

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

DENIS FERNANDO BIFFE

EFEITO DA APLICAÇÃO DE HERBICIDAS EM PRÉ-EMERGÊNCIA E DE  
GLYPHOSATE EM PÓS-EMERGÊNCIA, SOBRE A CULTURA DA SOJA  
EM SOLO COMPACTADO E NÃO COMPACTADO

Maringá  
2012.

DENIS FERNANDO BIFFE

EFEITO DA APLICAÇÃO DE HERBICIDAS EM PRÉ-EMERGÊNCIA E DE  
GLYPHOSATE EM PÓS-EMERGÊNCIA, SOBRE A CULTURA DA SOJA  
EM SOLO COMPACTADO E NÃO COMPACTADO

Tese apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Agronomia do  
Departamento de Agronomia, Centro de  
Ciências Agrárias da Universidade  
Estadual de Maringá, como requisito  
parcial para obtenção do título de Doutor.

Área de concentração em Proteção  
de Plantas,

Orientador: Jamil Constantin.

Co-orientador: Rubem Silvério de  
Oliveira Jr.

Maringá

2012.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

B591e Biffe, Denis Fernando  
Efeito da aplicação de herbicidas em pré-emergência e de glyphosate em pós-emergência, sobre a cultura da soja (V-MAX-RR) em solo compactado e não compactado / Denis Fernando Biffe. -- Maringá, 2012.  
xi, 88 f. : il. (algumas color.), figs., tabs.  
Orientador: Prof. Dr. Jamil Constantin.  
Coorientador: Prof. Dr. Rubem Silvério de Oliveira Jr.  
Tese doutorado (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2012.  
1. Densidade do solo. 2. Herbicida - Fotossíntese. 3. Soja modificada. 4. Soja Resistente ao Glifosato - Efeito do glifosato (isolado ou mistura). 5. Glifosato - Soja - Tolerância. 6. Glifosato - Seletividade - Soja. 7. Biomassa. I. Constantin, Jamil, orient. II. Oliveira Jr., Rubem Silvério, coorient. III. Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDD 21.ed. 632.954

AMGA-001772

# FOLHA DE APROVAÇÃO

DENIS FERNANDO BIFFE

## EFEITO DA APLICAÇÃO DE HERBICIDAS EM PRÉ-EMERGÊNCIA E DE GLYPHOSATE EM PÓS-EMERGÊNCIA, SOBRE A CULTURA DA SOJA EM SOLO COMPACTADO E NÃO COMPACTADO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Agronomia pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

### COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Jamil Constantin

Universidade Estadual de Maringá (Presidente)

Prof. Dr. Antonio Carlos Andrade Gonçalves

Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Cássio Antonio Tormena

Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Cléber Daniel de Goes Maciel

Universidade Estadual de Maringá - Câmpus Umuarama

Prof. Dr. Edivaldo Domingues Velini

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Câmpus Botucatu

Aprovada em: 09 de fevereiro de 2012.

Local de defesa: Anfiteatro do Bloco I-45, campus da Universidade Estadual de Maringá.

Aos meus Pais, Olinda Luiza Nogueira Biffe e Dorival Valentim Biffe

DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

A DEUS, por estar presente em todos os momentos de minha vida e sem ele não teria vencido mais esta etapa.

Ao amigo e Professor Dr. Jamil Constantin pelo indispensável empenho e orientação na elaboração deste trabalho. Agradeço, pelos conselhos, profissionalismo, competência e exemplo de pessoa, com o qual, além de conhecimentos técnicos, aprendi também lições que guardarei para sempre.

Ao amigo e Professor Dr. Rubem Silvério de Oliveira Jr, pela orientação imprescindível e pelo raríssimo dom de se dispor para ajudar sempre. Exemplo de simplicidade, respeito, amor, empenho, competência e dedicação ao ensino e à pesquisa.

À Universidade Estadual de Maringá, exemplo de instituição pública de ensino pesquisa e extensão em todo o cenário nacional.

Aos professores Dr. Cassio Antonio Tormena e Dr. Antônio Carlos Andrade Gonçalves pela co-orientação e no apoio a elaboração deste trabalho.

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela ajuda financeira por meio da bolsa de estudos disponibilizada.

Aos amigos membros do Núcleo de Estudos Avançados em Ciência das Plantas Daninhas da Universidade Estadual de Maringá (NAPD/UEM): Alessandra Constantin Francischini, Alexandre Gemelli, Antonio Mendes de Oliveira Neto, