Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Absorção e distribuição de Mn de fertilizantes foliares aplicados sem e com
glifosato em soja Intacta RR2 PRO® e efeito na produtividade de grãos

Aijânio Gomes de Brito Silva

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de
Plantas

Piracicaba
2017

Aijânio Gomes de Brito Silva
Engenheiro Agrônomo

**Absorção e distribuição de Mn de fertilizantes foliares aplicados sem e com glifosato em
soja Intacta RR2 PRO® e efeito na produtividade de grãos**
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **TAKASHI MURAOKA**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de
Plantas

Piracicaba
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Silva, Aijânio Gomes de Brito

Absorção e distribuição de manganês de fertilizantes foliares aplicados sem e com glifosato em soja Intacta RR2 PRO® e efeito na produtividade de grãos / Aijânio Gomes de Brito Silva. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2017.

90 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Absorção foliar 2. Micronutrientes 3. Fontes de manganês 4. Soja transgênica 5. EDTA-Mn I. Título

DEDICATÓRIA

*À minha mãe **Voneide Gomes de Brito** por todo amor, educação e ensinamentos dados,
às minhas irmãs **Janaína** e **Taína** e aos meus irmãos **Clébio**, **Diego** e **Jhonny** pela amizade,
incentivo, companheirismo e pela presença constante em minha vida,
dedico.*

*Aos meus queridos avós (in memoriam), **Emiliano de Brito Neto** e **Inez Gomes de Brito**,
ofereço.*

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora Aparecida pelo dom da vida e pela luz que nos oferece todo dia para seguirmos caminhando.

Ao professor e orientador Dr. Takashi Muraoka pela oportunidade de fazer parte do seu grupo de trabalho, orientação, ensinamentos, confiança, paciência e humildade como pessoa e profissional.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e à Embrapa Agrobiologia pela formação acadêmica e pessoal durante a graduação.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura e ao Laboratório de Fertilidade do Solo.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Aos professores Dr. Antonio E. Boaretto, Dr. Gil Miguel S. Câmara e Dr. Rafael Otto pelas sugestões no meu trabalho de pesquisa.

Ao professor Dr. Anderson R. da Silva (IFGoiano) pela ajuda em parte das análises estatísticas.

Aos professores Dr. Pedro J. Christoffoleti pela doação do herbicida usado nos experimentos, Dr. Fernando D. Andreote e Dr. Marcos Y. Kamogawa pelo auxílio no planejamento de análises microbiológicas e de preparo de fertilizantes, respectivamente.

Às técnicas Marileuza Elias e Sandra Pereira pelas orientações e auxílio durante a realização de análises no Laboratório de Fertilidade do Solo, à Cleusa Cabral e Joaquim Everaldo dos Santos pela pelo auxílio em análises laboratoriais e a Wagner Piccinini pelo transporte de terra para os experimentos em casa de vegetação.

À empresa Produquímica – Centro de Pesquisa Geraldo Schultz pela disponibilização das áreas experimentais dos estudos em campo e pela grande ajuda dos gerentes de pesquisa Me. Fábio Scudeler e Dra. Daniela Vitti e dos técnicos de campo Sergio e Douglas na instalação e condução dos experimentos em campo.

Ao engenheiro agrônomo da Monsanto Luis Pinho pela doação de sementes.

Aos amigos Guilherme Franco, Guilherme Hipólito, José Marcos Leite, Juliano Marcelino, Rafael Baptista e Willian Pereira pela convivência, ajuda e amizade antes e durante o meu doutorado e também à Silvia Paiva, Roberta Coutinho e Carina Nascimento pela amizade.

À minha namorada Camila Fernanda Duarte pelo companheirismo, carinho, paciência e incentivo durante a realização do meu trabalho.

Ao meu irmão Jhonny Rodrigo de Brito Araújo pelo companheirismo e ajuda nos experimentos em campo e casa de vegetação.

Aos amigos Acácio Mira, Nelson Leal, Angela Sanchez, João Koch e Dener Oliveira pelas conversas, amizade e meses ou anos de convívio na mesma casa.

Aos amigos de orientação e salinha Alinne Silva, Camila Leite, Cristiano Picolla, Fábio César, Josimar Reis, Marco Ávila (e seu pai Sr. Antonio Ávila pela ajuda na amostragem e coleta de solo para os experimentos em casa de vegetação), Nericles Marcante, Thaís Soares e Thiago Oliveira pela amizade, ótimo convívio, ajuda e sugestões para a realização do meu trabalho de pesquisa.

Aos amigos da ESALQ Ananias Dias Júnior, André Souza, Antonio Florentino, Arnaldo Souza, Beatriz Nastaro, Bruna Arruda, Danilo Romero, Diogo da Costa, Eloá Araújo, Greice Leal, Gabriel Nóbrega, Hermes Almeida, Ingrid Santana, Izaías Lisboa, João Paulo Francisco, José Lucas, Karina Marques, Letícia de Pierri, Laísa Pimentel, Leandro Filho, Luana Cadete, Lucas Satiro, Marcos Rodrigues, Marta Coelho, Matheus Barreto, Maurício Cherubin, Renato Lima, Sara Duarte, Sarah Tenelli, Thaís Pessoa, Thales Satolo, Valdevan dos Santos e sua esposa Roseclenia e filha Lohane, Wanderlei Bieluczyk e Wanderson Mendes pela amizade, conversas nas disciplinas e no Rucas e pelo convívio durante esses anos. Agradeço também a Rafaela Migliavacca pela ajuda nos experimentos em casa de vegetação.

Aos amigos Ana Paula Telles e Arthur Pereira pela amizade e trabalho durante o estágio PAE na disciplina de Adubos e Adubação.

Aos funcionários da limpeza, especialmente a Sra. Hilda, Sra. Luciana, aos “primos” Valdeci e Charles, que com simplicidade, discrição e dedicação tornaram diariamente o ambiente de trabalho agradável.

À Marta Campos pelo auxílio em tarefas ligadas à secretaria de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas.

À Eliana Garcia (Informação Científica da Biblioteca da ESALQ) pela correção desse trabalho conforme as normas de elaboração de tese e pelo profissionalismo e bom senso.

A todos que fizeram parte da minha vida durante a realização deste.

MUITO OBRIGADO!

“Farming looks mighty easy when your plow is a pencil and you're a thousand miles from the corn field.”

(Dwight David Eisenhower, 1956)

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE TABELAS.....	15
1. INTRODUÇÃO.....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1. MANGANÊS	19
2.2. MANGANÊS NO SOLO E FONTES.....	19
2.3. MANGANÊS NA PLANTA	21
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1. EXPERIMENTOS EM CASA DE VEGETAÇÃO	25
3.1.1. Estudo I: Absorção de Manganês.....	30
3.1.2. Estudo II: Distribuição de Manganês	33
3.2. EXPERIMENTOS EM CAMPO	36
3.2.1. Estudo III: Componentes de Produção e Rendimento de Grãos.....	36
4. RESULTADOS.....	41
4.1. ESTUDO I: ABSORÇÃO DE MANGANÊS.....	41
4.1.1. Massa de Matéria Seca de Trifólios Tratados	41
4.1.2. Massa de Matéria Seca de Haste	42
4.1.3. Teor de Manganês nos Trifólios Tratados.....	43
4.1.4. Teor de Manganês na Haste	45
4.1.5. Conteúdo de Manganês nos Trifólios Tratados	46
4.1.6. Conteúdo de Manganês na Haste	48
4.1.7. Absorção de Manganês.....	50
4.2. ESTUDO II: DISTRIBUIÇÃO DE MANGANÊS.....	52
4.2.1. Estudo II: Trifólios Tratados, Trifólios não Tratados, Hastes, Vagens e Grãos	52
4.2.2. Massa de Matéria Seca	54
4.2.3. Teor de Manganês nos Trifólios Tratados.....	55
4.2.4. Teor de Manganês nos Trifólios não Tratados.....	56
4.2.5. Teor de Manganês na Parte Aérea da Planta.....	57
4.2.6. Conteúdo de Manganês nos Trifólios Tratados	58
4.2.7. Conteúdo de Manganês nas Hastes.....	59
4.2.8. Conteúdo de Manganês nos Grãos	59
4.2.9. Conteúdo de Manganês na Parte Aérea da Planta	61
4.2.10. Componentes de Produção – Casa de Vegetação	62
4.2.11. Número de Vagens por Planta	62
4.2.12. Número de Grãos por Planta	63
4.2.13. Número de Grãos por Vagem	64
4.2.14. Massa de Matéria Seca de 100 Grãos.....	65
4.3. ESTUDO III: COMPONENTES DE PRODUÇÃO E RENDIMENTO DE GRÃOS EM CAMPO	66
4.3.1. Massa de Matéria Seca e Rendimento de Grãos	66

4.3.2. Teor de Manganês nas Vagens.....	66
4.3.3. Conteúdo de Manganês nos Grãos	66
4.3.4. Número de Grãos por Vagem – Campo	67
4.3.5. Massa de Matéria Seca de 100 Grãos	68
5. DISCUSSÃO.....	71
5.1. ESTUDO I: ABSORÇÃO DE MANGANÊS	71
5.2. ESTUDO II: DISTRIBUIÇÃO DE MANGANÊS.....	73
5.3. ESTUDO III: COMPONENTES DE PRODUÇÃO E RENDIMENTO DE GRÃOS EM CAMPO.....	75
6. CONCLUSÕES	77
REFERÊNCIAS	79
APÊNDICES.....	87
ANEXOS.....	89

RESUMO

Absorção e distribuição de Mn de fertilizantes foliares aplicados sem e com glifosato em soja Intacta RR2 PRO® e efeito na produtividade de grãos

Devido aos problemas de deficiência de Mn relatados em soja Roundup Ready, à tendência de aumento de cultivo da soja Intacta RR2 PRO® no Brasil e à possibilidade de aumento de rendimentos desta soja relacionado à resposta a adubação foliar com Mn, realizou-se o presente trabalho. Este foi dividido em dois estudos em casa de vegetação (estudos I e II) e um em campo (estudo III). Cada estudo foi realizado em dois solos (um com alto teor de Mn e outro com baixo teor de Mn), avaliando-se os resultados de cada um separadamente. Estudo I: Dois experimentos foram realizados em delineamento em blocos aleatorizados, com quatro repetições e em esquema fatorial $2 \times 6 \times 4$ com parcela subdividida no tempo. Formaram-se 48 tratamentos pela combinação de dois níveis do fator soja (cultivada sem ou com glifosato) e seis do fator fonte do nutriente (sem Mn ou Controle, Cloreto, Sulfato, Carbonato, EDTA e Citrato) alocados nas parcelas principais, e de quatro níveis do fator tempo (4, 24, 48 e 72 h após a aplicação do fertilizante) alocados nas subparcelas. Cada tratamento foi aplicado com uma haste flexível de algodão nas folhas e nos três primeiros trifólios (trifólios tratados) da planta de soja em estágio V4. Avaliou-se a absorção foliar de Mn através da determinação de massa de matéria seca, teor e conteúdo de Mn dos trifólios tratados e da haste de plantas de soja ainda em estágio V4. Estudo II: Dois experimentos foram realizados em delineamento em blocos aleatorizados, com quatro repetições e em esquema fatorial 2×6 . Formaram-se 12 tratamentos pela combinação de dois níveis do fator soja e seis níveis do fator fonte do nutriente. Cada tratamento foi aplicado nos trifólios tratados da planta de soja em estágio V4. Avaliou-se a distribuição foliar de Mn através da determinação de massa de matéria seca, teor e conteúdo de Mn dos trifólios tratados, hastes, trifólios formados após a aplicação dos tratamentos (trifólios não tratados), vagens e grãos de plantas de soja em estágio R8. Estudo III: Realizaram-se dois experimentos em delineamento similar ao do estudo II, mas com seis blocos. Cada tratamento foi aplicado com pulverizador de pressão constante sobre a parte aérea de plantas de soja em estágio V4. Avaliou-se a massa de matéria seca, teor e conteúdo de Mn das hastes, vagens e grãos de plantas de soja em estágio R8. Foram avaliados também componentes de produção e rendimento de grãos. A quantidade absorvida de Mn é dependente da fonte utilizada e a fonte Cloreto foi a que proporcionou maior absorção de Mn, enquanto a fonte EDTA, apresentou maior eficiência em aumentar o conteúdo de Mn das hastes logo após a aplicação. O Mn aplicado nos trifólios pode ser redistribuído desta parte para outras da planta, embora aparentemente em pequenas quantidades, e até o final do ciclo da soja estará em maior proporção nos trifólios tratados. A soja tratada com Mn não apresentou grãos com maior acúmulo deste, mas na soja cultivada no “solo -Mn” e sem glifosato o conteúdo de Mn foi maior do que na soja com glifosato. Em termos de produtividade de grãos, a adubação foliar com Mn em aplicação única na soja no estágio V4 recebendo ou não aplicação de glifosato e cultivada em solo originalmente com alto teor de Mn não proporcionou diferenças.

Palavras-chave: Absorção foliar de Mn; Micronutrientes; Fontes de manganês; Soja transgênica; EDTA-Mn

ABSTRACT

Absorption and distribution of foliar applied Mn fertilizers with and without glyphosate in Intacta RR2 PRO™ soybean and effect on grain yield

Due to Mn deficiency problems related to Roundup Ready soybean, the tendency to increase cultivation of Intacta RR2 PRO™ soybeans in Brazil and to the possibility of increased yield of this related to the response to Mn foliar fertilization, this work was carried out. It was divided into two greenhouse studies (I and II) and one in the field (study III). Each study was performed in two soils (one with high content of Mn and the other with low content), evaluating the results of each one separately. Study I: the two trials carried out by using factorial split-plot design, with three factors in four replications in randomized complete block design (RCBD). Soybean factor with two levels (without and with glyphosate) and Mn source factor with six levels (Control, Chloride, Sulphate, Carbonate, EDTA and Citrate), both distributed in factorial form into main plots and time factor (4, 24, 48 and 72 h after fertilizer application) distributed in the sub-plots. Each treatment was applied with a swab in the unifoliate leaves and the first three trifoliate (treated trifoliate) of soybean in V4 stage. Mn foliar absorption was determined by dry matter mass, concentration and content of Mn of treated trifoliate and stem of soybean plants in the V4 stage. Study II: The two trials carried out by using 2×6 factorial with four replications in RCBD. Soybean factor with two levels and Mn fertilizer source factor with six levels. Each treatment was applied to the treated trifoliate of the V4 soybean plant. the leaf distribution of Mn was determined by the dry matter mass, concentration and Mn content of the treated trifoliate, stems, trifoliate formed after the application of the treatments (untreated trifoliate), pods and grains of soybean plants in the R8 stage. Study III: Two experiments were carried out in a similar design of study II, but with six replications. Each treatment was applied with a constant pressure sprayer on the above ground part of V4 soybean plants. The foliar Mn was evaluated by determining the dry matter mass, content and Mn content of the stems, pods and grains of soybean plants at stage R8. Production components and grain yield were also evaluated. The absorbed amount of Mn is dependent on the source used and the Chloride is the one that provided the highest Mn absorption, but sources such as EDTA showed a higher efficiency in increasing the Mn content of the stems soon after application. The Mn applied in the trifoliate can be redistributed from this part to others of the plant, although apparently in small amounts, and will be in greater proportion in the treated trifoliate until the end of the soybean cycle. Mn-treated soybean did not present grains with higher accumulation, but in soybean cultivated grown in soil with low Mn concentration and without glyphosate the Mn content was higher than in soybean with glyphosate. In terms of grain yield, the foliar fertilization with Mn in single application in the soybean V4 stage without or with glyphosate grown in soil with high Mn content did not present significant differences.

Keywords: Foliar absorption of Mn; Micronutrients; Manganese sources; Genetically modified soybean; Mn-EDTA

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Procedimento de secagem de terra e preparo dos vasos para cultivo da soja. a) terra sendo espalhada para secagem em lona plástica sobre bancada; b) terra em secagem ao ar livre; c) material para peneirar a terra e encher os sacos plásticos que acondicionarão a terra dentro do vaso; d) pesagem de terra; e) conjunto de vasos de terra do Latossolo Vermelho-Amarelo coletado em Piracicaba/SP (“solo +Mn”); f) conjunto de vasos de terra do Latossolo coletado em Areado/MG (“solo -Mn”); g) vista geral de todos os vasos que foram utilizados nos quatro experimentos; h) vasos com terra do “solo +Mn” (1) e do “solo -Mn” (2); e i) vasos cobertos com lona plástica até a instalação dos experimentos. 25
- Figura 2.** Temperatura média, umidade relativa do ar dentro da casa de vegetação e principais eventos ocorridos no período de condução dos experimentos. A seta com linha cheia refere-se à soja cultivada no “solo +Mn” e a seta com linha tracejada à cultivada no “solo -Mn”. Em emergência a seta refere-se às sojas cultivadas no “solo +Mn” e “solo -Mn”. 27
- Figura 3.** Ilustração dos trifólios tratados e trifólios não tratados de uma planta de soja, sacos plásticos com zíper para armazenamento dos trifólios tratados e etiqueta de identificação do tratamento. No estudo I haviam quatro plantas e no estudo II duas plantas por vaso. Adaptado de Heenan e Campbell (1980). 34
- Figura 4.** Procedimento de coleta de trifólios tratados em senescência de plantas de soja. Ilustração da coleta no tratamento soja com glifosato e EDTA apresentando sintomas de fitotoxidez no dia 14/11/2015 (sete dias e meio ou 180 h após a aplicação deste tratamento). a) detalhe de folíolo lateral senescente no 1º trifólio; b) planta de soja com folíolo lateral senescente; c) outro detalhe do folíolo lateral senescente; d) início da coleta do folíolo lateral; e) folíolo lateral separado do trifólio; f) folíolo sendo colocado no saco plástico de zíper; g) folíolo dentro do saco; h) planta de soja sem o folíolo lateral; i) sacos de papel para armazenamento temporário dos trifólios não tratados. 35
- Figura 5.** Imagem de satélite das áreas experimentais em Itacemópolis/SP em 31 de março de 2016. Fonte: Google Earth™ Mapping Service. 37
- Figura 6.** Esquema da parcela experimental ilustrando os sulcos de semeadura (linhas pontilhadas) e a área útil (área sombreada). 38
- Figura 7.** Temperatura máxima e mínima, pluviosidade e principais eventos ocorridos no período de condução dos experimentos em campo. A seta com linha cheia refere-se à soja cultivada no “solo +Mn” e a seta com linha tracejada à soja cultivada no “solo -Mn”. 40
- Figura 8.** Massa de matéria seca de trifólios tratados de soja Intacta RR2 PRO® em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” e em função do fator tempo. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 48$). CV parcela = 12,55% e CV subparcela = 12,04%. $\bar{x} = 0,82$ 41
- Figura 9.** Massa de matéria seca de trifólios de soja Intacta RR2 PRO® em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função da interação soja $\times$ tempo. Médias com a mesma letra minúscula dentro do tempo e maiúscula dentro de soja não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 24$). CV parcela = 13,17% e CV subparcela = 13,34%. $\bar{x} = 0,85$ 42
- Figura 10.** Massa de matéria seca de haste de soja Intacta RR2 PRO® em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” e em função do fator soja (a) e do fator tempo (b). Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 96$ e 48, respectivamente). CV parcela = 17,26% e CV subparcela = 20,99%. $\bar{x} = 0,94$ 42
- Figura 11.** Massa de matéria seca de haste de soja Intacta RR2 PRO® em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função do fator tempo. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 48$). CV parcela = 25,94% e CV subparcela = 20,66%. $\bar{x} = 1,10$ 43
- Figura 12.** Teor de Mn nos trifólios tratados de soja Intacta RR2 PRO® em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” e em função da interação soja $\times$ fonte de Mn. Médias com a mesma letra minúscula dentro da fonte e maiúscula entre fontes não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 16$). CV parcela = 40,74% e CV subparcela = 21,09%. $\bar{x} = 427,52$ 43

Figura 13. Teor de Mn nos trifólios tratados de soja Intacta RR2 PRO[®] em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função da interação soja × fonte × tempo. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Letras precedidas do número 1 comparam o fator fonte dentro de cada nível de tempo e de soja, letras precedidas do número 2 comparam o fator soja dentro de cada nível de tempo e de fonte, letras precedidas do número 3 comparam o fator tempo dentro de cada nível de soja e de fonte. Barras indicam o erro padrão da média ($n = 4$). CV parcela = 53,61 e CV subparcela = 24,30%. $\bar{x} = 398,13$44

