxicidade “muito leve” na soja RR. Nesse caso, os manejos empregados não se mostraram efetivamente como “reversores” da fitointoxicação.

Com relação aos demais resultados obtidos, não foram observados efeitos significativos nos fatores principais e nas interações, para as variáveis: índice de clorofila, altura de planta, altura de inserção da primeira vagem, número de vagens, massa de mil grãos e produtividade. As médias encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5. Médias do índice de clorofila (CLO), altura de plantas (AP), altura de inserção da primeira vagem (AIPV), número de vagens (NV), massa de mil grãos (MMG) e produtividade (PROD) da cultivar de soja M6210 RR2 com aplicação de Mn, biorregulador e glyphosate. Safra 2016/17. Palotina – PR.

	CLO ^{ns}	AP ^{ns} (cm)	AIPV ^{ns} (cm)	NV ^{ns}	MMG ^{ns} (g)	PROD ^{ns} (kg ha ⁻¹)
Manejos						
Sem aplicação	29,31	111,70	22,16	65,57	126,44	3197,04
Manganês	29,16	111,70	22,70	69,50	129,12	3294,37
Biorregulador	29,48	112,60	22,76	66,50	129,41	3460,68
Manganês x Biorregulador	29,40	112,60	21,84	65,93	129,32	3183,45
Glyphosate (g e.a. ha⁻¹)						
0	29,48	111,72	22,65	71,57	128,73	3313,89
720	29,21	111,60	22,20	66,51	126,62	3305,56
1440	29,06	111,10	22,84	65,50	127,75	3051,52
2160	29,37	113,80	22,07	64,54	128,76	3419,44
2880	29,55	112,40	22,00	65,45	131,11	3293,28
CV (%)	2,86	3,86	8,23	10,86	4,79	12,73
Média	29,34	112,14	22,35	66,78	128,59	3277,61

^{ns} não significativo

Observa-se que, apesar do glyphosate ter causado injúrias na soja RR, esse efeito fitotóxico não interferiu nas características agrônômicas e nos componentes de produção da cultivar de soja M6210 RR2. Ou seja, as demais variáveis avaliadas neste estudo não foram influenciadas significativamente pela aplicação de glyphosate, independente da dose utilizada e da interação entre os fatores (Mn e biorregulador) estudados.

A ausência de respostas do efeito do glyphosate para essas variáveis pode estar relacionada com a recuperação das plantas após a aplicação do herbicida,

facilitada devido às condições ambientais (temperatura e precipitação) favoráveis ao crescimento vegetativo da soja (Figura 5). Uma vez que, os sintomas fitotóxicos causados pelo glyphosate poderiam ser mais expressivos, se as plantas fossem expostas a qualquer outro tipo de estresse. Outra possível causa, pode ser a alta tolerância da cultivar estudada à formulação de glyphosate (sal de isopropilamina + sal de potássio) aplicada. O que demonstra que o herbicida empregado foi altamente seletivo para a cultivar utilizada e diante das condições ambientais registradas.

O mesmo pode ter acontecido para falta de resposta do efeito do biorregulador, pois de acordo com Campos et al. (2008) os reguladores vegetais influenciam em muitos órgãos das plantas, porém essa resposta depende de vários fatores como a espécie, parte da planta, do estágio de desenvolvimento, da concentração, da interação entre os outros reguladores e também dos fatores ambientais. Corroborando essa observação, Moterle et al. (2008) relatam que para se obter melhores resultados, bem como melhorar a eficácia do biorregulador na cultura da soja, um dos princípios básicos é a condição climática adversa. Condição essa não observada durante a condução inicial do experimento, período em que foi realizada a aplicação dos tratamentos.

Quanto à ausência de resposta das variáveis à aplicação de manganês, esse resultado pode estar relacionado ao alto teor do micronutriente presente no solo da área de estudo ($106,40 \text{ mg dm}^{-3}$) (Tabela 3).