Figura 14. Teor de Mn na haste de soja Intacta RR2 PRO[®] em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” e em função da interação fonte × tempo. Médias com a mesma letra minúscula dentro do tempo e maiúscula entre tempos não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 8$). CV parcela = 51,11% e CV subparcela = 44,44%. $\bar{x} = 39,80$45

Figura 15. Teor de Mn na haste de soja Intacta RR2 PRO[®] em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função da interação soja × fonte × tempo. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Letras precedidas do número 1 comparam o fator fonte dentro de cada nível de tempo e de soja, letras precedidas do número 2 comparam o fator soja dentro de cada nível de tempo e de fonte, letras precedidas do número 3 comparam o fator tempo dentro de cada nível de soja e de fonte. Barras indicam o erro padrão da média ($n = 4$). CV parcela = 41,00% e CV subparcela = 36,90%. $\bar{x} = 36,04$46

Figura 16. Conteúdo de Mn nos trifólios tratados de soja Intacta RR2 PRO[®] em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” e em função da interação soja × fonte de Mn. Médias com a mesma letra minúscula dentro da fonte e maiúscula entre fontes não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 16$). CV parcela = 38,75% e CV subparcela = 21,38%. $\bar{x} = 0,35$47

Figura 17. Conteúdo de Mn nos trifólios tratados de soja Intacta RR2 PRO[®] em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função da interação soja × fonte × tempo. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Letras precedidas do número 1 comparam o fator fonte dentro de cada nível de tempo e de soja, letras precedidas do número 2 comparam o fator soja dentro de cada nível de tempo e de fonte, letras precedidas do número 3 comparam o fator tempo dentro de cada nível de soja e de fonte. Barras indicam o erro padrão da média ($n = 4$). CV parcela = 57,44% e CV subparcela = 26,99%. $\bar{x} = 0,33$48

Figura 18. Conteúdo de Mn na haste de soja Intacta RR2 PRO[®] em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” e em função da interação soja × fonte × tempo. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Letras precedidas do número 1 comparam o fator fonte dentro de cada nível de tempo e de soja, letras precedidas do número 2 comparam o fator soja dentro de cada nível de tempo e de fonte, letras precedidas do número 3 comparam o fator tempo dentro de cada nível de soja e de fonte. Barras indicam o erro padrão da média ($n = 4$). CV parcela = 61,16% e CV subparcela = 59,24%. $\bar{x} = 0,04$49

Figura 19. Conteúdo de Mn na haste de soja Intacta RR2 PRO[®] em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função da interação fonte × tempo. Médias com a mesma letra minúscula dentro do tempo e maiúscula dentro da fonte não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 8$). CV parcela = 64,62% e CV subparcela = 62,43%. $\bar{x} = 0,04$50

Figura 20. Absorção de Mn pelos trifólios de soja Intacta RR2 PRO[®] em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” e em função da interação soja × fonte de Mn. Médias com a mesma letra minúscula dentro da fonte e maiúscula entre fontes não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 16$). CV parcela = 30,82% e CV subparcela = 24,57%. $\bar{x} = 28,77$51

Figura 21. Absorção de Mn pelos trifólios de soja Intacta RR2 PRO[®] em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função da interação soja × fonte × tempo. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Letras precedidas do número 1 comparam o fator fonte dentro de cada nível de tempo e de soja, letras precedidas do número 2 comparam o fator soja dentro de cada nível de tempo e de fonte, letras precedidas do número 3 comparam o fator tempo dentro de cada nível de soja e de fonte. Barras indicam o erro padrão da média ($n = 4$). CV parcela = 47,56% e CV subparcela = 26,03%. $\bar{x} = 30,85$52

Figura 22. Massa de matéria seca (a, b), teor de Mn (c, d) e conteúdo de Mn (e, f) em partes da parte aérea de soja Intacta RR2 PRO[®] em estádio R8, cultivada em casa de vegetação em solo com alto (a, c, e) e baixo (b, d, f) teor de Mn em função dos fatores soja e fonte. Médias em cada parte da planta (trifólios tratados (tt), hastes, trifólios não tratados (tnt), vagens e grãos) seguidas de “**soja”, “**fonte” ou “**sxf” tiveram efeito significativo ($p \leq 0,05$) dos fatores soja, fonte ou interação soja $\times$ fonte, respectivamente, e serão apresentadas isoladamente nas Figuras 25-28 e 30-34. Médias em cada parte da planta seguidas de “ns” não diferem entre si ($p \leq 0,05$). 53

Figura 23. Massa de matéria seca da parte aérea e de grãos, vagens, hastes, trifólios não tratados e trifólios tratados de soja Intacta RR2 PRO[®] em estádio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” em função do fator fonte. Número acima da coluna indica o valor médio da parte aérea. Número ao lado da coluna de cada fração da parte aérea indica o seu valor médio. Médias não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 8$). CV = 9,97%. $\bar{x} = 21,59$ 54

Figura 24. Massa de matéria seca da parte aérea de soja Intacta RR2 PRO[®] em estádio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função do fator fonte. Médias não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Número ao lado da coluna de cada fração da parte aérea indica o seu valor médio. Barras indicam o erro padrão da média ($n = 8$). CV = 4,85%. $\bar{x} = 25,35$ 55

Figura 25. Teor de Mn nos trifólios tratados de soja Intacta RR2 PRO[®] estádio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” e em função do fator fonte. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 8$). CV = 33,94%. $\bar{x} = 622,77$ 55

Figura 26. Teor de Mn nos trifólios tratados de soja Intacta RR2 PRO[®] estádio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função do fator fonte. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 8$). CV = 31,42%. $\bar{x} = 516,87$ 56

Figura 27. Teor de Mn nos trifólios não tratados de soja Intacta RR2 PRO[®] estádio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função da interação soja $\times$ fonte. Médias com a mesma letra minúscula dentro de fonte e maiúscula dentro de soja não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 4$). CV = 16,19%. $\bar{x} = 70,49$ 57

Figura 28. Figura 15. Teor de Mn nos trifólios tratados da parte aérea de soja Intacta RR2 PRO[®] em estádio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” e em função do fator fonte. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 8$). CV = 13,95%. $\bar{x} = 68,18$ 57

Figura 29. Teor de Mn na parte aérea de soja Intacta RR2 PRO[®] estádio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função do fator fonte. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 8$). CV = 14,65%. $\bar{x} = 50,81$ 58

Figura 30. Figura 15. Conteúdo de Mn nos trifólios tratados de soja Intacta RR2 PRO[®] estádio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” e em função do fator fonte. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 8$). CV = 33,33%. $\bar{x} = 0,5750$ 58

Figura 31. Conteúdo de Mn nos trifólios tratados de soja Intacta RR2 PRO[®] estádio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função do fator fonte. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 8$). CV = 35,11%. $\bar{x} = 0,50$ 59

Figura 32. Conteúdo de Mn na haste de soja Intacta RR2 PRO[®] estádio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função do fator fonte. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 8$). CV = 12,60%. $\bar{x} = 0,06$ 59

Figura 33. Conteúdo de Mn nos grãos de soja Intacta RR2 PRO[®] estádio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” e em função da interação soja $\times$ fonte. Médias com a mesma letra minúscula dentro de fonte e maiúscula dentro de soja não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 4$). CV = 8,85%. $\bar{x} = 0,26$ 60

Figura 34. Conteúdo de Mn nos grãos de soja Intacta RR2 PRO[®] estádio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função do fator soja. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 24$). CV = 7,61%. $\bar{x} = 0,25$ 60

- Figura 35.** Conteúdo de Mn da parte aérea da planta e de grãos, vagens, hastes, trifólios não tratados e trifólios tratados de soja Intacta RR2 PRO[®] em estádio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” em função do fator fonte. Médias de uma parte com a mesma letra minúscula e médias com letra maiúscula para o conteúdo total não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 8$). CV = 17,25%. $\bar{x} = 1,47$ 61
- Figura 36.** Conteúdo de Mn na parte aérea de soja Intacta RR2 PRO[®] estádio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função do fator fonte. Médias das colunas de cada fração da parte aérea seguidas por letras minúsculas ou médias do conteúdo total seguidas por letras maiúsculas não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 8$). CV = 16,51%. $\bar{x} = 1,29$ 62
- Figura 37.** Número de vagens por planta de soja Intacta RR2 PRO[®] estádio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” e em função da interação soja $\times$ fonte. Médias com a mesma letra minúscula dentro de fonte e maiúscula dentro de soja não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 4$). CV = 12,31%. $\bar{x} = 31,85$ 63
- Figura 38.** Número de grãos por planta de soja Intacta RR2 PRO[®] estádio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” e em função da interação soja $\times$ fonte. Médias com a mesma letra minúscula dentro de fonte e maiúscula dentro de soja não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 4$). CV = 12,02%. $\bar{x} = 75,39$ 63
- Figura 39.** Número de grãos por planta de soja Intacta RR2 PRO[®] estádio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função do fator soja. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 24$). CV = 5,74%. $\bar{x} = 89,07$ 64
- Figura 40.** Número de grãos por vagem de soja Intacta RR2 PRO[®] estádio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função da interação soja $\times$ fonte. Médias com a mesma letra minúscula dentro de fonte e maiúscula dentro de soja não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 4$). CV = 4,33%. $\bar{x} = 2,31$ 65
- Figura 41.** Massa de matéria seca de 100 grãos de soja Intacta RR2 PRO[®] estádio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função do fator soja. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 24$). CV = 5,29%. $\bar{x} = 10,26$ 65
- Figura 42.** Teor de Mn nas vagens de soja Intacta RR2 PRO[®] em estádio R8, cultivada em campo no “solo -Mn” e em função do fator fonte. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,10$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 12$). CV = 21,28%. $\bar{x} = 57,71$ 66
- Figura 43.** Conteúdo de Mn nos grãos de soja Intacta RR2 PRO[®] em estádio R8, cultivada em campo no “solo +Mn” e em função do fator soja. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,10$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 36$). CV = 23,25%. $\bar{x} = 0,28$ 67
- Figura 44.** Número de grãos por vagem de soja Intacta RR2 PRO[®] em estádio R8, cultivada em campo no “solo -Mn” e em função do fator soja. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,10$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 36$). CV = 3,45%. $\bar{x} = 2,33$ 67
- Figura 45.** Massa de matéria seca de 100 grãos de soja Intacta RR2 PRO[®] em estádio R8, cultivada em campo no “solo +Mn” e em função do fator soja. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,10$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 36$). CV = 9,95%. $\bar{x} = 9,52$ 68
- Figura 46.** Massa de matéria seca de 100 grãos de soja Intacta RR2 PRO[®] em estádio R8, cultivada em campo no “solo -Mn” e em função da interação soja $\times$ fonte. Médias com a mesma letra minúscula dentro de fonte e maiúscula dentro de soja não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,10$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 6$). CV = 3,74%. $\bar{x} = 15,48$ 69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização química e granulométrica dos solos (profundidade de 0-20 cm) utilizados nos experimentos em casa de vegetação	28
Tabela 2. Doses de carbonato de cálcio e de carbonato de magnésio utilizadas na calagem e de nutrientes utilizados na adubação dos solos dos experimentos em casa de vegetação	29
Tabela 3. Graus de liberdade (GL) das análises do experimento em casa de vegetação sobre a absorção de Mn instalado num esquema fatorial $2 \times 6 \times 4$ com parcela subdividida no tempo. Os fatores soja, fonte e tempo, com <i>a</i> (dois), <i>b</i> (seis) e <i>c</i> (quatro) níveis, respectivamente, <i>r</i> (quatro) blocos, instalado num delineamento em blocos aleatorizados	30
Tabela 4. Concentração de cada fertilizante e de glifosato na solução aplicada nas folhas primárias e nos três primeiros trifólios das plantas de soja cultivadas em casa de vegetação	31
Tabela 5. Ordem de aplicação foliar dos tratamentos nas seis plantas de cada vaso	32
Tabela 6. Graus de liberdade das análises do experimento em casa de vegetação sobre distribuição de Mn instalado num esquema fatorial 2×6 , com os fatores soja e fonte, com <i>a</i> (dois) e <i>b</i> (seis) níveis, respectivamente, e <i>r</i> (quatro) blocos, instalados num delineamento em blocos aleatorizados	33
Tabela 7. Graus de liberdade das análises do experimento em campo sobre componentes de produção e rendimento de grãos instalado num esquema fatorial 2×6 , com os fatores soja e fonte, com <i>a</i> (dois) e <i>b</i> (seis) níveis, respectivamente, e <i>r</i> (seis) blocos, instalados num delineamento em blocos aleatorizados	37
Tabela 8. Data de pulverização e produtos utilizados na prevenção e controle de pragas e doenças durante o ciclo da soja nos dois experimentos	39

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das culturas agrícolas de maior importância no agronegócio. A produção mundial na safra 2015/16 foi de 312,871 milhões de toneladas, da qual mais da metade obtida por Brasil (30,8%), Argentina (18,1%) e Paraguai (2,9%) e a outra parcela por Estados Unidos (34,1%), China (3,8%), Índia (2,3%), e outros países (8%) (USDA, 2017). Nessa safra o Brasil cultivou 33,176 milhões de hectares com produtividade média de 2.882 kg ha⁻¹ (CONAB, 2016) e há projeção de aumento da produção para aproximadamente 112,2 milhões de toneladas para a safra 2022/2023 o que representa aumento de 17,3% em relação a safra 2015/16 (CÉLERES, 2014).

Para manter o cultivo de uma área tão grande, são necessárias tecnologias e insumos como defensivos agrícolas e fertilizantes. Uma das tecnologias utilizadas é o cultivo da soja transgênica tolerante ao herbicida glifosato (Soja Roundup Ready – Soja RR) que no Brasil representou cerca de 90% do total produzido na safra 2012/2013 (CÉLERES, 2013). Desde então, outra tecnologia que vem sendo utilizada no Brasil é a soja Intacta RR2 PRO[®] que, além da tolerância à aplicação de herbicidas à base de glifosato, apresenta também proteção contra as principais lagartas. O glifosato é um dos defensivos mais utilizados no controle de diversos tipos de plantas daninhas (HUBER, 2007; BENBROOK, 2016). No entanto, o seu uso intensificou deficiências de micronutrientes e alguns macronutrientes como: Mn, Fe, Zn e K (EKER et al., 2006; HUBER, 2007).

Embora o manganês (Mn) esteja presente nos solos tropicais muitas vezes em níveis tóxicos, principalmente para leguminosas, ultimamente têm ocorrido deficiências em soja. Resultados de baixa absorção de Mn por cultivares de soja transgênica devido à aplicação de glifosato têm sido relatados. Com o intuito de reduzir ou eliminar esse problema, esse micronutriente vem sendo aplicado via foliar e, na maioria dos casos, junto ao herbicida. Porém o aproveitamento do Mn via foliar pela soja, assim como em outras culturas, é dependente da fonte utilizada, visto que este pode formar complexos com o glifosato durante o preparo da calda e não ser assimilado eficientemente pela soja após a absorção (McBRIDE, 1991; BERNARDS et al., 2005).

Diante disso, nesse trabalho serão testadas as seguintes hipóteses:

- 1 - A quantidade absorvida de Mn é dependente da fonte utilizada.
 - Se na aplicação forem utilizados cinco fontes de Mn (Mn-Cloreto, Mn-Sulfato, Mn-Carbonato, Mn-EDTA e Mn-Citrato) qual dessas será mais absorvida pela soja?
 - A mais absorvida será melhor aproveitada pela soja?

2 - O Mn é redistribuído da parte que recebeu a aplicação para outras.

- O Mn apresentará maior proporção nas folhas que o receberem do fertilizante foliar?
- Haverá redistribuição do Mn para hastes, folhas novas, vagens e grãos?
- Qual a proporção redistribuída para cada parte?
- O Mn-EDTA aplicado junto ao glifosato e depois de absorvido apresentará maior

distribuição (por estar na forma de quelato) dentro da planta de soja que as demais fontes de Mn?

- A soja tratada com Mn apresentará grãos com maior conteúdo de Mn?

3 - Não é necessária a adubação foliar com Mn em soja Intacta RR2 PRO[®] cultivada em solo com alto teor Mn.

• Além da diminuição na disponibilidade desse micronutriente causada após a calagem, o glifosato aplicado também provoca essa diminuição?

- Há diferença na produtividade de grãos de soja em função da fonte de Mn utilizada?

• Fontes de Mn aplicadas sem glifosato apresentarão diferenças de absorção e redistribuição na soja cultivada nesse tipo de solo?

Assim, os objetivos foram avaliar a absorção e distribuição de Mn, e componentes de produção e rendimento de grãos em uma cultivar de soja transgênica com a tecnologia Intacta RR2 PRO[®] cultivada em solos originalmente com alto e baixo teor de Mn em função da aplicação foliar de fontes de Mn com e sem glifosato.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Manganês

O manganês foi reconhecido como elemento em 1771 pelo sueco Carl Wilhelm Scheele e isolado pelo seu colaborador Johan Gottlieb Gahn em 1774 (INTERNATIONAL MANGANESE INSTITUTE – IMnI, 2014), no entanto sua essencialidade para as plantas só foi provada entre 1914 e 1922 com os trabalhos do norte americano James Spencer McHargue (McHARGUE, 1914, 1922; KIRKBY, 2012). De lá pra cá muitos trabalhos têm sido feitos na área de solos e nutrição de plantas.

Como elemento ele é um dos metais de transição, possui número atômico 25, massa atômica de seu único isótopo estável (^{55}Mn) = 54,938045 u.m.a (unidade de massa atômica) e cinco estados de oxidação II, III, IV, VI e VII. Possui 27 radioisótopos (NATIONAL NUCLEAR DATA CENTER – NNDC, 2014) dos quais apenas o ^{52}Mn ($T_{1/2} = 5,60$ dias) e ^{54}Mn ($T_{1/2} = 312,12$ dias) apresentam maior importância nos estudos de solos e nutrição de plantas (MURAOKA, 1991).

Na crosta terrestre o Mn é o 12º elemento em abundância (média de 900 mg kg⁻¹) (CLARKE, WASHINGTON, 1924; LINDSAY, 1979) e diversos minerais o contêm como constituinte essencial e outros como um substituinte menor de íons estruturais essenciais, tais como Fe²⁺ e Mg²⁺ (GILKES, McKENZIE, 1988).

2.2. Manganês no Solo e Fontes

Nos solos, os teores totais de Mn geralmente encontram-se na faixa de 20 a 3.000 mg kg⁻¹, com média de 60 mg kg⁻¹ (LINDSAY, 1979). O Mn dos solos brasileiros tem sua ocorrência predominantemente pedogênica e os teores podem variar de 0,2 a 198 mg dm⁻³ nos horizontes superficiais de solos do estado de São Paulo (VALADARES, CAMARGO, 1983). A sua disponibilidade depende de fatores como: pH, condições de oxirredução, teores de matéria orgânica, equilíbrio com outros cátions e textura dos solo (MALAVOLTA, 2006).

Em valores de pH superior a 5,5 a oxidação por ação biológica em solos drenados é favorecida, mas há diminuição de sua disponibilidade. Por outro lado, em valores de pH mais ácido e em solos com menores valores de potencial redox, as formas oxidadas são reduzidas.

O Mn no solo é proveniente de óxidos, carbonatos, silicatos e sulfetos (GILKES, McKENZIE, 1988). Devido a seus diferentes estados de oxidação e à propriedade de passar com

facilidade de uma forma para outra, apresenta comportamento complexo no solo. Das formas mais comuns nos solos, os óxidos e sulfetos de Mn são as predominantes, sendo comum a sua ocorrência em associação com o ferro (DECHEN, NACHTIGALL, 2006).

Condições de solos tropicais, altamente lixiviados ou solos com altos valores de pH e ricos em matéria orgânica são favoráveis ao surgimento de deficiência de Mn em plantas cultivadas em campo (FAGERIA, 2001).

Na agricultura o uso de fertilizantes contendo micronutrientes aumentou notadamente na década de 90 (LOPES, 1999; PINTO, 2012), provavelmente devido à utilização de solos com teores de nutrientes naturalmente baixos e/ou devido ao esgotamento de solos férteis, ao acelerado aumento de produtividade e à utilização inadequada de calcário.

Diversas fontes são utilizadas na correção da deficiência de Mn em soja, entre elas: Mn-sulfato, Mn-cloreto, Mn-EDTA, Mn-lignosulfonato (BERNARDS et al., 2005), Mn-óxido, Mn-carbonato (MONREAL et al., 2016) e oxissulfatos. Além dessas fontes, tem-se utilizado no Brasil micronutrientes misturados com fertilizantes NPK granulados e com os fertilizantes de “eficiência aumentada” (LOPES, 1999; SÃO JOÃO, 2006).

São João (2006) afirmou que no Brasil os estudos sobre a eficiência agronômica de fontes de Mn são incipientes. Fertilizantes oxissulfatos, porém, são a principal matéria-prima empregada pelas indústrias de fertilizantes, visando o fornecimento de Mn. Afirma ainda que outra opção tem sido a incorporação de micronutrientes em fertilizantes granulados e carregadores de macronutrientes. No processo de incorporação, elimina-se a segregação que ocorreria durante a manipulação ou aplicação, pois os micronutrientes são incorporados durante o processo de granulação.

Também tem aumentado a oferta de fertilizantes para a aplicação via solo ou foliar, visando a correção da deficiência de Mn (PINTO, 2012). A eficiência agronômica dessas fontes de Mn depende das características intrínsecas do fertilizante e, mesmo após sua aplicação, podem ocorrer deficiências, mostrando assim que nem todo o manganês contido nos fertilizantes está disponível para as plantas (LOPES, 1999).

Comparando duas técnicas de adubação (solo e foliar), Oliveira Junior et al. (2000) não observaram diferença significativa entre a aplicação foliar do Mn e a maior dose de Mn aplicada via solo, mostrando o efeito das doses de Mn na produção de grãos e matéria seca. Entretanto, Mann et al. (2001) concluíram que as aplicações de Mn via foliar, 450 e 600 g ha⁻¹, em três épocas (V4, V8 e V10, respectivamente com quatro, oito e dez trifólios com folíolos desdobrados) foram as responsáveis pelas maiores produtividades obtidas, sendo consideradas mais eficientes que as aplicações via solo.

Comparando diferentes fontes de Mn nas culturas do milho e laranjeira, Boaretto e Muraoka (1997) observaram que todas as fontes foram eficientes no aumento do teor de Mn na folha. As fontes inorgânicas foram mais eficientes que os quelatos (Mn-lignosulfonato e Mn-EDTA). Nesse contexto, Ferrandon e Chamel (1988) encontraram que o Mn-EDTA é absorvido pelas folhas em menor proporção da quantidade aplicada que o sulfato, porém é menos retido na cutícula foliar e mais redistribuído para as outras partes da planta em comparação a fonte inorgânica.

Ohki et al. (1987), estudando fontes e métodos de aplicação foliar de Mn, verificaram que a aplicação na forma de Mn-sulfato foi tão eficiente quanto Mn-EDTA e que a aplicação múltipla foi melhor que a única no rendimento de soja.

2.3. Manganês na Planta

Como mencionado, o Mn pode existir em vários estados de oxidação. Entretanto em sistemas biológicos ele ocorre principalmente nos estados II, III e IV, com Mn^{2+} e Mn^{4+} sendo muito estáveis e Mn^{3+} instável (HUGHES, WILLIAMS, 1988). Em plantas, Mn^{2+} é a forma dominante, mas pode ser facilmente oxidada para Mn^{3+} e Mn^{4+} . O Mn é parte do fotossistema II, em que a molécula de água é dividida e o oxigênio liberado. Nessas reações o Mn presente em um complexo de divisão passa por sucessivas oxidações até que, em seu estado “S4” final, tem o potencial de oxidar a água e é, conseqüentemente, reduzido pelos elétrons derivados da água (EPSTEIN, BLOOM, 2006). Portanto, Mn desempenha um importante papel nos processos de oxirredução (EPSTEIN, BLOOM, 2006; BROADLEY et al. 2012).

O raio iônico do Mn^{2+} (0,075 nm) situa-se entre o raio iônico do Mg^{2+} (0,065 nm) e do Ca^{2+} (0,099 nm) e pode, portanto, substituir ou competir com qualquer um destes dois ou outros íons (*e.g.* Fe, Cu e Zn) de raio nessa faixa em várias reações. A força de ligação de todos os três íons de ligantes baseados em doadores de oxigênio é muito semelhante (HUGHES, WILLIAMS, 1988) ou pode ser maior para o Mn^{2+} , por exemplo. Isto tem conseqüências importantes na sua compartimentação (BROADLEY et al. 2012).

Nas folhas, o Mn é associado com as proteínas do complexo de evolução do oxigênio e é indispensável para a geração da energia fotossintética (EPSTEIN, BLOOM, 2006). Em folhas de soja sua deficiência é caracterizada por uma clorose internerval nas folhas mais novas, devido à redução na síntese de clorofila e a pouca remobilização desse micronutriente. Já a sua toxicidade aparece inicialmente, também em folhas jovens, caracterizado por encarquilhamento dos folíolos

e pontos necróticos de coloração marrom-escuro no limbo foliar (EMBRAPA, 2004). O excesso de Mn^{2+} , por sua vez, pode inibir a absorção de Ca, Mg, Fe e Zn (ST. CLAIR, LYNCH, 2004).

A concentração de Mn em tecidos vegetais para um crescimento normal é de 50 mg kg^{-1} (base seca) (EPSTEIN, BLOOM, 2006) e para soja varia de $20\text{--}100\text{ mg kg}^{-1}$ (PECK, 1979; MILLS, JONES Jr., 1996), $35\text{--}50\text{ mg kg}^{-1}$ (MALAVOLTA, 2006). Conforme Shuman e Anderson (1974) e Tanaka et al. (1992), há correlação positiva entre a produtividade de grãos e os teores de Mn nas folhas de soja.

O transporte do Mn à longa distância na planta se dá via xilema e está presente principalmente como Mn^{2+} em equilíbrio com os compostos orgânicos pouco estáveis. Transloca-se livremente na corrente transpiratória e, quando o suprimento é adequado, se acumula nas raízes, caules e folhas sendo classificado usualmente como “imóvel no floema”. Entretanto, move-se para as sementes em desenvolvimento, mas, ao que parece, não para as raízes (MALAVOLTA, 2006).

Corroborando as afirmações de Malavolta (2006) sobre a translocação limitada do Mn no floema, Kirkby e Römheld (2007) afirmaram que em algumas leguminosas, entretanto, possivelmente durante o estágio de enchimento de vagens, uma concentração relativamente alta de Mn já foi relatada na seiva do floema. Esses autores também afirmam que no caso de Mn aplicado via foliar (EL-BAZ et al., 1990) a retranslocação de quelato de Mn como Mn-EDTA é melhor que a de Mn-sulfato.

Heenan e Campbell (1980) afirmaram que na condição de bom suprimento de Mn as folhas acumulam altas concentrações conforme avança a idade da planta, sendo uma pequena fração do elemento translocada das folhas velhas para as novas em crescimento, onde ele se encontra em menor concentração. Contudo, Dechen e Nachtigall (2006) afirmaram que se deve considerar que a concentração de Mn varia grandemente entre partes da planta e durante o período vegetativo.

Mascarenhas et al. (1990) avaliando o grau de tolerância ao Mn de oito cultivares precoces de soja cultivadas em soluções nutritivas com quatro níveis de Mn, relataram que os teores na parte aérea de plantas de soja com 15 dias de cultivo variaram de: $32\text{ a }1771\text{ mg kg}^{-1}$ nas cultivares tolerantes; $48\text{ a }1770\text{ mg kg}^{-1}$ nas cultivares mediantemente tolerantes; $51\text{ a }1771\text{ mg kg}^{-1}$ na cultivar sensível. Embora a faixa de teor de Mn seja similar entre cultivares, os sintomas de toxicidade apresentados pelas plantas foram diferentes e houve maior redução de massa de matéria seca da parte aérea nas cultivares mais sensíveis. Santos et al. (2017) mostram que uma das causas de redução na matéria seca é a redução na taxa fotossintética. Já os fenômenos determinantes na tolerância ao excesso de Mn podem ser o maior acúmulo de Mn e a

compartimentalização no apoplasto das raízes ocasionando redução no transporte deste nutriente a longa distância e, logo, menor teor de Mn foliar em cultivares tolerantes quando comparadas a cultivares sensíveis (LAVRES et al., 2009).

Quando se trata de quantidade de Mn absorvida por plantas de soja, Rosolem et al. (2001), relataram que a soja absorve 300 g Mg^{-1} de grãos produzidos, dos quais 56% estão nas raízes, 29% na parte aérea e 15% nos grãos. Entretanto, o Mn acumulado nas partes das plantas de soja é dependente da dose de Mn aplicada (ANDRADE, ROSOLEM, 2011; SANTOS et al., 2017) e da fonte e modo de aplicação (PINTO, 2012).

Andrade e Rosolem (2011), estudando o acúmulo e distribuição do Mn, assim como a cinética de absorção de Mn pela soja transgênica sob efeito da aplicação foliar de glifosato, constataram que a transgenia para tolerância ao herbicida não altera a nutrição mangânica na cultivar de soja Valiosa RR. Mesmo reduzindo a biomassa seca de raiz, o glifosato não interferiu na absorção e no transporte de Mn na planta de soja transgênica. Já Zobiolo et al. (2010) constataram diminuição de Mn e outros micro e macronutrientes no tecido foliar de soja transgênica sendo esta a causa de redução na produção de biomassa da parte aérea e raiz.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Experimentos em Casa de Vegetação

Foram conduzidos quatro experimentos em casa de vegetação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (CENA/USP) localizada em Piracicaba/SP. Dois solos foram coletados e utilizados para a realização desses experimentos. Um Latossolo Vermelho-Amarelo originalmente com alto teor de Mn (doravante denominado “solo +Mn”) coletado no município de Piracicaba/SP (22°43’06” S, 47°36’33” W) e outro Latossolo originalmente com baixo teor de Mn (doravante denominado “solo -Mn”) coletado no município de Areado/MG (21°20’47” S, 46°09’04” W). A classificação dos teores de Mn dos solos foi feita conforme Raij (1997) o qual considera teor de Mn (DTPA) de 0-1,2 mg dm⁻³ como baixo e > 5,0 mg dm⁻³ como alto. Porções destes solos foram coletadas na profundidade de 0-20 cm, secas ao ar, homogeneizadas manualmente e passadas em peneira com abertura de malha de 4 mm (5 mesh) para enchimento dos vasos (Figura 1).

Figura 1. Procedimento de secagem de terra e preparo dos vasos para cultivo da soja. a) terra sendo espalhada para secagem em lona plástica sobre bancada; b) terra em secagem ao ar livre; c) material para peneirar a terra e encher os sacos plásticos que acondicionarão a terra dentro do vaso; d) pesagem de terra; e) conjunto de vasos de terra do Latossolo Vermelho-Amarelo coletado em Piracicaba/SP (“solo +Mn”); f) conjunto de vasos de terra do Latossolo coletado em Areado/MG (“solo -Mn”); g) vista geral de todos os vasos que foram utilizados nos quatro experimentos; h) vasos com terra do “solo +Mn” (1) e do “solo -Mn” (2); e i) vasos cobertos com lona plástica até a instalação dos experimentos.

Após o enchimento dos vasos estes solos foram amostrados, peneirados em malha com abertura de 2 mm (10 mesh) para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA) e submetidos à análise granulométrica pelo método do densímetro (BOUYOUCOS, 1927) e análises químicas, conforme Raij et al. (2001) (Tabela 1), para determinação dos seguintes atributos: pH por potenciometria, em solução de CaCl_2 0,01 mol L^{-1} na proporção TFSA:solução de 1:2,5; acidez total (H+Al) pelo método de SMP; acidez trocável (Al^{3+}) por titulometria com NaOH 0,025 mol L^{-1} após extração com KCl 1 mol L^{-1} ; matéria orgânica do solo (MOS) determinada pelo método de Walkley-Black; K, Ca, Mg e P extraídos com resina trocadora de íons e determinados por fotômetro de chama (K), espectrofotômetro de absorção atômica (Ca e Mg) e por colorimetria (P); Cu, Fe, Zn e Mn extraídos com solução de DTPA pH 7,3 e determinados por espectrofotômetro de absorção atômica (LINDSAY, NORVELL, 1978).

Após as análises, sacos plásticos transparentes (tamanho de 480 × 650 mm e espessura de 0,20 mm) foram preenchidos com 5 kg de terra (Figura 1). A necessidade de calagem foi calculada pelo método de saturação por bases (saturação por bases recomendada para soja igual a 60%) e a adubação calculada com o objetivo de elevar os teores de nutrientes a níveis altos para a cultura da soja, conforme (RAIJ et al., 1997). Para calagem foram utilizados carbonato de cálcio P.A e carbonato de magnésio P.A numa proporção que possibilitasse a obtenção de uma relação Ca/Mg de aproximadamente 3:1 em cada solo. Os carbonatos foram aplicados na terra contida nos sacos plásticos, misturados manualmente até a obtenção de homogeneidade e colocados em vasos plásticos onde receberam água deionizada necessária para obtenção de umidade próxima a 60% da capacidade máxima de retenção de água, determinada conforme Mackean (1971), para início do período de incubação de 30 dias. Após esse período coletou-se amostras de terra dos vasos para análise de rotina e de micronutrientes para verificação das alterações no pH, níveis de Ca, Mg, Cu, Fe, Zn e Mn após a calagem. Procedeu-se com aplicação de P na forma de superfostato triplo (o 1/3 superior da terra foi retirado, aplicou-se P uniformemente sobre os 2/3 restantes e o 1/3 superior foi recolocado no vaso). As adubações com os demais nutrientes foram feitas em dose única na forma de solução contendo N (fosfato monoamônico), K (cloreto de potássio), S (sulfato de potássio), Cu (sulfato de cobre), Zn (sulfato de zinco) e B (ácido bórico). Os elementos Ni, Co e Mo foram aplicados via semente, utilizando-se o produto comercial NiCoMo Dry (Tabela 2). A aplicação de Zn não era necessária, mas foi feita aplicação preventiva porque inicialmente foram cultivadas seis plantas por vaso, como será comentado no item 3.1.1.

No dia 10 de novembro de 2015 as sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, utilizando-se o produto comercial Masterfix[®] líquido, estirpes SEMIA 5019 e SEMIA

5079 (5×10^9 de células viáveis por mL). As sementes estavam com alta qualidade fisiológica e sanitária e o solo foi mantido com boa disponibilidade hídrica e temperatura adequada para rápida germinação e emergência garantindo assim melhores resultados com a inoculação e o estabelecimento da população de *B. japonicum* no solo (EMBRAPA, 2013). Foram semeadas 12 sementes por vaso a aproximadamente 10 mm de profundidade. A umidade da terra dos vasos foi mantida durante todo o experimento em aproximadamente 60% da capacidade máxima de retenção de água através de regas periódicas com água deionizada. A emergência ocorreu no dia 14 e o desbaste foi feito no dia 22 de novembro de 2016 deixando-se seis plantas por vaso, selecionadas quanto à sanidade e uniformidade. Essas plantas foram cultivadas de forma igual até o estágio V4, fase em que quatro dessas seis plantas foram utilizadas para o estudo I e duas para o estudo II.

Dados de temperatura e umidade relativa do ar máximas e mínimas dentro da casa de vegetação foram registrados diariamente durante todo o experimento por um termo-higrômetro digital e são apresentados na forma de valores médios na Figura 2.

Figura 2. Temperatura média, umidade relativa do ar dentro da casa de vegetação e principais eventos ocorridos no período de condução dos experimentos. A seta com linha cheia refere-se à soja cultivada no “solo +Mn” e a seta com linha tracejada à cultivada no “solo -Mn”. Em emergência a seta refere-se às sojas cultivadas no “solo +Mn” e “solo -Mn”.

Tabela 1. Caracterização química e granulométrica dos solos (profundidade de 0-20 cm) utilizados nos experimentos em casa de vegetação

Solo	pH [¶]	M.O [□]	K [§]	Ca [§]	Mg [§]	H+Al ^{¶¶}	Al ^{¶¶¶}	SB	CTC	V	m	P [§]	S	Cu [†]	Fe [†]	Mn [†]	Zn [†]	B [‡]	Argila ^{&}	Silte ^{&}	Areia Fina ^{&}	A. Grossa ^{&}
	-	g dm ⁻³	----- mmol _c dm ⁻³ -----							%		mg dm ⁻³		----- mg dm ⁻³ -----					----- g kg ⁻¹ -----			
Casa de vegetação (antes da calagem)																						
“solo +Mn”	4,2	37,0	0,50	11,0	4,0	47,0	3,0	16,0	63,0	25,0	16,0	6,0	4,0	0,8	109,0	6,0	2,2	0,49	219	21	410	350
“solo - Mn”	4,8	27,0	0,85	13,0	7,0	31,0	1,0	21,0	52,0	40,0	5,0	4,0	1,0	0,5	24,0	1,2	1,7	0,22	452	148	230	170
Casa de vegetação (depois da calagem)																						
“solo +Mn”	5,1	25,0	0,50	25,5	8,0	31,0	0,0	34,5	65,5	52,5	0,0	11,0	3,0	0,7	45,0	3,0	2,2	0,3	219	21	410	350
“solo - Mn”	5,2	34,0	1,60	24,5	6,0	31,0	0,0	32,5	63,5	50,5	0,0	10,5	7,5	0,7	30,0	2,3	1,8	0,4	452	148	230	170
Campo																						
PVd “+Mn”	5,0	11,0	2,50	17,0	12,0	31,0	5,0	32,0	63,0	50,0	14,0	18,0	11,0	1,2	34,4	6,4	0,9	0,2	217	103	380	300
LVd “-Mn”	5,4	29,4	2,80	62,9	24,4	28,9	0,7	89,8	118,8	75,3	1,1	17,8	35,2	3,0	37,0	2,9	2,3	0,3	531	155	227	87

“solo +Mn”: Latossolo Vermelho-Amarelo com alto teor de manganês coletado em Piracicaba/SP e usado nos experimentos em casa de vegetação.

“solo-Mn”: Latossolo com baixo teor de manganês coletado em Areado/MG e usado nos experimentos em casa de vegetação.

PVd “+ Mn”: Argissolo Vermelho Distrófico (PVd) com alto teor de Mn de (Iracemápolis/SP) usado nos experimentos em campo.

LVd “- Mn”: Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) com baixo teor de Mn de (Iracemápolis/SP) usado nos experimentos em campo.

¶ pH em solução 0,01 mol L⁻¹ de cloreto de cálcio.

□ MO, matéria orgânica, determinada pelo método de Walkey-Black (RAIJ et al., 2001).

§ P, K, Ca e Mg, extração com resina trocadora de íons (CANTARELLA; RAIJ; QUAGGIO, 1998).

¶¶ H+Al determinado em solução tampão SMP (QUAGGIO; RAIJ; MALAVOLTA, 1985).

¶¶¶ Al trocável extraído com KCl 1 mol L⁻¹ (RAIJ et al., 2001).

† Cu, Fe, Mn e Zn extração com solução de DTPA-TEA a pH 7,3 (LINDSAY; NORVELL, 1978).

‡ B extração com água quente (RAIJ et al., 2001).

& Granulometria determinada pelo método do densímetro (BOUYOUCOS, 1927).