Apesar de ter apresentando resultado significativo para os sintomas de fitointoxicação, a variável índice de clorofila não foi afetada pela aplicação de glyphosate. Essa ausência de resposta pode estar relacionada à leve injúria observada nas plantas, ou ainda, pode ter ocorrido a desintoxicação do glyphosate ou de seus metabólitos, dentre eles o AMPA (DUKE et al., 2003; REDDY et al., 2004). Uma vez que, no presente estudo a avaliação do índice de clorofila foi realizada no estágio R2 (pleno florescimento), período esse no qual a planta não apresentava mais as injúrias visuais que foram provocadas após a aplicação do herbicida no estágio V4 da cultura da soja.

Dessa forma, os tratamentos podem ter reduzido o índice de clorofila dias após a aplicação, como foi observado as injúrias após a aplicação dos tratamentos, porém no momento em que foi realizada a avaliação a planta já havia se recuperado de tal efeito e os índices se mostraram normais. O mesmo resultado foi relatado por Krenchinski et al. (2013), que apesar de observarem redução no índice de clorofila

da soja aos 3, 7, 14, 21, 28, e 35 DAA, com a aplicação de glyphosate, esse efeito desapareceu aos 42 DAA, demonstrando assim um potencial de recuperação da planta, pois a partir desse período os índices mostraram-se idênticos ao das plantas que não receberam a aplicação do herbicida.

A altura de planta (112,14 cm) e altura de inserção da primeira vagem (22,35 cm) não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos estudados. Devido a tolerância à aplicação do glyphosate, a soja RR2 manteve seu desenvolvimento vegetativo mesmo após a aplicação de dosagens elevadas do herbicida. Após a aplicação dos tratamentos, observou-se que apesar das plantas apresentarem-se injuriadas, o crescimento da haste principal continuou normalmente com a emissão de novos ramos laterais. Resultado semelhante foi observado por Reis et al. (2010), que avaliaram duas formulações e cinco doses de glyphosate aplicado no estágio V5 e não observaram efeito nessa variável. A ausência desse efeito com a aplicação de glyphosate isolado e/ou associado ao manganês também foi verificado por Basso et al. (2011).

Os componentes de produção: número de vagens por planta e massa de mil grãos não foram influenciados pelos tratamentos avaliados. De forma semelhante, em estudo conduzido por Correia e Durigan (2007), avaliando o efeito da aplicação de três formulações de glyphosate na soja RR2, não verificaram influência do herbicida no desenvolvimento reprodutivo da soja. Albrecht et al. (2014) também não observaram efeito no número de vagens por planta e na massa de 100 grãos com a aplicação de doses e diferentes formulações de glyphosate no período reprodutivo da soja RR. O contrário foi observado por Melhorança Filho et al. (2010), que verificaram redução do número de vagens com a dose de 1800 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate aplicado no estágio V4 da cultura da soja.

Nas condições em que foi realizado o estudo, observou-se que com a aplicação de glyphosate na soja RR2, leves sintomas de fitointoxicação podem ocorrer. No entanto, a planta mostrou capacidade de recuperação desses efeitos e desse modo, não interferiu na produtividade de grãos. Diante disso, não foi verificado influência das doses de glyphosate e também não houve efeito da aplicação foliar de Mn e biorregulador nessa variável.

Resultados semelhantes foram obtidos por Ferreira et al. (2013) que verificaram maior percentual de fitointoxicação com a dose de 2880 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate, contudo, sem comprometer o rendimento de grãos. Estes resultados

contrariam aqueles obtidos por Santos et al. (2007), que ao avaliarem três formulações de glyphosate, verificaram até 40% de fitointoxicação na soja e também observaram redução no rendimento de grãos.

Experimento realizado por Bailey et al. (2002), avaliando a interação de glyphosate e Mn, não verificaram influência dos tratamentos sobre a produtividade de grãos. Stefanello et al. (2011) também não observaram influência nessa variável com a aplicação de Mn e glyphosate em diferentes estádios fenológicos.

A aplicação de dosagens elevadas de glyphosate, independente da formulação utilizada, causam injúrias nas folhas, que podem ser consideradas como sintomas fitotóxicos. Entretanto, se as condições ambientais e nutricionais forem favoráveis, as plantas irão se desenvolver normalmente, inclusive emitindo outros trifólios sem danos, o que poderá não interferir significativamente na produtividade de grãos (REIS et al., 2010).