Tabela 2. Doses de carbonato de cálcio e de carbonato de magnésio utilizadas na calagem e de nutrientes utilizados na adubação dos solos dos experimentos em casa de vegetação

	CaCO ₃	MgCO ₃	K	S	Cu	Zn	B	CaCO ₃	MgCO ₃	K	S	Cu	Zn	B	N†	P†	Ni	Co	Mo	Inoculante
Fonte	“Solo +Mn”							“Solo -Mn”							Sementes					
	----- mg kg ⁻¹ -----														----- mg kg ⁻¹ ----		mL kg ⁻¹			
Carbonato de Cálcio	970	-	-	-	-	-	-	590	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carbonato de Magnésio	-	260	-	-	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Superfosfato Triplo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	127,86	-	-	-	-
Fosfato Monoamônico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	22,14	-	-	-	-
Cloreto de Potássio	-	-	66,99	-	-	-	-	-	-	68,44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sulfato de Potássio	-	-	8,01	6,58	-	-	-	-	-	6,56	5,39	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sulfato de Cobre	-	-	-	0,22	0,31	-	-	-	-	-	0,19	0,26	-	-	-	-	-	-	-	-
Sulfato de Zinco	-	-	-	0,2	-	0,35	-	-	-	-	0,42	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-
Ácido Bórico	-	-	-	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	0,33	-	-	-	-	-	-
NiCoMo Dry	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	48	24	520	-
Masterfix.®	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
Total	970	260	75	7	0,31	0,35	0,4	590	50	75	6	0,26	0,75	0,33	10	150	48	24	520	2

†A dose de nitrogênio (N) e fósforo (P) aplicada foi igual nos dois solos.

3.1.1. Estudo I: Absorção de Manganês

Neste estudo foram realizados dois experimentos para avaliar a absorção foliar de Mn por plantas de soja. Um foi conduzido no “solo +Mn” e o outro “solo -Mn”. Em cada experimento foi utilizado o delineamento experimental em blocos aleatorizados, com quatro repetições e em esquema fatorial $2 \times 6 \times 4$ com parcela subdividida no tempo. As parcelas principais foram constituídas do primeiro fator soja, em dois níveis (cultivada sem e com aplicação de glifosato), e do segundo fator fonte do fertilizante, em seis níveis (sem Mn ou Controle, Cloreto, Sulfato, Carbonato, EDTA e Citrato). As subparcelas foram formadas pelo fator tempo, em quatro níveis (tempo de 4, 24, 48 e 72 h após a aplicação dos fertilizantes) (Tabela 3).

Tabela 3. Graus de liberdade (GL) das análises do experimento em casa de vegetação sobre a absorção de Mn instalado num esquema fatorial $2 \times 6 \times 4$ com parcela subdividida no tempo. Os fatores soja, fonte e tempo, com a (dois), b (seis) e c (quatro) níveis, respectivamente, r (quatro) blocos, instalado num delineamento em blocos aleatorizados

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	GL (sem o controle no nível fonte)
Blocos	$r - 1 = 4 - 1 = 3$	3
Tratamento (Trat)	$ab - 1 = 2 \times 6 - 1 = 11$	9
- Soja (S)	$a - 1 = 2 - 1 = 1$	1
- Fonte (F)	$b - 1 = 6 - 1 = 5$	4
- S $\times$ F	$(a - 1)(b - 1) = 1 \times 5 = 5$	4
Resíduo (a)	$(ab - 1)(r - 1) = (2 \times 6 - 1) \times (4 - 1) = 33$	27
Tempo (T)	$c - 1 = 4 - 1 = 3$	3
Trat $\times$ T	$(c - 1)(ab - 1) = 3 \times 11 = 33$	27
- S $\times$ T	$(c - 1)(a - 1) = 3 \times 1 = 3$	3
- F $\times$ T	$(c - 1)(b - 1) = 3 \times 5 = 15$	12
- S $\times$ F $\times$ T	$(c - 1)(a - 1)(b - 1) = 3 \times 1 \times 5 = 15$	12
Resíduo (b)	$ab(c - 1)(r - 1) = 2 \times 6(4 - 1)(4 - 1) = 108$	90
Total	$rabc - 1 = 4 \times 2 \times 6 \times 4 - 1 = 191$	159

As aplicações dos tratamentos foram realizadas quando as plantas de soja atingiram o estágio V4 (três trifólios totalmente formados) nos dias 06 e 07 de dezembro de 2015, nos solos “+Mn” e “-Mn”, respectivamente. Nesses dias e antes da aplicação, quatro plantas entre as seis de cada vaso foram identificadas aleatoriamente com marcadores coloridos (abraçadeiras de nylon e arames plastificados) conforme o tempo de absorção a que seriam submetidas após a aplicação da solução. Assim, cada vaso ficou como uma parcela, onde foi aplicado um dos níveis

dos fatores soja e fonte, contendo quatro subparcelas onde foram aplicados os quatro níveis do fator tempo (4, 24, 48 e 72 h).

Para aplicação foliar utilizou-se as soluções dos tratamentos mostrados na Tabela 4 sem adição de adjuvantes. Nas plantas que receberam Mn a dose utilizada foi a equivalente a 350 g ha⁻¹ via foliar (dose equivalente a 350 g de Mn diluído em 200 L) conforme recomendação (EMBRAPA, 2013). Assim, foram preparadas soluções contendo Mn na concentração de 1,75 g L⁻¹. Para aplicação do glifosato foi utilizado produto formulado à base do sal isopropilamina na dose de 720 g ha⁻¹ do equivalente ácido (e.a. 3,6 g L⁻¹ ou glifosato 7,5 mL L⁻¹).

Tabela 4. Concentração de cada fertilizante e de glifosato na solução aplicada nas folhas primárias e nos três primeiros trifólios das plantas de soja cultivadas em casa de vegetação

Tratamento [¶]	Concentração [†]	pH da solução
Sem Mn e sem glifosato	Água (controle)	5,47
Mn-Cloreto	12,5 mL L ⁻¹	5,82
Mn-Sulfato	5,65 g L ⁻¹	5,17
Mn-Carbonato	3,50 mL L ⁻¹	9,19
Mn-EDTA	13,46 g L ⁻¹	5,83
Mn-Citrato	19,23 mL L ⁻¹	2,55
Glifosato	7,50 mL	4,72
Glifosato + Mn-Cloreto	7,50 mL L ⁻¹ + 12,5 mL L ⁻¹	3,83
Glifosato + Mn-Sulfato	7,50 mL L ⁻¹ + 5,65 g L ⁻¹	4,06
Glifosato + Mn-Carbonato	7,50 mL L ⁻¹ + 3,50 mL L ⁻¹	5,18
Glifosato + Mn-EDTA	7,50 mL L ⁻¹ + 13,46 g L ⁻¹	5,07
Glifosato + Mn-Citrato	7,50 mL L ⁻¹ + 35,00 mL L ⁻¹	2,79

[†] Concentração de cada fertilizante em 1 L de solução contendo Mn na concentração de 1,75 g L⁻¹ e o sal isopropilamina (equivalente ácido do Glifosato) na concentração de 3,6 mL L⁻¹.

[¶] Os tratamentos constaram dos seguintes produtos comerciais:

Mn-Cloreto: Profol Manganês K (Produquímica), 14% Mn (m/v)

Mn-Sulfato: Sulfato de Manganês Monohidratado (Produquímica), 31% Mn (m/m)

Mn-Carbonato: Broadacre Mn⁺, (Agrichem) 50% Mn (m/v)

Mn-EDTA: Kellus Manganese (Produquímica), 13% Mn (m/m)

Mn-Citrato: Profol Manganês Prime 200 (Produquímica), 9,1% Mn (m/v),

Glifosato: Roundup Original (Monsanto).

Neste estudo, a solução de cada tratamento foi aplicada individualmente com uma haste flexível de algodão (“cotonetes[®]”) nas folhas primárias e nos três primeiros trifólios de cada planta (ver trifólios tratados do estudo I na Figura 3). O volume aplicado foi determinado pela diferença de massa do conjunto solução+haste flexível antes e depois da aplicação em cada planta (utilizou-se uma balança analítica milesimal para determinar a massa). Seguiu-se também uma ordem de aplicação relacionada ao tempo de absorção que cada planta foi submetida (ver esquema na tabela 5). Isso foi feito para a determinação exata do momento de corte de cada planta já que o horário de aplicação de cada tratamento não foi igual para todas as plantas dada à

morosidade. A aplicação foi feita por quatro pessoas, uma para cada bloco experimental, a fim de reduzir o tempo de aplicação dos tratamentos em todo o experimento.

Tabela 5. Ordem de aplicação foliar dos tratamentos nas seis plantas de cada vaso

Planta	Cor do marcador	Tempo para corte após a aplicação	Ordem de aplicação	Ordem de corte
5 e 6	Sem identificação	Estudo II	1°	5°
1	Branco	72 h	2°	4°
2	Transparente	48 h	3°	3°
3	Verde	24 h	4°	2°
4	Preto	04 h	5°	1°

Após 4, 24, 48 e 72 h da aplicação (tempo determinado conforme horário de aplicação), as plantas foram colhidas (uma planta por vaso para cada tempo); lavadas três vezes em água deionizada; seccionadas e divididas em hastes e folhas primárias + trifólios com pecíolos; colocadas para secar individualmente durante três dias a 65°C em estufa de ventilação forçada de ar; pesadas em balança centesimal; moídas em moinho tipo Wiley e sem serem passadas em peneira a fim de aproveitar todo o material, visto que a quantidade de cada parte foi de aproximadamente 1,0 g; pesadas em porções de 0,250 g por parte e submetidas à digestão nitroperclórica para posterior determinação da concentração de Mn total por espectrofotometria de absorção atômica e cálculo do conteúdo de Mn em todas as partes (MALAVOLTA et al., 1989).

A absorção foliar de Mn foi considerada como a quantidade total de Mn retido pelos tecidos foliares (trifólios tratados) após lavagem com água deionizada. O cálculo de absorção foi feito segundo Vu et al. (2013).

Mn absorvido (mg/planta) = (teor de Mn nos trifólios tratados – teor nos trifólios controle) × massa de matéria seca dos trifólios tratados

Absorção de Mn (%) = (conteúdo de Mn nos trifólios tratados – conteúdo nos trifólios controle) / conteúdo de Mn aplicado) × 100

3.1.1.1. Análises Estatísticas do Estudo I

As variáveis analisadas foram: massa seca, teor e conteúdo de Mn dos trifólios tratados e de haste, e Mn absorvido pelos trifólios. Elas foram submetidas a teste de normalidade dos

resíduos (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade das variâncias (Bartlett teste) que precederam a análise de variância e teste de comparação de médias (teste de Tukey, $p \leq 0,05$) quando se verificou diferenças significativas pelo teste F ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos. Quando for verificado efeito dos fatores ou interação destes em uma das variáveis, os resultados serão apresentados na forma de gráficos.

3.1.2. Estudo II: Distribuição de Manganês

Neste estudo foram realizados dois experimentos para avaliar a distribuição de Mn na parte aérea de plantas de soja. Distribuição será tratada aqui como o movimento de Mn do local de absorção para outro na parte aérea de plantas de soja (MALAVOLTA et al., 1989). Um foi conduzido no “solo +Mn” e o outro no “-Mn”. Em cada experimento foi utilizado o delineamento experimental em blocos aleatorizados, com quatro repetições e em esquema fatorial 2×6 . Os tratamentos consistiram do fator soja em dois níveis (cultivada sem e com aplicação de glifosato) e do fator fonte do fertilizante em seis níveis (sem Mn ou Controle, Cloreto, Sulfato, Carbonato, EDTA e Citrato), totalizando assim 12 tratamentos (Tabela 6).

Tabela 6. Graus de liberdade das análises do experimento em casa de vegetação sobre distribuição de Mn instalado num esquema fatorial 2×6 , com os fatores soja e fonte, com a (dois) e b (seis) níveis, respectivamente, e r (quatro) blocos, instalados num delineamento em blocos aleatorizados

Fontes de Variação	Graus de Liberdade
Blocos	$r - 1 = 4 - 1 = 3$
Soja (S)	$a - 1 = 2 - 1 = 1$
Fonte (F)	$b - 1 = 6 - 1 = 5$
$S \times F$	$(a - 1)(b - 1) = 1 \times 5 = 5$
Resíduo	$(ab - 1)(r - 1) = (2 \times 6 - 1) \times 3 = 33$
Total	$abr - 1 = 2 \times 6 \times 4 - 1 = 47$

Neste estudo a solução de cada tratamento foi aplicada da mesma forma que no estudo I, porém a determinação do volume aplicado foi feita após a aplicação nas duas plantas e não em uma só como no estudo I. A ordem de aplicação dos tratamentos nas plantas desse experimento consta na Tabela 5 já mostrada.

Após a retirada das quatro plantas utilizadas no estudo I, as duas plantas de soja restantes em cada vaso foram conduzidas até o final do ciclo. No dia 10 de janeiro de 2016 (61 dias após a semeadura e quando as plantas estavam entre os estádios R2 e R3) fez tutoramento de cada planta com barbante de algodão a fim de evitar entrelaçamento da parte aérea. Durante esse

período a parte aérea das duas plantas de cada vaso foi dividida em duas partes: 1ª parte, composta pelas folhas primárias mais os três trifólios que receberam a aplicação dos tratamentos e que foram identificados com marcadores coloridos (arames plastificados) denominada aqui de “trifólios tratados” e, 2ª parte, composta pelos trifólios formados após a aplicação dos tratamentos e denominada aqui de “trifólios não tratados” (Figura 3).

Figura 3. Ilustração dos trifólios tratados e trifólios não tratados de uma planta de soja, sacos plásticos com zíper para armazenamento dos trifólios tratados e etiqueta de identificação do tratamento. No estudo I haviam quatro plantas e no estudo II duas plantas por vaso. Adaptado de Heenan e Campbell (1980).

Como a perda de trifólios poderia começar entre os estádios V4 e V5 nos nós dos trifólios mais baixos e progredir muito lentamente para cima até pouco depois do estágio R6 e se tornar rápida e contínua até R8 (RITCHIE et al., 1982), fez-se o monitoramento diário de cada planta para ser feita a coleta dos trifólios quando estes estivessem entre a fase de indução da queda e a fase de queda (totalmente amarelados ou começando a secar, Figura 4). Em caso de queda espontânea destes a identificação da planta de origem era feita, no caso dos trifólios tratados, através dos marcadores coloridos colocados neles. Para viabilizar e facilitar a coleta e armazenamento dos trifólios, um saco plástico com zíper foi fixado ao lado de cada vaso para receber os trifólios tratados coletados. Já a coleta dos trifólios não tratados começou a ser feita 90

dias após a semeadura, quando estes entraram em processo de senescência, e foi feita em sacos de papel colocados em cima da bancada e ao lado do vaso.

Figura 4. Procedimento de coleta de trifólios tratados em senescência de plantas de soja. Ilustração da coleta no tratamento soja com glifosato e EDTA apresentando sintomas de fitotoxidez no dia 14/11/2015 (sete dias e meio ou 180 h após a aplicação deste tratamento). a) detalhe de folíolo lateral senescente no 1º trifólio; b) planta de soja com folíolo lateral senescente; c) outro detalhe do folíolo lateral senescente; d) início da coleta do folíolo lateral; e) folíolo lateral separado do trifólio; f) folíolo sendo colocado no saco plástico de zíper; g) folíolo dentro do saco; h) planta de soja sem o folíolo lateral; i) sacos de papel para armazenamento temporário dos trifólios não tratados.

Nos dias 17 e 18 de março de 2016, 128 dias após a semeadura, as plantas foram colhidas e separadas em: i) trifólios tratados, ii) trifólios não tratados, iii) hastes, iv) vagens e v) grãos. Após a separação, nenhuma das partes foi lavada a fim de evitar perda de Mn, visto que o Mn pode ser lixiviado das folhas e demais partes da planta quando estas estão em estágio de senescência (LONERAGAN, 1988). As vagens e os grãos foram contados e depois todas as partes foram acondicionadas separadamente em sacos de papel, colocadas para secar durante três

dias a 65°C em estufa de ventilação forçada de ar a fim de uniformizar a secagem, pesadas em balança centesimal, moídas em moinho tipo Wiley, passadas em peneira com abertura de 0,841 mm (20 mesh) e submetidas à digestão nitroperclórica. Determinou-se a concentração de Mn total por espectrofotometria de absorção atômica e calculou-se o conteúdo de Mn em todas as partes (MALAVOLTA et al., 1989).

3.1.2.1. Análises Estatísticas do Estudo II

As variáveis analisadas foram: número de vagens e grãos por planta; número de grãos por vagem; peso de 100 grãos; matéria seca, teor e conteúdo de Mn de trifólios tratados, trifólios não tratados, hastes, vagens, grãos e parte aérea. Elas foram submetidas a teste de normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade das variâncias (Bartlett teste) que precederam a análise de variância e teste de comparação de médias (teste de Tukey, $p \leq 0,05$) quando se verificou diferenças significativas pelo teste F ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos. Quando for verificado efeito dos fatores ou interação destes em uma das variáveis, os resultados serão apresentados na forma de gráficos.

3.2. Experimentos em Campo

3.2.1. Estudo III: Componentes de Produção e Rendimento de Grãos

Foram conduzidos dois experimentos no Centro de Pesquisa Geraldo Schultz localizado no município de Iracemápolis/SP (Figura 5). O clima da área é do tipo Cwa (temperado com inverno seco e verão quente) segundo a classificação de Köppen-Geiger (PEEL, FINLAYSON, MCMAHON, 2006) com temperatura média anual de 21,5°C e precipitação anual de 1360 mm (CEPAGRI, 2017). Um experimento foi instalado num Argissolo Vermelho Distrófico (PVd) (EMBRAPA, 2006) com teor alto de Mn mencionado ao longo deste trabalho como “solo +Mn” (22°39’04”S, 47°29’52”W) e outro num Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) (EMBRAPA, 2006) com teor médio de Mn (22°38’40S, 47°30’16”W) mencionado como “solo -Mn” (Figura 5). A caracterização química e granulométrica de cada solo foi feita na profundidade de 0-20 cm conforme descrito anteriormente para as análises dos solos utilizados em casa de vegetação (Tabela 1).

Figura 5. Imagem de satélite das áreas experimentais em Iracemópolis/SP em 31 de março de 2016. Fonte: Google Earth™ Mapping Service.

Neste estudo os dois experimentos foram feitos para avaliar alguns componentes de produção e rendimento de grãos de soja. Em cada experimento utilizou-se o delineamento experimental em blocos aleatorizados, com seis repetições e em esquema fatorial 2×6 . Os tratamentos consistiram do fator soja em dois níveis (cultivada sem e com aplicação de glifosato) e do fator fonte do fertilizante em seis níveis (sem Mn ou Controle, Cloreto, Sulfato, Carbonato, EDTA e Citrato), totalizando assim 12 tratamentos (Tabela 7).

Tabela 7. Graus de liberdade das análises do experimento em campo sobre componentes de produção e rendimento de grãos instalado num esquema fatorial 2×6 , com os fatores soja e fonte, com a (dois) e b (seis) níveis, respectivamente, e r (seis) blocos, instalados num delineamento em blocos aleatorizados

Fontes de Variação	Graus de Liberdade
Blocos	$r - 1 = 6 - 1 = 5$
Soja (S)	$a - 1 = 2 - 1 = 1$
Fonte (F)	$b - 1 = 6 - 1 = 5$
$S \times F$	$(a - 1)(b - 1) = 1 \times 5 = 5$
Resíduo	$(ab - 1)(r - 1) = (2 \times 6 - 1) \times 5 = 55$
Total	$abr - 1 = 2 \times 6 \times 6 = 71$

Antes da instalação dos experimentos, cada área foi preparada para a semeadura. O preparo do solo constou de uma aração seguida por uma gradagem. Os sulcos de semeadura foram abertos por tração mecanizada. Com base nos resultados da análise de solo, foi realizada

uma adubação de base com N e P_2O_5 nas doses de 20 e 98 kg ha⁻¹, respectivamente na forma do fertilizante formulado 10-49-00 e uma adubação de pré-plantio com K_2O na dose de 70 kg ha⁻¹ na forma de cloreto de potássio.

No momento de instalação dos experimentos, cada tratamento foi alocado em parcela experimental de 21 m² formada por seis sulcos de 7,0 m cada, espaçados 0,5 m entre si. A área útil teve 10 m² e foi formada pelas quatro fileiras centrais. Consideraram-se como bordadura 1,0 m em cada extremidade dos sulcos e os dois sulcos fora da área útil (Figura 6).

Figura 6. Esquema da parcela experimental ilustrando os sulcos de semeadura (linhas pontilhadas) e a área útil (área sombreada).

As semeaduras da soja foram realizadas no dia 29 de outubro de 2015 no “solo -Mn” e no dia 10 de novembro de 2015 no “solo +Mn”. Nas duas áreas foram utilizadas sementes da cultivar M6410 IPRO que tem a tecnologia Intacta RR2 PRO[®] (ver detalhes da tecnologia e da cultivar nos anexos a, b e c). Antes das semeaduras as sementes foram tratadas com inseticidas, fungicidas, fertilizantes Ni, Co e Mo e inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*. Os produtos comerciais e as doses utilizadas estão na Tabela 8. A densidade de semeadura foi de 20 sementes por metro (400.000 plantas ha⁻¹) e não foi feito desbaste já que possíveis alterações na população de plantas, de forma não acentuada, não afetariam a produtividade final da soja devido a sua alta plasticidade de crescimento (GAUDÊNCIO et al., 1990; TORRES, 1991, BALBINOT Jr. et al., 2015).

O controle de plantas daninhas foi realizado por meio de duas capinas manuais nos dias 28 de novembro de 2015 (18 dias após a semeadura) e 06 de janeiro de 2016 (57 dias após a semeadura) em todas as parcelas experimentais da área do “solo +Mn”. Na área do “solo -Mn” houve necessidade de apenas um repasse na lavoura para arrancar algumas plantas daninhas que surgiram. Aplicações de prevenção e/ou controle de pragas e doenças durante o ciclo foram

realizadas aos 29, 48, 70 e 84 dias após a semeadura na área do “solo -Mn” e aos 17, 36, 58 e 72 dias após a semeadura na área do “solo +Mn” (Tabela 8).

Tabela 8. Data de pulverização e produtos utilizados na prevenção e controle de pragas e doenças durante o ciclo da soja nos dois experimentos

Período da pulverização	Produto Comercial (P.C)	Classe e modo de ação	Dose P.C † mL ha ⁻¹ ou g ha ⁻¹
(27/11/2015)	Triunfo Neutrum	Adjuvante (N: 89g/L e P ₂ O ₅ :22 g/L)	50
	Elatus	Fungicida sistêmico e de contato	200
	Locker	Fungicida sistêmico e de contato	1500
	Ampligo	Inseticida de contato e ingestão	100
	Nimbus	Adjuvante óleo mineral	300
(16/12/2015)	Triunfo Neutrum	Adjuvante (N: 89g/L e P ₂ O ₅ :22 g/L)	100
	Kellus Imune	Fertilizante foliar (P ₂ O ₅ :42% ; K ₂ O: 27,7%; S: 5,2%; Mg: 4% e Cu: 1%)	300
	Orkestra	Fungicida de ação protetora e sistêmica	360
	Premio	Inseticida de contato e ingestão	60
(07/01/2016)	Triunfo Neutrum	Adjuvante (N: 89g/L e P ₂ O ₅ : 22 g/L)	100
	Locker	Fungicida sistêmico e de contato	1250
	Premio	Inseticida de contato e ingestão	50
	Engeo Pleno	Inseticida sistêmico de contato e ingestão	250
	Fox	Fungicida mesostêmico e sistêmico	400
(21/01/2016)	Triunfo Neutrum	Adjuvante (N: 89g/L e P ₂ O ₅ : 22 g/L)	150
	Orkestra	Fungicida de ação protetora e sistêmica	250
	Engeo Pleno	Inseticida sistêmico de contato e ingestão	250
	Opera	Fungicida de ação sistêmica	150

† O volume de calda utilizado para aplicação dos produtos comerciais foi de 150 L ha⁻¹.

Os tratamentos foram aplicados no dia 26 de novembro na área do “solo -Mn” e no dia 07 de dezembro de 2015 na área do “solo +Mn” quando as plantas atingiram o estágio fenológico V4. O Mn foi aplicado na dose de 350 g ha⁻¹ e o glifosato na dose de 720 g ha⁻¹ (equivalente ácido - e.a) em formulação à base do sal isopropilamina. As aplicações foram realizadas entre as 09h00 e 11h00 com um pulverizador costal de pressão constante (mantida por CO₂ comprimido) contendo barra com seis bicos espaçados 0,5 m entre si e proporcionando consumo de calda de 120 L ha⁻¹.

As amostragens na área útil de cada parcela foram realizadas quando as vagens das plantas de soja estavam na maturação plena. Para avaliação dos componentes de produção, massa seca e conteúdo de Mn em hastes, vagens e grãos, fez-se a contagem do número de plantas em cada dois metros das quatro linhas da área útil e coletaram-se aleatoriamente duas plantas por linha. No laboratório as plantas de cada tratamento foram separadas em hastes, vagens e grãos. Essas partes foram identificadas, as vagens e grãos foram contados e depois todas foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas para secar durante três dias a 65°C em estufa de

ventilação forçada de ar, pesadas em balança centesimal, moídas em moinho tipo Wiley, passadas em peneira com abertura de 0,841 mm (20 mesh) e submetidas à digestão nitroperclórica. Determinou-se o teor de Mn total por espectrofotometria de absorção atômica e calculou-se o conteúdo de Mn em todas as partes (MALAVOLTA et al., 1989). Para determinação de produtividade, toda a área útil foi colhida (plantas cortadas rente ao solo com uma roçadeira elétrica) e as vagens debulhadas com uma trilhadeira nos dias 08 e 15 de março de 2016 nas áreas “solo -Mn” e “solo +Mn”, respectivamente. Os grãos foram secos ao sol, peneirados, pesados (umidade corrigida para 13%) e a produtividade (kg ha^{-1}) foi determinada.

Dados de temperaturas máxima, temperatura mínima e pluviosidade foram registrados diariamente por uma miniestação meteorológica localizada próxima às áreas experimentais (Figura 7).

Figura 7. Temperatura máxima e mínima, pluviosidade e principais eventos ocorridos no período de condução dos experimentos em campo. A seta com linha cheia refere-se à soja cultivada no “solo +Mn” e a seta com linha tracejada à soja cultivada no “solo -Mn”.

3.2.1.1. Análises Estatísticas do Estudo III

As variáveis analisadas foram: número de vagens e grãos por planta; grãos por vagem e peso de 100 grãos; massa de matéria seca, teor e conteúdo de Mn de hastes, vagens e grãos. Elas foram submetidas a teste de normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade das variâncias (Bartlett teste) que precederam a análise de variâncias e teste de comparação de médias (teste de Tukey, $p \leq 0,10$) quando se verificou diferenças significativas pelo teste F ($p \leq 0,10$) entre os tratamentos. Quando houve efeito dos fatores ou interação destes em uma das variáveis, os resultados foram apresentados na forma de gráficos.

4. RESULTADOS

4.1. Estudo I: Absorção de Manganês

4.1.1. Massa de Matéria Seca de Trifólios Tratados

Apesar dos trifólios tratados estarem totalmente formados no momento da aplicação, houve incremento na massa de matéria seca após 72 h da aplicação dos fertilizantes na soja do “solo +Mn” e isto foi influenciado apenas pelo fator tempo (Figura 8).

Figura 8. Massa de matéria seca de trifólios tratados de soja Intacta RR2 PRO® em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” e em função do fator tempo. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 48$). CV parcela = 12,55% e CV subparcela = 12,04%. $\bar{x} = 0,82$.

Houve interação soja $\times$ tempo para a massa de matéria seca de trifólios tratados da soja do “solo -Mn” em plantas de soja cultivada no “solo -Mn”. No desdobramento de soja dentro de cada nível de tempo, observa-se que os trifólios tratados da soja sem glifosato no tempo de 24 h apresentaram maior massa de matéria seca comparada a soja com glifosato. No desdobramento de tempo dentro de cada nível de soja, vê-se que a massa de matéria seca de trifólios tratados da soja sem glifosato no tempo de 72 h foi maior que no tempo de 4 h. Para a soja com glifosato isso ocorreu também, porém o incremento de massa entre o tempo de 24 h e 72 h foi maior (Figura 9).

Figura 9. Massa de matéria seca de trifólios de soja Intacta RR2 PRO® em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função da interação soja × tempo. Médias com a mesma letra minúscula dentro do tempo e maiúscula dentro de soja não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 24$). CV parcela = 13,17% e CV subparcela = 13,34%. $\bar{x} = 0,85$.

4.1.2. Massa de Matéria Seca de Haste

A soja cultivada com a aplicação de glifosato apresentou maior massa de matéria seca de haste (Figura 10a). Independente da fonte e da aplicação ou não de glifosato, a massa aumentou com o tempo (Figura 10b).

Figura 10. Massa de matéria seca de haste de soja Intacta RR2 PRO® em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” e em função do fator soja (a) e do fator tempo (b). Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 96$ e 48 , respectivamente). CV parcela = 17,26% e CV subparcela = 20,99%. $\bar{x} = 0,94$.

O fator tempo afetou a massa de matéria seca de haste de plantas de soja cultivadas no “solo -Mn”. A massa foi igual nos tempos 4 e 24 h e aumentou com o passar do tempo até o tempo de 72 h após a aplicação (Figura 11).

Figura 11. Massa de matéria seca de haste de soja Intacta RR2 PRO® em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função do fator tempo. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 48$). CV parcela = 25,94% e CV subparcela = 20,66%. $\bar{x} = 1,10$.

4.1.3. Teor de Manganês nos Trifólios Tratados

A aplicação de Mn aumentou o teor de Mn dos trifólios tratados. Quando se compara o fator soja dentro da fonte nota-se que o uso do glifosato só causou redução no teor de Mn quando aplicado com carbonato. Já ao comparar o fator fonte dentro do fator soja observa-se que com ou sem glifosato todas as fontes proporcionaram teor de Mn superior ao controle e que os trifólios tratados com sulfato, carbonato, EDTA e citrato, apresentaram teores de Mn inferiores ao cloreto (Figura 12).

Figura 12. Teor de Mn nos trifólios tratados de soja Intacta RR2 PRO® em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” e em função da interação soja × fonte de Mn. Médias com a mesma letra minúscula dentro da fonte e maiúscula entre fontes não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 16$). CV parcela = 40,74% e CV subparcela = 21,09%. $\bar{x} = 427,52$.

Houve interação soja $\times$ fonte $\times$ tempo para o teor de Mn nos trifólios de plantas de soja cultivada no “solo -Mn”. O conteúdo de Mn nos trifólios de plantas controle sem ou com glifosato se manteve igual ao longo do tempo (Figura 13).

No desdobramento de fonte dentro de cada nível de tempo e de soja nota-se que o teor de Mn diferiu entre fontes dentro de cada tempo e nível de soja. A fonte cloreto dentro de qualquer um dos tempos e nível de soja sempre proporcionou teor de Mn superior ou igual às demais. Nos tempos de 24, 48 e 72 h foi superior a todas as fontes e no de 4 h foi igual ao sulfato na soja sem glifosato e ao EDTA na soja com glifosato (Figura 13).

No desdobramento de soja dentro de cada nível de tempo e de fonte, observa-se que a soja sem ou com glifosato e sem aplicação de Mn não apresentou diferenças de teor de Mn. No geral as fontes sem glifosato proporcionaram teor maior do que as com glifosato. A exceção foi o teor de Mn de trifólios tratados com EDTA no tempo de 4 e 72 h que se mostraram maiores na soja com glifosato (Figura 13).

No desdobramento de tempo dentro de cada nível de soja e de fonte, verifica-se que os teores de Mn no tempo de 4 h, na soja sem ou com glifosato e em todas as fontes foram superiores ou iguais aos teores nos tempos de 24, 48 e 72 h (Figura 13).

Figura 13. Teor de Mn nos trifólios tratados de soja Intacta RR2 PRO[®] em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função da interação soja $\times$ fonte $\times$ tempo. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Letras precedidas do número 1 comparam o fator fonte dentro de cada nível de tempo e de soja, letras precedidas do número 2 comparam o fator soja dentro de cada nível de tempo e de fonte, letras precedidas do número 3 comparam o fator tempo dentro de cada nível de soja e de fonte. Barras indicam o erro padrão da média ($n = 4$). CV parcela = 53,61 e CV subparcela = 24,30%. $\bar{x} = 398,13$.

4.1.4. Teor de Manganês na Haste

Houve interação fonte $\times$ tempo para o teor de Mn na haste de plantas de soja cultivada no “solo +Mn”. Analisando as fontes dentro de cada nível de tempo, verifica-se que ao longo do tempo a fonte EDTA proporcionou teor de Mn maior que o controle e a fonte citrato. Ao analisar o tempo dentro de cada fonte percebe-se que não há alteração no teor de Mn ao longo do tempo nas hastes das plantas controle e dos tratamentos sulfato, EDTA e citrato. As diferenças ocorreram na fonte cloreto que proporcionou maior teor de Mn no tempo de 24 h comparado aos tempos de 48 e 72 h e na fonte carbonato que proporcionou maior teor no tempo de 24 h (Figura 14).

Figura 14. Teor de Mn na haste de soja Intacta RR2 PRO® em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” e em função da interação fonte $\times$ tempo. Médias com a mesma letra minúscula dentro do tempo e maiúscula entre tempos não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 8$). CV parcela = 51,11% e CV subparcela = 44,44%. $\bar{x} = 39,80$.

Houve interação soja $\times$ fonte $\times$ tempo para o teor de Mn na haste de plantas de soja cultivada no “solo -Mn” (Figura 15).

No desdobramento de fonte dentro de cada nível de tempo e de soja observa-se que no tempo 4 h e soja sem ou com glifosato o teor de Mn foi maior no tratamento EDTA, porém quando a soja não foi tratada com glifosato o teor nas plantas de outras fontes foi igual ao controle e isto não ocorreu na soja com glifosato, pois nas fontes cloreto e sulfato os teores de Mn foram maiores que no controle. No tempo 24 h na soja sem e com glifosato e nos tempos 48 e 72 h na soja sem glifosato as fontes não diferiram entre si, mas a soja com glifosato nesses dois últimos tempos apresentou teor de Mn na haste de plantas tratadas com EDTA maior que no controle (Figura 15).

No desdobramento de soja dentro de cada nível de tempo e de fonte verifica-se que no tempo 4 h as hastes de plantas tratadas com cloreto e EDTA apresentaram menor teor de Mn na soja sem glifosato. Nos demais tempos a única diferença entre a fonte sem ou com glifosato ocorreu no tratamento EDTA no tempo de 72 h onde o teor de Mn foi maior nas plantas com glifosato (Figura 15).

No desdobramento de tempo dentro de cada nível de soja e de fonte vê-se que na soja sem glifosato as fontes controle, cloreto, sulfato e carbonato não afetaram o teor de Mn ao longo do tempo. Isto também ocorreu para a soja com glifosato e fontes controle, carbonato e citrato. Na soja sem glifosato com as fontes EDTA e citrato e na soja com glifosato com as fontes cloreto, sulfato, e EDTA o teor de Mn na haste foi maior no tempo 4 h (Figura 15).

Figura 15. Teor de Mn na haste de soja Intacta RR2 PRO® em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função da interação soja $\times$ fonte $\times$ tempo. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Letras precedidas do número 1 comparam o fator fonte dentro de cada nível de tempo e de soja, letras precedidas do número 2 comparam o fator soja dentro de cada nível de tempo e de fonte, letras precedidas do número 3 comparam o fator tempo dentro de cada nível de soja e de fonte. Barras indicam o erro padrão da média ($n = 4$). CV parcela = 41,00% e CV subparcela = 36,90%. $\bar{x} = 36,04$.

4.1.5. Conteúdo de Manganês nos Trifólios Tratados

Houve interação soja $\times$ fonte para o conteúdo de Mn dos trifólios tratados da soja do “solo +Mn” que foi maior nas plantas que receberam aplicação de Mn. Quando se compara o fator fonte dentro de soja nota-se que o cloreto possibilitou maior conteúdo de Mn em relação às demais fontes. Ao avaliar soja dentro de fonte vê-se que a aplicação de carbonato ou EDTA com glifosato em relação à aplicação destas sem glifosato diminui ou aumenta o conteúdo de Mn, respectivamente (Figura 16).

Figura 16. Conteúdo de Mn nos trifólios tratados de soja Intacta RR2 PRO® em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” e em função da interação soja × fonte de Mn. Médias com a mesma letra minúscula dentro da fonte e maiúscula entre fontes não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 16$). CV parcela = 38,75% e CV subparcela = 21,38%. $\bar{x} = 0,35$.

Houve interação soja × fonte × tempo para o conteúdo de Mn nos trifólios tratados da soja do “solo -Mn” (Figura 17).

No desdobramento de fonte dentro de cada nível de tempo e de soja observa-se que no tempo 4 h e soja sem glifosato o conteúdo de Mn dos trifólios é bem diferente entre fontes sendo que a fonte cloreto e sulfato são as que proporcionaram maior acúmulo de Mn e a fonte EDTA, sem considerar o controle, foi onde houve o menor acúmulo. Nesse mesmo tempo a soja com glifosato apresentou maiores conteúdos em trifólios tratados com EDTA e cloreto. Nos tempos 24, 48, e 72 h e soja sem ou com glifosato o conteúdo de Mn foi maior na fonte cloreto (Figura 17).

No desdobramento de soja dentro de cada nível de tempo e de fonte, nota-se que nos quatros tempos o controle não causou diferenças de conteúdo de Mn nos trifólios entre a soja sem e com glifosato. No tempo 4 h as fontes cloreto, sulfato, carbonato e citrato proporcionaram acúmulos de Mn nos trifólios da soja sem glifosato maiores que os obtidos na soja com glifosato que acumulou mais Mn quando se utilizou a fonte EDTA. No tempo 24 h as fontes cloreto, sulfato, EDTA e citrato proporcionaram conteúdos de Mn nos trifólios da soja sem ou com glifosato que não diferiram entre si. Por outro lado, o carbonato foi mais eficiente em acumular Mn nos trifólios da soja sem glifosato. No tempo 48 h as fontes cloreto, EDTA e citrato proporcionam conteúdos de Mn nos trifólios da soja sem glifosato similares aos da soja com glifosato. Já as fontes sulfato e carbonato apresentam maior eficiência em acumular Mn na soja sem glifosato. No tempo 72 h as fontes cloreto, sulfato e carbonato proporcionam maior acúmulo de Mn nos trifólios da soja sem glifosato do que na soja com glifosato. Nesse tempo a

fonte EDTA foi mais eficiente em acumular Mn nos trifólios da soja com glifosato e a fonte citrato tem efeito similar na soja sem ou com glifosato (Figura 17).

No desdobramento de tempo dentro de cada nível de soja e de fonte nota-se que não houve efeito do tempo no conteúdo de Mn de plantas de soja dos controles e de plantas tratadas com glifosato em mistura com as fontes cloreto e carbonato. Na soja sem glifosato a fonte cloreto possibilitou acúmulo no tempo 24 h menor que no 72 h. Já as fontes sulfato, carbonato, EDTA e citrato foram melhores no tempo 4 h. Na soja com glifosato e fontes sulfato, EDTA e citrato o conteúdo foi maior também no tempo 4 h (Figura 17).

Figura 17. Conteúdo de Mn nos trifólios tratados de soja Intacta RR2 PRO® em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função da interação soja × fonte × tempo. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Letras precedidas do número 1 comparam o fator fonte dentro de cada nível de tempo e de soja, letras precedidas do número 2 comparam o fator soja dentro de cada nível de tempo e de fonte, letras precedidas do número 3 comparam o fator tempo dentro de cada nível de soja e de fonte. Barras indicam o erro padrão da média ($n = 4$). CV parcela = 57,44% e CV subparcela = 26,99%. $\bar{x} = 0,33$.

4.1.6. Conteúdo de Manganês na Haste

Houve interação soja × fonte × tempo para o conteúdo de Mn na haste de plantas de soja cultivadas no “solo +Mn” (Figura 18).

No desdobramento de fonte dentro de cada nível de tempo e de soja percebe-se que não houve diferenças entre as fontes nos tempos de 4 h e 48 h sem ou com glifosato e no tempo de 72 h sem glifosato. No tempo de 24 h a fonte carbonato sem glifosato proporcionou acúmulo de Mn superior às outras fontes e quando em mistura com o glifosato o conteúdo foi igual às demais. Nesse tempo a fonte EDTA misturada com o glifosato superou o controle e no tempo de 72 h essa fonte foi superior ao cloreto e ao citrato (Figura 18).

No desdobramento de soja dentro de cada nível de tempo e de fonte nota-se que o uso de glifosato reduziu o conteúdo de Mn no tempo de 24 h quando foi utilizada a fonte carbonato. Nos outros tempos e fontes o uso ou não de glifosato não alterou o conteúdo de Mn na haste (Figura 18).