Considerando os resultados desta pesquisa e com base na literatura citada em relação à resposta da soja RR ao glyphosate, manganês e ao biorregulador, evidencia-se a importância da complementação de pesquisas que visem avaliar outras formulações de glyphosate, genótipos, locais e anos/safra de cultivo, com o propósito de reconsiderar o potencial de utilização do uso do manganês e biorregulador na soja RR manejada com o glyphosate.

4.4 CONCLUSÕES

O herbicida glyphosate (sal de isopropilamina + sal de potássio) mostrou-se seletivo à soja RR2, até a dose de 2880 g e.a. ha⁻¹, causando baixa fitointoxicação na planta e não interferindo nas características agronômicas e nos componentes de produção. Em relação aos manejos empregados, o manganês e o biorregulador não se destacaram como reversores da fitointoxicação.

REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, A. J. P.; ALBRECHT, L. P.; KRENCHINSKI, F. H.; PLACIDO, H. F.; LORENZETTI, J. B.; VICTORIA FILHO, R.; BARROSO, A. A. M. Behavior of RR soybeans subjected to different formulations and rates of glyphosate in the reproductive period. **Planta Daninha**, v.32, n.4, p.851-859, 2014.
- ALBRECHT, L. P.; BARBOSA, A. P.; SILVA, A. F. M.; MENDES, M. A.; MARASCHI-SILVA, L. M.; ALBRECHT, A. J. P. Desempenho da soja Roundup Ready sob aplicação de glyphosate em diferentes estádios. **Planta Daninha**, v.29, n.3, p.585-590, 2011.
- BAILEY, W. A.; POSTON, D. H.; WILSON, H. P.; HINES, T. E. Glyphosate interactions with manganese. **Weed Technology**, v.16, p.792-799, 2002.
- BASSO, C. J.; SANTI, A. L.; LAMEGO, F. P.; GIROTTO, E. Aplicação foliar de manganês em soja transgênica tolerante ao glyphosate. **Ciência Rural**, v.41, n.10, p.1726-1731, 2011.
- BONNY, S. Genetically modified glyphosate-tolerant soybean in the USA: adoption factors, impacts and prospects. **Agronomy for Sustainable Development**, v.28, n.1, p.21-32, 2008.
- BOTT, S.; TEFAMARIAM, T.; CANDAN, H.; CAKMAK, I.; RÖMHELD, V.; NEUMANN, G. Glyphosate-induced impairment of plant growth and micronutrient status in glyphosate-resistant soybean (*Glycine max* L.). **Plant Soil**, v.312, n.1, p.185-194, 2008.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Secretaria de Defesa Agropecuária, 2009. 398p.
- CAKMAK, I.; YAZICI, A.; TUTUS, Y.; OZTURK, L. Glyphosate reduced seed and leaf concentrations of calcium, manganese, magnesium and iron in non-glyphosate resistant soybean. **European Journal of Agronomy**, v.31, n.1, p.114-119, 2009.
- CAMPOS, M. F.; ONO, E. O.; BOARO, C. S. F.; RODRIGUES, J. D. Análise de crescimento em plantas de soja tratadas com substâncias reguladoras. **Revista Biotemas**, v.21, n.3, p.53-63, 2008.
- CAVIGLIONE, J. H.; KILHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR. 2000. CD-ROM.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos - Safra 2017/18**. Quarto levantamento, Brasília, p.1-132, janeiro 2018.
- CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C. Seletividade de diferentes herbicidas à base de glyphosate a Soja RR. **Planta Daninha**, v.25, n.2, p.375-379, 2007.

DUKE, S. O.; RIMANDO, A. M.; PACE, P. F.; REDDY, K. N.; SMEDA, R. J. Isoflavone, glyphosate, and aminomethylphosphonic acid levels in seeds of glyphosate-treated, glyphosate-resistant soybean. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.51, p.340-344, 2003.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil: 2014**. Embrapa Soja, 2013. 266p. (Sistemas de Produção, 16).