No desdobramento de tempo dentro de cada nível de soja e de fonte verifica-se que no tempo de 24 h na soja sem glifosato e com carbonato o conteúdo de Mn na haste superou os dos demais tempos e isto indica que pode ter ocorrido contato dos trifólios tratados com parte da haste e esta absorveu o Mn durante as 24 h após a aplicação (Figura 18).

Figura 18. Conteúdo de Mn na haste de soja Intacta RR2 PRO® em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” e em função da interação soja × fonte × tempo. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Letras precedidas do número 1 comparam o fator fonte dentro de cada nível de tempo e de soja, letras precedidas do número 2 comparam o fator soja dentro de cada nível de tempo e de fonte, letras precedidas do número 3 comparam o fator tempo dentro de cada nível de soja e de fonte. Barras indicam o erro padrão da média ($n = 4$). CV parcela = 61,16% e CV subparcela = 59,24%. $\bar{x} = 0,04$.

Houve interação fonte × tempo para o conteúdo de Mn na haste de plantas de soja cultivada no “solo -Mn”, porém ao longo do tempo esse conteúdo não foi alterado nas plantas do controle (Figura 19).

No desdobramento de fonte dentro de cada nível de tempo, observa-se que no tempo de 4 h a fonte EDTA proporcionou maior acúmulo de Mn e as outras fontes não diferiram entre si. No tempo de 72 h o Mn acumulado da fonte carbonato foi similar ao do controle e ao do EDTA e superior ao das fontes cloreto, sulfato e citrato (Figura 19).

No desdobramento de tempo dentro de cada nível de fonte, nota-se que o conteúdo de Mn na haste foi maior nas plantas tratadas com EDTA no tempo de 4 h e com carbonato no tempo de 72 h. Nos tempo de 24 e 48 h essas duas fontes não apresentaram diferenças de efeito

no conteúdo de Mn. Nas hastes das plantas tratadas com as fontes controle, cloreto, sulfato e citrato o conteúdo de Mn se manteve igual em todos os tempos (Figura 19).

Figura 19. Conteúdo de Mn na haste de soja Intacta RR2 PRO® em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função da interação fonte × tempo. Médias com a mesma letra minúscula dentro do tempo e maiúscula dentro da fonte não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 8$). CV parcela = 64,62% e CV subparcela = 62,43%. $\bar{x} = 0,04$.

4.1.7. Absorção de Manganês

Houve interação soja × fonte para a absorção de Mn na soja do solo “+Mn”. Observa-se que das três fontes de Mn na forma inorgânica, o cloreto de Mn com ou sem glifosato foi a fonte que proporcionou maior absorção, porém teve sua eficiência diminuída quando foi misturada com o glifosato, assim como a fonte carbonato que é precipitada quando em mistura com esse herbicida. Já as fontes de Mn na forma orgânica e quelatada proporcionaram absorção relativamente baixa e similar entre si, mas o citrato de Mn apresentou melhor desempenho quando aplicado sem glifosato (Figura 20).

Figura 20. Absorção de Mn pelos trifólios de soja Intacta RR2 PRO® em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” e em função da interação soja × fonte de Mn. Médias com a mesma letra minúscula dentro da fonte e maiúscula entre fontes não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 16$). CV parcela = 30,82% e CV subparcela = 24,57%. $\bar{x} = 28,77$.

Houve interação soja × fonte × tempo para a absorção de Mn pelos trifólios tratados no “solo -Mn” (Figura 21).

Analisando a absorção de fonte dentro de cada nível de tempo e de soja, nota-se que a fonte cloreto quando aplicada sem glifosato e em qualquer um dos tempos avaliados proporcionou absorção maior que as demais. Quando aplicada em mistura com o glifosato o cloreto só não foi superior à fonte EDTA no tempo de 4 h após a aplicação.

No desdobramento de soja dentro de cada nível de tempo e de fonte, vê-se que a absorção nos quatro tempos avaliados foi geralmente maior nas fontes que foram aplicadas na soja sem glifosato. Uma das exceções ocorreu no tempo 4 h, onde a fonte EDTA proporcionou maior absorção na soja com glifosato, e nos demais tempos onde essa fonte proporcionou absorção igual na soja sem ou com glifosato (Figura 21).

No desdobramento de tempo dentro de cada nível de soja e de fonte verifica-se que na soja sem glifosato a fonte cloreto possibilita maior absorção nos tempos 48 e 72 h e as fontes sulfato, carbonato, EDTA e citrato causam absorção no tempo 4 h maior que nos demais tempos. Na soja com glifosato a absorção no tempo 4 h foi maior que nos demais quando se aplicou sulfato, EDTA e citrato. Quando foi aplicado cloreto ou carbonato a quantidade de Mn absorvida foi igual nos quatro tempos (Figura 21).

Figura 21. Absorção de Mn pelos trifólios de soja Intacta RR2 PRO® em estágio V4, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função da interação soja × fonte × tempo. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Letras precedidas do número 1 comparam o fator fonte dentro de cada nível de tempo e de soja, letras precedidas do número 2 comparam o fator soja dentro de cada nível de tempo e de fonte, letras precedidas do número 3 comparam o fator tempo dentro de cada nível de soja e de fonte. Barras indicam o erro padrão da média ($n = 4$). CV parcela = 47,56% e CV subparcela = 26,03%. $\bar{x} = 30,85$.

4.2. Estudo II: Distribuição de Manganês

4.2.1. Estudo II: Trifólios Tratados, Trifólios não Tratados, Hastes, Vagens e Grãos

Pela Figura 22 observa-se a massa de matéria seca, o teor e conteúdo de Mn em partes (trifólios tratados, hastes, trifólios não tratados, vagens e grãos) da parte aérea das plantas de soja no estágio R8.

Verifica-se que não ocorreu efeito dos fatores soja e fonte e/ou interação destes na massa de matéria seca de nenhuma das partes e que a ordem crescente de distribuição de massa é: trifólios tratados < hastes ≤ vagens < trifólios não tratados < grãos (Figura 22a e 22b) e pode ser melhor observada nas Figuras 23 e 24 referentes a soja do “solo +Mn” e “solo -Mn”, respectivamente.

Em termos de teor de Mn nas partes, nota-se que no “solo +Mn” o teor nos trifólios tratados variou em função do fator fonte. Já no “solo -Mn” esse teor foi afetado pelo fator fonte nos trifólios tratados e pela interação soja × fonte nos trifólios não tratados. Os efeitos significativos são mostrados nas Figuras 25 a 28. Percebe-se ainda que os teores de Mn são mais elevados nos trifólios tratados, enquanto nas hastes, vagens e grãos não diferiram (Figura 22c e 22d).

Figura 22. Massa de matéria seca (a, b), teor de Mn (c, d) e conteúdo de Mn (e, f) em partes da parte aérea de soja Intacta RR2 PRO® em estágio R8, cultivada em casa de vegetação em solo com alto (a, c, e) e baixo (b, d, f) teor de Mn em função dos fatores soja e fonte. Médias em cada parte da planta (trifólios tratados (tt), hastes, trifólios não tratados (tnt), vagens e grãos) seguidas de “**soja”, “**fonte” ou “**sxf” tiveram efeito significativo ($p \leq 0,05$) dos fatores soja, fonte ou interação soja $\times$ fonte, respectivamente, e serão apresentadas isoladamente nas Figuras 25-28 e 30-34. Médias em cada parte da planta seguidas de “ns” não diferem entre si ($p \leq 0,05$).

Quanto ao conteúdo de Mn, as partes trifólios tratados e grãos da soja cultivada no “solo +Mn” foram afetadas pelo fator fonte e pela interação soja $\times$ fonte, respectivamente. No “solo -Mn”, os trifólios tratados e hastes tiveram os seus conteúdos de Mn afetados pelo fator fonte e os grãos pela interação soja $\times$ fonte. Os efeitos significativos são mostrados nas Figuras 30 a 34 . Verifica-se que os trifólios tratados mesmo apresentando massa seca bem inferior aos trifólios não tratados, apresentam conteúdo de Mn elevado e maior que o de hastes e vagens (Figura 22e e 22f).

4.2.2. Massa de Matéria Seca

Como já mostrado, não houve efeito dos fatores soja e fonte sobre a massa de matéria seca da parte aérea da soja e nem sobre as partes que a compõe (trifólios tratados, hastes, trifólios não tratados, vagens e grãos). Na soja do “solo +Mn” e do “solo -Mn” seu valor médio foi de 21,59 e 25,35 g/planta, respectivamente e em termos percentuais ficou distribuída aproximadamente assim: trifólios tratados, 4,2% e 3,7%; trifólios não tratados, 22,9% e 23,5%; haste, 17,9% e 18,4%; vagens, 18,8% e 18,6% e grãos, 36,2% e 36,0%, respectivamente (Figura 23 e 24).

Figura 23. Massa de matéria seca da parte aérea e de grãos, vagens, hastes, trifólios não tratados e trifólios tratados de soja Intacta RR2 PRO® em estágio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” em função do fator fonte. Número acima da coluna indica o valor médio da parte aérea. Número ao lado da coluna de cada fração da parte aérea indica o seu valor médio. Médias não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 8$). CV = 9,97%. $\bar{x} = 21,59$.

Figura 24. Massa de matéria seca da parte aérea de soja Intacta RR2 PRO® em estágio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função do fator fonte. Médias não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Número ao lado da coluna de cada fração da parte aérea indica o seu valor médio. Barras indicam o erro padrão da média ($n = 8$). CV = 4,85%. $\bar{x} = 25,35$.

4.2.3. Teor de Manganês nos Trifólios Tratados

Houve efeito do fator fonte no teor de Mn nos trifólios tratados da soja do “solo +Mn”. Todas as fontes proporcionaram teores de Mn nos trifólios maiores que os do controle. Os trifólios tratados com cloreto apresentaram teores maiores que os das demais fontes. (Figura 25).

Figura 25. Teor de Mn nos trifólios tratados de soja Intacta RR2 PRO® estágio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” e em função do fator fonte. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 8$). CV = 33,94%. $\bar{x} = 622,77$.

Houve efeito do fator fonte no teor de Mn nos trifólios tratados da soja do solo “-Mn”. As fontes sulfato, carbonato, EDTA e citrato proporcionaram teores de Mn iguais entre si, maiores que o controle e menores que o cloreto e isto mostra que todas as fontes de Mn proporcionaram aumento do teor de Mn, principalmente na parte que recebeu aplicação do glifosato (Figura 26).

Figura 26. Teor de Mn nos trifólios tratados de soja Intacta RR2 PRO® estágio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função do fator fonte. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 8$). CV = 31,42%. $\bar{x} = 516,87$.

4.2.4. Teor de Manganês nos Trifólios não Tratados

Houve efeito da interação soja $\times$ fonte no teor de Mn nos trifólios não tratados e isto já confirma o efeito da aplicação foliar nos trifólios tratados nos trifólios que não receberam a aplicação (Figura 27).

No desdobramento de soja dentro de cada nível de fonte verifica-se que o cloreto proporcionou maior teor de Mn nos trifólios não tratados na soja com glifosato e o sulfato possibilitou maior teor na soja sem glifosato. As demais fontes sem ou com glifosato não afetaram o teor de Mn (Figura 27).

No desdobramento de fonte dentro de cada nível de soja nota-se que na soja com glifosato todas as fontes proporcionaram teores iguais de Mn nos trifólios não tratados. Já na soja sem glifosato os teores variaram com a fonte e o sulfato possibilitou teor de Mn maior que no controle e cloreto e igual ao carbonato, EDTA e citrato (Figura 27).

Figura 27. Teor de Mn nos trifólios não tratados de soja Intacta RR2 PRO® estágio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função da interação soja × fonte. Médias com a mesma letra minúscula dentro de fonte e maiúscula dentro de soja não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 4$). CV = 16,19%. $\bar{x} = 70,49$.

4.2.5. Teor de Manganês na Parte Aérea da Planta

Houve efeito do fator fonte no teor de Mn da parte aérea da planta de soja do “solo +Mn”. Todas as fontes proporcionaram teores maiores que o do controle (Figura 28).

Figura 28. Teor de Mn nos trifólios tratados da parte aérea de soja Intacta RR2 PRO® em estágio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” e em função do fator fonte. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 8$). CV = 13,95%. $\bar{x} = 68,18$.

Houve efeito do fator fonte sobre o teor de Mn na parte aérea da planta. As fontes sulfato, carbonato, EDTA e citrato proporcionaram teores de Mn iguais entre si, maiores que o controle e menores que o cloreto e isto mostra que todas as fontes de Mn proporcionaram aumento do teor de Mn principalmente na parte que recebeu aplicação do glifosato (Figura 29).

Figura 29. Teor de Mn na parte aérea de soja Intacta RR2 PRO® estágio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função do fator fonte. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 8$). CV = 14,65%. $\bar{x} = 50,81$.

4.2.6. Conteúdo de Manganês nos Trifólios Tratados

Houve efeito do fator fonte de Mn no acúmulo de Mn nos trifólios tratados. Todas as fontes proporcionaram concentrações maiores que as dos controles (Figura 30).

Figura 30. Conteúdo de Mn nos trifólios tratados de soja Intacta RR2 PRO® estágio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” e em função do fator fonte. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 8$). CV = 33,33%. $\bar{x} = 0,5750$.

Assim como para o teor de Mn nos trifólios tratados, houve efeito da fonte no conteúdo de Mn nos trifólios tratados. As fontes sulfato, carbonato, EDTA e citrato proporcionaram teores de Mn iguais entre si, maiores que o controle e menores que o cloreto e isto mostra que todas as fontes de Mn proporcionaram aumento do teor de Mn principalmente na parte que recebeu aplicação do glifosato (Figura 31).

Figura 31. Conteúdo de Mn nos trifólios tratados de soja Intacta RR2 PRO® estágio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função do fator fonte. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 8$). CV = 35,11%. $\bar{x} = 0,50$.

4.2.7. Conteúdo de Manganês nas Hastes

Houve efeito da fonte no conteúdo de Mn na haste. A soja tratada com EDTA apresentou haste com conteúdo de Mn menor que com citrato. Porém ambas foram iguais às demais (Figura 32).

Figura 32. Conteúdo de Mn na haste de soja Intacta RR2 PRO® estágio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função do fator fonte. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 8$). CV = 12,60%. $\bar{x} = 0,06$.

4.2.8. Conteúdo de Manganês nos Grãos

Houve interação soja $\times$ fonte para o conteúdo de Mn nos grãos. As plantas que receberam a aplicação de glifosato apresentaram diferenças de acúmulo quando tratadas com

cloreto e citrato, pois os grãos das plantas que receberam cloreto apresentaram menor conteúdo de Mn comparadas às que receberam citrato. Já as demais fontes aplicadas com ou sem glifosato não causaram diferenças no Mn acumulado nos grãos (Figura 32).

Figura 33. Conteúdo de Mn nos grãos de soja Intacta RR2 PRO® estágio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” e em função da interação soja × fonte. Médias com a mesma letra minúscula dentro de fonte e maiúscula dentro de soja não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 4$). CV = 8,85%. $\bar{x} = 0,26$.

Houve efeito do fator soja sobre o conteúdo de Mn nos grãos. Nota-se que os grãos de soja sem glifosato acumularam mais Mn do que a soja que foi tratada com este (Figura 34).

Figura 34. Conteúdo de Mn nos grãos de soja Intacta RR2 PRO® estágio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função do fator soja. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 24$). CV = 7,61%. $\bar{x} = 0,25$.

4.2.9. Conteúdo de Manganês na Parte Aérea da Planta

Houve efeito do fator fonte no conteúdo de Mn na planta inteira. Todas as fontes proporcionaram concentrações maiores que as dos controles (Figura 35).

A aplicação de Mn aumentou o conteúdo de na parte aérea e o acúmulo é maior nos trifólios em que foi feita a aplicação de Mn. Nas demais partes da parte aérea da planta o Mn acumulado é igual entre fontes (Figura 35).

Figura 35. Conteúdo de Mn da parte aérea da planta e de grãos, vagens, hastes, trifólios não tratados e trifólios tratados de soja Intacta RR2 PRO® em estágio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” em função do fator fonte. Médias de uma parte com a mesma letra minúscula e médias com letra maiúscula para o conteúdo total não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 8$). CV = 17,25%. $\bar{x} = 1,47$.

Houve efeito do fator fonte no conteúdo de Mn na parte aérea da planta. As fontes sulfato, carbonato, EDTA e citrato proporcionaram teores de Mn iguais entre si e menores que o cloreto. O Mn acumulado por plantas tratadas com carbonato foi igual às plantas controle e às tratadas com sulfato, EDTA e citrato (Figura 36).

Figura 36. Conteúdo de Mn na parte aérea de soja Intacta RR2 PRO® estágio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função do fator fonte. Médias das colunas de cada fração da parte aérea seguidas por letras minúsculas ou médias do conteúdo total seguidas por letras maiúsculas não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 8$). CV = 16,51%. $\bar{x} = 1,29$.

4.2.10. Componentes de Produção – Casa de Vegetação

4.2.11. Número de Vagens por Planta

Houve interação soja $\times$ fonte no número de vagens por planta. A aplicação de glifosato em plantas que não receberam a aplicação de fontes reduziu o número de vagens por planta. No tratamento controle sem glifosato esse número foi de aproximadamente de 37 e no controle com glifosato foi de 28 vagens por planta. Independente do uso de glifosato, todas as plantas apresentaram número de vagens iguais quando receberam aplicação de qualquer uma das fontes de Mn (Figura 37).

Figura 37. Número de vagens por planta de soja Intacta RR2 PRO® estágio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” e em função da interação soja × fonte. Médias com a mesma letra minúscula dentro de fonte e maiúscula dentro de soja não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 4$). CV = 12,31%. $\bar{x} = 31,85$.

4.2.12. Número de Grãos por Planta

Houve interação soja × fonte no número de grãos por planta. A aplicação de glifosato em plantas que não receberam fontes de Mn reduziu a quantidade de grãos por planta. As plantas do tratamento Citrato sem glifosato apresentou menor número de grãos que o Citrato com glifosato (Figura 38).

Figura 38. Número de grãos por planta de soja Intacta RR2 PRO® estágio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo +Mn” e em função da interação soja × fonte. Médias com a mesma letra minúscula dentro de fonte e maiúscula dentro de soja não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 4$). CV = 12,02%. $\bar{x} = 75,39$.

O uso do glifosato provocou redução do número de grãos produzidos por cada planta de soja, no entanto a diferença foi pequena visto que houve pouca variação entre os dados (Figura 39).

Figura 39. Número de grãos por planta de soja Intacta RR2 PRO® estágio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função do fator soja. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 24$). CV = 5,74%. $\bar{x} = 89,07$.

4.2.13. Número de Grãos por Vagem

Houve efeito da interação soja $\times$ fonte no número de grãos por vagem (Figura 40). No desdobramento de soja dentro de cada nível de fonte observa-se que o controle e o EDTA proporcionaram maior número de grãos por vagem na soja sem glifosato. As demais fontes sem ou com glifosato não afetaram o número de grãos (Figura 40).

No desdobramento de fonte dentro de cada nível de soja nota-se que a soja sem glifosato produziu número de grãos igual em todas as fontes avaliadas. Na soja com glifosato o número de grãos produzidos com as fontes cloreto, sulfato e citrato foi maior que com o controle e EDTA e isto indica que nessas três fontes o fornecimento de Mn foi importante para manter a produção de grãos da soja com glifosato igual a sem glifosato (Figura 40).

Figura 40. Número de grãos por vagem de soja Intacta RR2 PRO® estágio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função da interação soja × fonte. Médias com a mesma letra minúscula dentro de fonte e maiúscula dentro de soja não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 4$). CV = 4,33%. $\bar{x} = 2,31$.

4.2.14. Massa de Matéria Seca de 100 Grãos

O uso do glifosato provocou aumento da massa de matéria seca de 100 grãos, no entanto a diferença é relativamente pequena assim como foi no número de grãos por planta. Com esse resultado vê-se que embora a soja com glifosato cultivada no “solo -Mn” tenha produzido menor número de grãos por planta, esses grãos apresentaram massa de matéria seca superior à soja sem glifosato (Figura 41).

Figura 41. Massa de matéria seca de 100 grãos de soja Intacta RR2 PRO® estágio R8, cultivada em casa de vegetação no “solo -Mn” e em função do fator soja. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 24$). CV = 5,29%. $\bar{x} = 10,26$.

4.3. Estudo III: Componentes de Produção e Rendimento de Grãos em Campo

4.3.1. Massa de Matéria Seca e Rendimento de Grãos

Os fatores soja e fonte ou a interação destes não afetaram a massa de matéria seca das hastes e vagens e também não tiveram efeito sobre a produtividade de grãos que foi de 4.010 kg ha⁻¹ (CV = 26,43) para a soja cultivada no “solo -Mn” e 1.977 kg ha⁻¹ (CV = 27,75%) para a soja cultivada no “solo +Mn”.

4.3.2. Teor de Manganês nas Vagens

Os fatores soja e fonte ou a interação destes não afetaram o teor de Mn nas hastes e grãos de soja. Apenas as vagens da soja cultivada no “solo -Mn” foram influenciadas pelo fator fonte fazendo com que o teor nas vagens do tratamento Sulfato fosse menor que do Controle. Nas vagens da soja das demais fontes e do controle os teores não diferiram entre si (Figura 42).

Figura 42. Teor de Mn nas vagens de soja Intacta RR2 PRO® em estágio R8, cultivada em campo no “solo -Mn” e em função do fator fonte. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,10$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 12$). CV = 21,28%. $\bar{x} = 57,71$.

4.3.3. Conteúdo de Manganês nos Grãos

Os fatores soja e fonte ou a interação destes não afetaram o conteúdo de Mn das hastes e vagens de soja. Houve efeito apenas do fator soja no conteúdo de Mn dos grãos fazendo que a soja sem glifosato apresentasse maior conteúdo de Mn que a soja com glifosato (Figura 43).

Figura 43. Conteúdo de Mn nos grãos de soja Intacta RR2 PRO® em estágio R8, cultivada em campo no “solo +Mn” e em função do fator soja. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,10$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 36$). CV = 23,25%. $\bar{x} = 0,28$.

4.3.4. Número de Grãos por Vagem – Campo

Houve efeito apenas do fator soja no número de grãos por vagem da soja do “solo - Mn”, visto que a aplicação de glifosato reduziu o número de grãos por vagem, porém a grandeza dessa redução tem pouca importância prática visto que as plantas de soja que não receberam a aplicação de glifosato produziram 2,35 grãos por vagem e as que foram tratadas com glifosato produziram 2,31 (Figura 44).

Figura 44. Número de grãos por vagem de soja Intacta RR2 PRO® em estágio R8, cultivada em campo no “solo - Mn” e em função do fator soja. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,10$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 36$). CV = 3,45%. $\bar{x} = 2,33$.

4.3.5. Massa de Matéria Seca de 100 Grãos

Houve efeito apenas do fator soja na massa de matéria seca de 100 grãos na soja do “solo +Mn” onde o glifosato causou redução da massa (Figura 45).

Figura 45. Massa de matéria seca de 100 grãos de soja Intacta RR2 PRO® em estágio R8, cultivada em campo no “solo +Mn” e em função do fator soja. Médias com a mesma letra não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,10$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 36$). CV = 9,95%. $\bar{x} = 9,52$.

Houve interação soja $\times$ fonte na massa de matéria seca de 100 grãos da soja do “solo - Mn” (Figura 46).

No desdobramento de soja dentro de fonte nota-se que as fontes Carbonato e EDTA proporcionaram maior massa na soja sem glifosato. Com a fonte Citrato a massa foi maior na soja com glifosato. Nas demais fontes a massa foi igual na soja sem ou com glifosato (Figura 46).

No desdobramento de soja dentro de fonte vê-se que o efeito das fontes na soja sem glifosato foi igual e que a na soja com glifosato as fontes Cloreto, Sulfato e Citrato possibilitaram massas iguais ao Controle e maiores que as demais fontes (Figura 46).

Figura 46. Massa de matéria seca de 100 grãos de soja Intacta RR2 PRO® em estágio R8, cultivada em campo no “solo -Mn” e em função da interação soja × fonte. Médias com a mesma letra minúscula dentro de fonte e maiúscula dentro de soja não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,10$). Barras indicam o erro padrão da média ($n = 6$). $CV = 3,74\%$. $\bar{x} = 15,48$.

5. DISCUSSÃO

5.1. Estudo I: Absorção de Manganês

O aumento de matéria seca dos trifólios e hastes da soja em função do tempo pode estar relacionado a processos de alongamento celular (WALTER, SCHURR, 2005; MIELEWCZIK et al., 2013; TAIZ, ZEIGER, 2013), que provavelmente não foi comprometido já que as plantas não apresentaram deficiência de Mn (MARSCHNER'S, 2012), e ao aumento de massa seca do quarto trifólio que estava sendo formado e foi considerado como parte da haste na metodologia utilizada neste trabalho. Já que os fatores soja (exceção da massa de matéria seca dos trifólios e de hastes da soja do “solo -Mn” e “+Mn”, respectivamente, Figuras 9 e 10) e fonte não apresentaram efeito sobre essas variáveis, esse alongamento celular pode estar relacionado à expansão foliar e ao aumento de comprimento de pecíolos e entrenós, que pode ter sido causado pelo aumento no fotoperíodo dentro da casa de vegetação (THOMAS, RAPER, 1985; SNOWDEN, COPE, BUGBEE, 2016) durante as colheitas dos trifólios e hastes realizadas durante a noite. Quanto às exceções mencionadas, demonstram um pequeno efeito do glifosato na massa de matéria seca de trifólios e de hastes que não foi mais observado com o passar do tempo, conforme será discutido no estudo II.

Os teores e conteúdos de Mn nos trifólios tratados e hastes foram alterados pelos fatores soja, fonte, tempo ou pela interação destes. Num contexto geral houve aumento de Mn nessas partes quando uma fonte de Mn foi utilizada. Já se esperava obter esse resultado nos trifólios tratados devido o Mn presente neles ser considerado de baixa mobilidade, porém havia dúvida sobre o Mn das hastes, pois há trabalhos que mostram que o Mn acumulado em lâminas foliares não se move ou tem baixa mobilidade no floema, embora possa sair em pequena quantidade dos pecíolos destas para outras partes (HANNAM; GRAHAM; RIGGS, 1985; LONERAGAM et al., 1988). Como comentado na seção material e métodos deste estudo, a aplicação de Mn foi realizada apenas na lâmina foliar, assim o aumento nos teores e conteúdo de Mn das hastes foi provavelmente causado pelo Mn aplicado na lâmina (trifólios tratados), já que a quantidade foi grande em alguns tratamentos, por exemplo, 166 mg kg⁻¹ quando se usou EDTA com glifosato (Figura 15).

Nota-se também que o teor de Mn nos trifólios tratados da soja do “solo -Mn” sem glifosato e com EDTA (Figura 13), mesmo sendo um dos menores no tempo de 4 h, é cerca de seis vezes maior que o teor nos trifólios da soja controle (476 mg kg⁻¹ em relação a 79 mg kg⁻¹). Nos demais tempos diminui e não difere do controle, indicando que o Mn é absorvido logo nas primeiras 4 h após a aplicação, podendo-se deduzir que onde ocorre a diminuição dos teores ao

longo do tempo é devido ao transporte do Mn absorvido para outras partes da planta e isto é importante porque esse mecanismo pode ser um dos drenos para os trifólios novos o que conferiria um nível suficiente de Mn e evitaria, pelo menos temporariamente, o surgimento de deficiência de Mn.

Outro ponto a ser destacado é que no tempo de 4 h, na soja com glifosato, o teor de Mn dos trifólios tratados com EDTA é maior do que o da soja sem glifosato (Figura 13). Isto permite fazer os seguintes questionamentos: 1) a soja que recebe o tratamento EDTA sem glifosato absorve menos (Figura 21) e, conseqüentemente, apresenta menor teor de Mn na haste do que a tratada com EDTA e glifosato (Figura 15)?; 2) o Mn que é absorvido pela soja sem glifosato é menos redistribuído para outras partes, nesse caso a haste, e o uso de glifosato além de permitir maior absorção possibilita também maior redistribuição? O que os resultados de teor de Mn na haste após 4 h da aplicação ajudam a afirmar, é que o EDTA, em relação as outras fontes, possibilitou maior teor e que na soja com EDTA e glifosato esse teor é superior ao da soja sem glifosato. Assim, qual fonte escolher em uma situação de necessidade de aplicação de Mn sem glifosato na soja (devido este ter sido aplicado anteriormente e “causado deficiência”, conforme é relatado em alguns trabalhos (FRANZEN, O'BARR, ZOLLINGER, 2003; EKER et al., 2006) em um dia que há previsão de chuva pouco depois da aplicação (± 4 h)? Provavelmente a fonte indicada seria o EDTA, pois é a que permite aumento do teor de Mn na haste e possibilitaria suprimimento das folhas novas.

Quanto ao efeito de cada fator na absorção de Mn, verifica-se que na soja do “solo +Mn” o fator tempo não influenciou, mas na soja do “solo -Mn” houve interação soja $\times$ fonte $\times$ tempo. Sem fazer comparações de absorção entre os dois solos, mas procurando compreender o que aconteceu, duas explicações podem ser dadas. Primeira, o fato da absorção da soja do “solo +Mn” ter sido influenciada apenas pela interação soja $\times$ fonte (Figura 20) sugere que o Mn foi completamente absorvido nas primeiras 4 h, como já comentado, ou que houve absorção nos tempos de 24, 48 e 72 h que não foi quantificada devido ter ocorrido transporte de Mn para outras partes da planta em proporção similar a absorção. Um indicativo de transporte é o aumento do teor de Mn nas hastes da soja tratada com Mn em alguns tratamentos (Figura 14). Isto corrobora outros trabalhos que mostram que, por exemplo, embora a fonte EDTA tenha apresentado absorção inferior a fontes como o cloreto, ela permite maior movimento do Mn dentro da planta, podendo ser assim mais redistribuído e fornecido para partes que não o receberam através da aplicação. (FERRANDON, CHAMEL, 1988; BERNARDS et al., 2005). Assim, essa fonte torna-se importante quando há necessidade de correção de deficiência de Mn na planta horas depois da aplicação. Segunda, no “solo -Mn” a absorção da soja sem glifosato e

com cloreto foi contínua e por isso aumentou com o tempo. Já a absorção na soja dos outros tratamentos não diferiu ou diminuiu com o tempo (Figura 21) porque 4 h após a aplicação dos tratamentos, principalmente EDTA com glifosato, os teores de Mn nas hastes aumentaram e isto indica que nesse tempo o Mn aplicado nos trifólios teve uma parte que foi transportada para as hastes e destas para outras partes da planta a partir de 24 h após a aplicação.

Desta forma, a falta de efeito do tempo na absorção de Mn na soja do solo com alta disponibilidade de Mn pode estar relacionada a maior disponibilidade de Mn neste solo fazendo com que apenas uma pequena parte do Mn absorvido seja transportado para fora dos trifólios tratados, enquanto na soja do solo com baixa disponibilidade a redistribuição é maior e mais rápida e por isso ocorre diminuição no teor de Mn ao longo do tempo.

Esse resultado indica que, embora não seja parte dos objetivos deste trabalho, a determinação dos períodos em que se faz as avaliações de absorção é importante no planejamento de estudos de absorção, principalmente em situações como a desse trabalho e em estudos que envolvem apenas um tempo de avaliação da absorção. Por exemplo, no “solo +Mn” se apenas uma avaliação fosse feita no tempo 72 h a absorção não diferiria do tempo 4 h e se obteria um valor correto, porém no “solo -Mn” a absorção no tempo de 72 h seria inferior ao de 4 h para a maioria dos tratamentos.

5.2. Estudo II: Distribuição de Manganês

Nesse estudo o que mais se pretendia saber era se o Mn que foi aplicado nos trifólios tratados com ou sem glifosato seria distribuído para outras partes da parte aérea da planta. Agora, o que pode ser observado é que o Mn foi acumulado em maior proporção nos trifólios tratados, independente se foi aplicado sem ou com o glifosato; que houve distribuição para os trifólios não tratados da soja do “solo -Mn”; que o Mn do EDTA sem ou com glifosato não foi distribuído na planta de maneira diferente das outras fontes e, que as fontes de Mn não proporcionaram grãos com maior conteúdo de Mn, mas o glifosato reduziu o conteúdo de Mn nos grãos da soja do “solo -Mn”. Além disso, alguns componentes de produção foram alterados pelos fatores soja e fonte.

As pequenas diferenças de massa de matéria seca observadas nos trifólios tratados e hastes do estudo I ocorreram apenas em função do tempo e o aumento de massa de haste da soja do “solo +Mn” tratada com glifosato em relação a não tratada não foi mantida e no fim do ciclo da soja as massas não diferiram. Assim como a haste, as outras partes também não diferiram porque as plantas não apresentaram deficiência de Mn ao longo do ciclo (OHKI et al., 1979,

ZOBIOLE, 2010) e com isso parâmetros como conteúdo de clorofila e fotossíntese líquida não foram afetados (SHENKER; PLESSNER; TEL-OR, 2004).

Os teores de Mn encontrados na soja dos tratamentos controle foram de 163 e 116 mg kg⁻¹ nos trifólios tratados e de 50 e 34 na parte aérea da planta de soja dos “solo +Mn” e “-Mn”, respectivamente. Muitos estudos não relatam resposta de rendimento à aplicação de Mn quando o teor nas folhas for maior do que 20 a 25 mg kg⁻¹ (MASCAGNI; COX, 1985). Dessa forma, sugere-se que os teores relatados no presente estudo são adequados. No entanto, esses teores se referem a tecidos foliares da planta no final de ciclo e não em estágio de pleno florescimento como é recomendado (MALAVOLTA, 2006). O estágio em que se encontra a planta, a posição da folha e se o pecíolo foliar foi incluso ou não na análise são importantes porque os teores podem ser diferentes (MAEDA; LIMA FILHO; FABRÍCIO, 2004).

Loecker et al., (2010) relataram que teores dos trifólios recentemente expandidos de soja nos estádios R1 e R3 e cultivada em solo com teores de Mn (DTPA) < 4,0 mg kg⁻¹, foram maiores que dos trifólios no estágio R6. Eles atribuíram essa diminuição a incapacidade do solo em suprir Mn durante todo o período reprodutivo visto que trifólios de outras plantas cultivadas em solo com alta disponibilidade de Mn aumentaram o teor no estágio R6. Entretanto, como as plantas cultivadas no solo com alta disponibilidade de Mn cresceram mais pode ter ocorrido efeito de diluição.

Heenan e Campbell (1980, 1983) relatam que as folhas acumulam maiores teores de Mn com a idade da planta, resultando em um gradiente de concentração decrescente entre folhas velhas e jovens. No presente estudo pode-se considerar que isso ocorreu também, pois no estudo I o teor médio de Mn dos trifólios tratados dos tratamentos controle foi de 90 e 77 mg kg⁻¹ na soja do “solo +Mn” e “-Mn”, respectivamente. E, como mencionado sobre a soja do estudo II, esses teores aumentaram para 163 e 116 mg kg⁻¹ (Figuras 25 e 26), respectivamente.

Em níveis de suprimento adequado e alto de Mn, os teores são geralmente maiores em raízes do que em folhas, maiores em folhas maduras do que em folhas jovens, e maiores em folhas do que em hastes, flores e sementes. Em plantas crescendo com deficiência de Mn, as concentrações diminuem rapidamente em raízes, em hastes e folhas jovens, mas permanecem altas em folhas velhas. Estas mudanças resultam aparentemente do deslocamento de Mn da raiz e células da haste, do seu transporte para a parte aérea via seiva do xilema ou floema, e da sua fraca remobilização no floema de folhas (LONERAGAN, 1988).

Quanto aos teores de Mn nos trifólios tratados das plantas que receberam Mn, verifica-se que todas as fontes causaram aumento do teor, mas ao contrário do estudo I, os teores de Mn nas hastes não foram afetados e isso pode indicar que elas podem ser apenas uma “rota de

redistribuição” do Mn e desempenham importante papel neste contexto, já que houve redistribuição para os trifólios não tratados formados após a aplicação da fonte sulfato sem glifosato na soja do “solo -Mn” e que, antes disso, esse Mn provavelmente passou pela haste também. Nessa situação o uso de radioisótopo confirmaria se o Mn em maior concentração nos trifólios não tratados é proveniente do fertilizante foliar aplicado (RIESEN, FELLER, 2005), embora essa maior concentração já seja uma prova que houve efeito do sulfato aplicado sem glifosato. Esse efeito não provocou diferenças no conteúdo de Mn dos trifólios não tratados e nem contribuiu para produção de grãos com conteúdo de Mn superior aos outros tratamentos.

As diferenças de conteúdo de Mn nos grãos ocorreu na soja do “solo +Mn”, na qual a fonte cloreto com glifosato reduziu o conteúdo em relação ao cloreto sem glifosato e ao citrato com glifosato. Isso mostra que a fonte cloreto, embora apresente alta absorção, deve ficar em grande proporção retida na cutícula foliar (FERRANDON; CHAMEL, 1988). Já os grãos da soja do “solo -Mn” teve o conteúdo de Mn ligeiramente reduzido pelo o uso de glifosato.

Na parte aérea da planta, tanto na soja do “solo +Mn” como na soja do “solo -Mn”, a diferença de conteúdo de Mn entre os tratamentos com Mn e o controle ocorreram devido o elevado conteúdo nos trifólios tratados. Isso só não foi verificado entre o tratamento carbonato e controle porque essa fonte causou baixo acúmulo de Mn nos trifólios tratados.

Essas diferenças de conteúdo de Mn na parte aérea, causadas principalmente pela quantidade acumulada nos trifólios tratados, podem ajudar a entender porque poucas diferenças de efeito do glifosato e fontes de Mn foram observadas na avaliação dos componentes de produção sem afetar a produtividade de grãos.

5.3. Estudo III: Componentes de Produção e Rendimento de Grãos em Campo

Como a produtividade de soja não variou em função do uso de glifosato e fontes de Mn, acredita-se que os teores de Mn dos solos estudados podem ter disponibilizado quantidades suficientes desse micronutriente durante o ciclo da soja e isto pode estar relacionado a um potencial em aproveitar mais Mn do solo (GRAHAM et al., 1995) ou ao fato dos fertilizantes foliares terem sido aplicados em dose única em um ciclo que a soja não apresentou deficiência nem mesmo após a aplicação do glifosato. Moreira et al. (2006) não observaram variação na produtividade de soja convencional em função da aplicação de Mn via solo em doses de até 48 kg ha⁻¹ e atribuíram esse resultado à complexação de grande parte do Mn pela matéria orgânica do solo (MOS) já que os cultivos tinham sido realizados em solos em sistema de semeadura direta (SSD). Enderson et al. (2015) fizeram duas aplicações foliares de Mn (estádios V5-V6 e R2-R3)

usando Mn-EDTA na dose de 185 g ha⁻¹ por aplicação e também não verificaram aumento de rendimento de grãos de soja tolerante ao glifosato quando cultivada em 40 locais com solos onde não se esperava respostas a adubação com Mn. Loecker et al. (2010) relataram aumento de produtividade de soja transgênica quando recebeu Mn via foliar mesmo sendo cultivada em solos onde havia alta disponibilidade de Mn e que, portanto, não se esperava resposta à adubação com esse micronutriente. Gordon (2007) também relata resposta de soja à adubação com Mn em ambiente de alto rendimento. Além disso, Loecker et al. (2010) também mostram que há situações em que o solo apresenta teor de Mn considerado baixo e a soja não responde a adubação, seja ela via foliar ou via solo, e para explicar isto afirmam que outros fatores limitantes do rendimento, como seca, podem ser os responsáveis. Os resultados encontrados por esse autores se assemelham aos deste estudo na soja cultivada em solo com baixo Mn, mas não é possível afirmar se a cultivar M6410 IPRO[®] é tolerante à deficiência de Mn.