FERREIRA, R. L.; SILVA, A. G.; SIMON, G. A.; TEIXEIRA, I. R.; MARTINS, P. D. S. Glyphosate em pós-emergência na soja Roundup Ready. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.12, n.2, p.151-161, 2013.

FREITAS, M. C. M. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia biosfera**, v.7, n.12, p.1-12, 2011.

KRENCHINSKI, F. H.; ALBRECHT, L. P.; ALBRECHT, A. J. P.; CESCO, V. J. S.; RODRIGUES, D. M.; PORTZ, R. L.; ZOBIOLE, L. H. S. Glyphosate affects chlorophyll, photosynthesis and water use of four Intacta RR2 soybean cultivars. **Acta Physiologiae Plantarum**, 39:63, 2017.

MELHORANÇA FILHO, A. L.; MARTINS, D.; PEREIRA, M. R. R.; ESPINOSA, W. R. Efeito de glyphosate sobre características produtivas em cultivares de soja transgênica e convencional. **Bioscience Journal**, v.26, n.3, p.322-333, 2010.

MOTERLE, L. M.; SANTOS, R. F.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; BARBOSA, M. C. Efeito da aplicação de biorregulador no desempenho agrônômico e produtividade da soja. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.30, p.701-709, 2008.

REDDY, K. N.; RIMANDO, A. M.; DUKE, S. O. Aminomethylphosphonic acid, a metabolite of glyphosate, causes injury in glyphosate-treated, glyphosate-resistant soybean. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.52, p.5139-5143, 2004.

REDDY, K. N.; ZABLOTOWICZ, R. M. Glyphosate-resistant soybean response to various salts of glyphosate and glyphosate accumulation in soybean nodules. **Weed Science**, v.51, p.496–502, 2003.

REIS, T. C.; NEVES, A. F.; ANDRADE, A. P.; SANTOS, T. S. Efeitos de fitotoxicidade na soja RR tratada com formulações e dosagens de Glifosato. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.10, n.1, p.34-43, 2010.

SANTOS, H. G.; ALMEIDA, J. A.; OLIVEIRA, J. B.; LUMBRERAS, J. F.; ANJOS, L. H. C.; COELHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, V. A. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília, DF, EMBRAPA, 2013. 353p.

SANTOS, J. B.; FERREIRA, E. A.; REIS, M. R.; SILVA, A. A.; FIALHO, C. M. T.; FREITAS, M. A. M. Avaliação de formulações de glyphosate sobre soja Roundup Ready. **Planta Daninha**, v.25, n.1, p.165-171, 2007.

SAS INSTITUTE INC. **SAS University Edition**: installation guide for Windows. Cary: SAS Institute, 2014.

SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS – SBCPD. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina, 1995. 42p.

STEFANELLO, F. F.; MARCHETTI, M. E.; SILVA, E. F.; STEFANELLO, J.; DORETO, R. B. S.; NOVELINO, J. O. Efeito de glyphosate e manganês na nutrição e produtividade da soja transgênica. **Semina: Ciências Agrárias**, v.32, n.3, p.1007-1014, 2011.

WAGNER, J. F.; MEROTTO JÚNIOR, A. Parâmetros fisiológicos e nutricionais de cultivares de soja resistentes ao glifosato em comparação com cultivares isogênicas próximas. **Ciência Rural**, v.44, n.3, p.393-399, 2014.

YAMADA, T.; CASTRO, P. R. C. **Efeitos do glifosato nas plantas**: implicações fisiológicas e agronômicas. International Plant Nutrition Institute. Piracicaba: Informações Agronômicas, 2007. 24p. (Boletim Técnico 119).

ZOBIOLE, L. H. S.; OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; BIFFE, D. F. Prevenção de injúrias causadas por glyphosate em soja RR por meio do uso de aminoácido. **Planta Daninha**, v.29, n.1, p.195-205, 2011.

ZOBIOLE, L. H. S.; OLIVEIRA JR., R. S.; HUBER, D. M.; CONSTANTIN, J.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA JR., A. Glyphosate reduces shoot concentrations of mineral nutrients in glyphosate-resistant soybeans. **Plant Soil**, v.328, n.1, p.57-69, 2010a.