Graham, Nickell e Hoeft (1995) afirmaram que a tolerância à deficiência de Mn é baseada em dois genes segregantes independentes. Embora os mecanismos de funcionamento desses genes não sejam conhecidos, eles propuseram que eles influenciam todos ou um dos seguintes: metabolismo de Mn, taxa de absorção de Mn ou liberação de exsudatos radiculares que auxiliam na mobilização de Mn insolúvel do solo. Com base no trabalho desses autores, Loecker et al., (2010) afirmam que as cultivares de soja tolerante ao glifosato usadas nos seus experimentos não apresentaram uma predisposição genética para a deficiência ou maior exigência de Mn quando comparadas às cultivares de soja convencional e sugerem que as diferentes respostas à Mn entre elas são resultados de variação genética aleatória.

Correia e Durigan (2009), avaliando doses de Mn e de herbicidas, entre eles o glifosato, relataram que a aplicação de manganês não influenciou a produtividade e os teores de Mn das plantas tratadas e não tratadas com glifosato. Além disso, o glifosato não prejudicou a absorção ou o metabolismo do manganês na planta e o crescimento e desenvolvimento das plantas tratadas foram similares aos das não tratadas com herbicidas.

6. CONCLUSÕES

A quantidade absorvida de Mn é dependente da fonte utilizada e a fonte cloreto é a que proporciona maior absorção de Mn, porém fontes das quais o Mn foi pouco absorvido, como o EDTA, apresentam maior eficiência em aumentar o conteúdo de Mn das hastes logo após a aplicação e isto pode reforçar a hipótese de maior mobilidade do Mn destas fontes e, possivelmente, de maior potencial em suprir plantas em fase de deficiência de Mn.

O Mn aplicado nos trifólios pode ser redistribuído desta parte para outras da planta, embora aparentemente em pequenas quantidades, e até o final do ciclo da soja estará em maior proporção nos trifólios tratados.

A soja tratada com Mn não apresentou grãos com maior acúmulo de Mn, mas a soja sem glifosato e cultivada no “solo -Mn” apresentou conteúdo de Mn maior que a soja com glifosato.

Em termos de produtividade de grãos, não é necessária a adubação foliar com Mn em aplicação única na soja Intacta RR2 PRO[®] no estágio V4 recebendo ou não aplicação de glifosato e cultivada em solo com alto teor de Mn.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, G. J. M.; ROSOLEM, C. A. Absorção de manganês em soja RR sob efeito do glifosate. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 35, n. 3, p. 961–968, 2011.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; PROCOPIO, S. O.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. Densidade de plantas na cultura da soja. **Embrapa**, p. 12–14, 2015.
- BENBROOK, C. M. Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. **Environmental Sciences Europe**, v. 28, n. 1, p. 3, 2016. Disponível em: <<http://www.enveurope.com/content/28/1/3>>.
- BERNARDS, M. L.; THELEN, K. D.; PENNER, D.; GLYCINE, L. Glyphosate efficacy is antagonized by manganese 1. **Weed Technology**, v. 19, n. 1999, p. 27–34, 2005.
- BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T. Fontes de manganês aplicadas via foliar em laranjeira e milho. Relatório Final de Pesquisa, Piracicaba, 1997. 31 p.
- BOUYOUCOS, G.J. The hydrometer method improved for the mechanical analysis of soil. **Soil Science**, v. 23, p.343-353, 1927.
- BROADLEY, M.; BROWN, P.; CAKMAK, I.; RENGEL, Z.; ZHAO, F. Function of nutrients: micronutrients. In: MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 2012. chap. 7, p. 191-248.
- 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. 3, p. 114–119, 2009.
- CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. Soil and plant analyses for lime and fertilizer recommendations in Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 29, p. 1691-1706, 1998.
- CÉLERES. Os benefícios econômicos da biotecnologia agrícola no Brasil: 1996/97 – 2013/14. Disponível em: http://www.celeres.com.br/docs/biotecnologia/PressRelease2014_Economico.pdf. Acesso em: 16 dezembro 2016.
- CEPAGRI - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. Clima dos Municípios Paulistas. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_308.html> Acesso em: 21 dez. 2016.
- CLARKE, F.W.; WASHINGTON, H. S. **The composition of the Earth's crust**. United States Geological Survey, Professional Paper 127: 117. 1924.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, nono levantamento, junho 2016/** CONAB, Brasília: Conab, 2016. 174 p.
- 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.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 328-352.

EKER, S.; OZTURK, L.; YAZICI, A.; ERENOGLU, B.; ROMHELD, V.; CAKMAK, I. Foliar-applied glyphosate substantially reduced uptake and transport of iron and manganese in sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 26, p. 10019–10025, 2006.

EL-BAZ, F. K.; MAIER, P.; WISSEMEIER, A. H.; HORST, W. J. Uptake and distribution of manganese applied to leaves of *Vicia faba* (cv. Herzfrey) and *Zea mays* (cv. Regent) plants. **Zeitung Pflanzenernährung Boden**, Braunschweig, v. 153, p. 279-282, 1990.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Deficiências e toxicidades de nutrientes em plantas de soja / Gedi Jorge Sfredo, Clóvis Manuel Borkert. – Londrina: Embrapa Soja, 2004. 42 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja: Região Central do Brasil 2014**. Londrina: Embrapa Soja (Sistemas de Produção / Embrapa Soja, ISSN 2176-2902; n.16), 2013. p. 265.

ENDERSON, J. T.; MALLARINO, A. P.; HAQ, M. U. Soybean yield response to foliar-applied micronutrients and relationships among soil and tissue tests. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 6, p. 2143–2161, 2015.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 2006. 402 p.

FAGERIA, V.D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.24, p.1269-1290, 2001.

FERRANDON, M.; CHAMEL, A. R. Cuticular retention, foliar absorption and translocation of Fe, Mn and Zn supplied in organic and inorganic form. **Journal of Plant Nutrition**, v. 11, n. 3, p. 247–263, 1988.

FRANZEN, D. W.; O'BARR, J. H.; ZOLLINGER, R. K. Interaction of a Foliar Application of Iron HEDTA and Three Postemergence Broadleaf Herbicides with Soybeans Stressed from Chlorosis. **Journal of Plant Nutrition**, v. 26, n. 12, p. 2365–2374, 2003.

GAUDÊNCIO, C.; GAZZIERO, L.P.; JASTER, F.; GARCIA, A.; WOBETO, C. População de plantas de soja no sistema de semeadura direta para o centro sul do Estado do Paraná. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1990. 4p. (EMBRAPA-CNPSO. **Comunicado Técnico**, 47).

GILKES, R. J.; MCKENZIE, R. M. Geochemistry and mineralogy of manganese in soils. In: GRAHAM, R.D.; HANNAM, R.J.; UREN, N.C. (Ed). **Manganese in soils and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 23-35, 1988.

GORDON, W.B. Manganese nutrition of glyphosate-resistant and conventional soybeans.

Better Crops 91:12–14, 2007.

GRAHAM, M. J.; NICKELL, C. D.; HOEFT, R. G. Inheritance of Tolerance to Manganese Deficiency in Soybean. **Crop Science**, v. 35, n. 4, p. 1007, 1995. Disponível em:

HANNAM, R. J.; GRAHAM, D. R.; RIGGS, J. L. Redistribution of Manganese in Maturing *Lupinus angustifolius* cv. Illyarrie in Relation to Levels of Previous Accumulation. **Annals of Botany**, v. 56, n. 6, p. 821–834, 1985.

HEENAN, D. P.; CAMPBELL, L. C. Transport and Distribution of Manganese in two Cultivars of Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 31, p. 943–949, 1980.

HEENAN, D. P.; CAMPBELL, L. C. Manganese and iron interactions on their uptake and distribution in soybean (*Glycine max*(L.)Merr.). **Plant and Soil**, v. 70, p. 317–326, 1983.

HUBER, D. M. What about glyphosate-induced manganese deficiency? **Fluid Journal**, p. 20–22, 2007.

HUGHES, N. P.; WILLIAMS, R. J. P. An introduction to manganese biological chemistry. In: GRAHAM, R.D.; HANNAM, R.J.; UREN, N.C. (Ed). **Manganese in soils and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 7-19, 1988.

IMnI. International Manganese Institute. Disponível em: http://www.manganese.org/about_mn/history. Acesso em: 16 janeiro 2014.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. **Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade**. Informações agronômicas n° 118 – International Plant Nutrition Institute. p.1-24, 2007.

KIRKBY, E. Introduction, definition and classification of nutrients. In: MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 2012. chap. 1, p. 3-5.

LAVRES, J.; MORAES, M. F.; CABRAL, C. F.; MALAVOLTA, E. Influência genotípica na absorção e na toxidez de manganês em soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 173–181, 2008.

LINDSAY, W.L.; NORVELL, W.A. Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese, and Copper. **Soil Science Society of America Journal**, v. 42, p. 421-428, 1978.

LINDSAY, W. L. **Chemical equilibria in soils**. New York, John Wiley & Sons, 1979. 449 p.

LOECKER, J. L.; NELSON, N. O.; GORDON, W. B.; MADDUX, L. D.; JANSSEN, K. A.; SCHAPAUGH, W. T. Manganese response in conventional and glyphosate resistant soybean. **Agronomy Journal**, v. 102, n. 2, p. 606–611, 2010.

LONERAGAN, J. L. Distribution and movement of manganese in plants. In: GRAHAM, R.D.; HANNAM, R.J.; UREN, N.C. (Ed). **Manganese in soils and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 113-121, 1988.

LOPES, A. S. Micronutrientes: filosofias de aplicação e eficiência agronômica. **Boletim Técnico**. São Paulo, n.8, 58p., 1999.

MACKEAN, D. G. **Experimental work in biology: 3 soil**. London, John Murray, 1971. 30 p. Disponível em: <http://www.biology-resources.com/biology-experiments2.html>. Acesso em: 02 setembro 2016.

MAEDA, S.; LIMA FILHO, O. F.; FABRÍCIO, A. C. **Análise de amostras de folhas de soja: com ou sem pecíolo?** Dourados, Embrapa Agropecuária oeste. 5p (Comunicado Técnico 96), 2004.

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

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

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. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 25, n. 2, p. 264-273, 2001.

MASCAGNI, H.; COX, F. Evaluation of Inorganic and Organic Manganese Fertilizer Sources1. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49, n. 2, p. 458–461, 1985.

MASCARENHAS, H.A.A.; MIRANDA, M.A.C.; TANAKA, R.T.; FALIVENE, S.M.P.; DECHEN, A.R. Comportamento de cultivares precoces de soja em solução nutritiva contendo diferentes níveis de manganês. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.25, p.609-615, 1990.

MCBRIDE, M. Electron spin resonance study of copper ion complexation by glyphosate and related ligands. **Soil Science Society of American Journal**, n.55:979–985, 1991.

MCHARGUE, J. S. The occurrence and significance of manganese in the seed coat of various seeds. **Journal of the American Chemical Society**, v. 36 n. 12, p. 2532-2536, 1914.

MCHARGUE, J. S. The role of manganese in plants. **Journal of the American Chemical Society**, v. 44, n.7, p. 1592–1598, 1922.

MIELEWCZIK, M.; FRIEDLI, M.; KIRCHGESSNER, N.; WALTER, A. Diel leaf growth of soybean: a novel method to analyze two-dimensional leaf expansion in high temporal resolution based on a marker tracking approach (Martrack Leaf). **Plant Methods**, v. 9, n. 1, p. 30, 2013.

MILLS, H. A.; JONES Jr., J. B. Utilization of plants tissue analysis. In: MILLS, H. A.; JONES Jr., J. B. **Plant analysis handbook II**. Micromacro publishing, Athens, Georgia, p. 187, 1996.

MONREAL, C. M.; DEROSA, M.; MALLUBHOTLA, S. C.; BINDRABAN, P. S.; DIMKPA, C. Nanotechnologies for increasing the crop use efficiency of fertilizer-micronutrients. **Biology and Fertility of Soils**, v. 52, n. 3, p. 423–437, 2016.

MOREIRA, S. G.; PROCHNOW, L. I.; DE CASTRO KIEHL, J.; NETO, L. M.; PAULETTI, V. Formas químicas, disponibilidade de manganês e produtividade de soja em solos sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 30, n. 1, p. 121–136, 2006.

MURAOKA, T. Uso de técnicas isotópicas em fertilidade do solo. In: OLIVEIRA, A.J.; GARRIDO, W.E.; ARAÚJO, J.D.; LOURENÇO, S (Ed.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: EMBRAPA, SEA, 1991. cap. 6, 255-273p.

NDDC. National Nuclear Data Center. **Chart of Nuclides**. Disponível em: <http://www.nndc.bnl.gov/chart/reCenter.jsp?z=25&n=23>. Acesso em: 16 janeiro 2014.

OHKI, K.; BOSWELL, F. C.; PARKER, M. B.; SHUMAN, L. M.; WILSON, D. O. Critical manganese deficiency level of soybean related to leaf position. **Agronomy Journal**, v. 71, n. 2, p. 233, 1979.

OHKI, K.; BOSWELL, F.C.; PARKER, M.B.; SHUMAN, L.M.; WILSON, D.O. Foliar manganese application to soybeans. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 18, n. 3, P.243-253, 1987.

OLIVEIRA Jr., J. A. **Efeitos do manganês sobre a soja em solução nutritiva e em solo do cerrado do triângulo mineiro**. 1996. 69 p. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

PECK, T.R. Plant analysis for production agriculture. In: **Soil plant analysis workshop**, 7, Bridgetown, 1979. Proceedings. Bridgetown, 1979. p.1-45.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. a. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, p. 259–263, 2006.

PINTO, A. S. **Adubação com manganês em soja - efeitos no solo e na planta**. 2012. 58 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração: Ciência do Solo). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2012.

QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. Van; MALAVOLTA, E. Alternative use of SMP buffer solution to determine lime requirement of soils. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 16, p. 245-260, 1985.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. rev. e atual. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

RITCHIE, S.; HANWAY, J. J.; THOMPSON, H. E. **How a soybean plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, 1982. 20 p. (Special report, 53).

RIESEN, O.; FELLER, U. Redistribution of nickel, cobalt, manganese, zinc, and cadmium via the phloem in young and maturing wheat. **Journal of Plant Nutrition**, n.28, p. 421–430, 2005.

ROSOLEM, C. A.; BESSA, M. A.; AMARAL, P. G.; PEREIRA, H. F. M. Manganês no solo, sua avaliação e toxidez de manganês em soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p. 277-285, 1992.

ROSOLEM, C. A.; QUAGGIO, J. A.; SILVA, N. M. Algodão, amendoim e soja. In M. E. FERREIRA, CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B.; ABREU, C. A. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. CNPq/FAPESP/Potafós, Jaboticabal. 2001. p. 319 - 354.

SANTOS, E.F; SANTINI, J.M.F; PAIXAO, A.P.; FURLANI JÚNIOR, E.; LAVRES, J.; CAMPOS, M.; REIS, A.R. Physiological highlights of manganese toxicity symptoms in soybean plants: Mn toxicity responses. **Plant Physiol. Biochem**, 113, p. 6-19, 2017

SÃO JOÃO, A. C. G. **Eficiência agrônômica de fontes de Mn, disponibilidade para a soja e distribuição nas frações do solo**. 2006. 68 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração: Ciência do Solo). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2006.

SHENKER, M.; PLESSNER, O.E.; TEL-OR, E. Manganese nutrition effects on tomato growth, chlorophyll concentration, and superoxide dismutase activity. **Journal of Plant Physiology**, v. 161, n. 2, p. 197-202, 2004.

SHUMAN, L.M.; ANDERSON, O.E. Evaluation of six extractants for their ability to predict manganese concentration in wheat and soybean. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.38, p.788-790, 1974.

SNOWDEN, M. C.; COPE, K. R.; BUGBEE, B. Sensitivity of seven diverse species to blue and green light: Interactions with photon flux. **PLoS ONE**, v. 11, n. 10, p. 1–32, 2016.

ST CLAIR, S.B.; LYNCH, J.P. Photosynthetic and antioxidant enzyme responses of sugar maple and red maple seedlings to excess manganese in contrasting light environments. **Functional Plant Biology**, 31, 1005-1014, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; BULISANI, E.A. Deficiência de manganês em soja induzida por excesso de calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, p.247-250, 1992.

THOMAS, J. F.; RAPER, C. D. Internode and petiole elongation of soybean in response to photoperiod and end-of-day light quality. **Botanical gazette (Chicago, Ill.)**, v. 146, n. 4, p. 495–500, 1985. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11538843>>.

TORRES, E.; GARCIA, A. Uniformidade de distribuição de plantas em lavouras de soja. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1991. 9p. (EMBRAPA-CNPSO. **Comunicado Técnico**, 48)

USDA. United States of Department Agriculture. Oilseeds: World Markets and Trade. Circular Series, FOP 01-14. Disponível em: <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdHome.aspx>. Acesso em: 16 janeiro 2014.

VALADARES, J. M. A. S; CAMARGO, O. A. Manganês em solos do Estado de São Paulo. R. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 7, n.3 p. 123-130, 1983.

VU, D. T.; HUANG, L.; NGUYEN, A. V; DU, Y.; XU, Z.; HAMPTON, M. A.; LI, P.; RUDOLPH, V. Quantitative methods for estimating foliar uptake of zinc from suspension-based Zn chemicals. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 176, n. 5, p. 764–775, 2013.

WALTER, A.; SCHURR, U. Dynamics of leaf and root growth: Endogenous control versus environmental impact. **Annals of Botany**, v. 95, n. 6, p. 891–900, 2005.

ZOBIOLE, L.H.S.; OLIVEIRA JR, R.S.; HUBER, D.M.; CONSTANTIN, J.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A.; OLIVEIRA JR., A. Glifosate reduces shoot concentrations of mineral nutrients in glifosate-resistant soybeans. **Plant Soil**, 328:57-69, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A. Imagens do primeiro trifólio de plantas de soja cultivadas no “Solo +Mn” $\pm$ 60 h após a aplicação dos tratamentos **sem glifosato**: a) Controle, b) Mn-Cloreto, c) Mn-Sulfato, d) Mn-Carbonato, e) Mn-EDTA e f) Mn-Citrato.

APÊNDICE B. Imagens do primeiro trifólio de plantas de soja cultivadas no “Solo +Mn” $\pm$ 60 h após a aplicação dos tratamentos **com glifosato**: g) Glifosato, h) Glifosato+Mn-Cloreto, i) Glifosato+Mn-Sulfato, j) Glifosato+Mn-Carbonato, k) Glifosato+Mn-EDTA e l) Glifosato+Mn-Citrato.

ANEXOS

ANEXO A. Ilustração dos benefícios da soja Intacta RR2 PRO®: proteção contra as principais lagartas da cultura da soja, potencial aumento de produtividade e tolerância ao glifosato

FONTE: extraído de http://www.monsoy.com.br/variedades_monsoy/m6410-ipro/

ANEXO B. Características fenotípicas da cultivar M 6410 IPRO e regiões de adaptação

Grupo de maturidade	6.4
Cor da flor	Roxa
Cor da pubescência	Cinza
Acamamento	R
Hábito de crescimento	Indeterminado
Cor do hilo	Preto-imperfeito
Altura média da planta	86 cm
Regiões de adaptação	PR, SP, MS

FONTE: extraído de http://www.monsoy.com.br/variedades_monsoy/m6410-ipro/

ANEXO C. Recomendação de época de semeadura e população de plantas da cultivar M 6410 IPRO

ÉPOCA DE SEMEADURA E POPULAÇÃO DE PLANTAS (em plantas por metro com espaçamento de 50 cm entre linhas)														
Micro	Altitude ou Região	Ciclo Médio (dias)	Set		Out				Nov				Dez	
			III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II
101		135						12	12	12	13	13	14	14
102		142						9	10	10	10	12	12	
201	< 600 m	123	13	13	11									
	> 600 m		13	13	11									
202		125			14	14	13	13						
203	< 600 m	131		13	13	13	13	13						
	> 600 m			11	11	11	11							
204		126			14	14	13	13	12	12				
205		126			14	14	14	14	13	13				
206		115			13	13	12	12						
301	GO/MG	103						18	18	18				
302		110						17	17	17				
303		108							16	16	16	16		

Legenda: Alto (≥600 m); Baixo (<600 m)

Recomendada

Melhores resultados podem ser obtidos ajustando a população de plantas do tipo de solo, fertilidade, altitude, histórico de ocorrência de pragas ou doenças específicas do talhão a ser plantado.

FONTE: extraído de http://www.monsoy.com.br/variedades_monsoy/m6410-ipro/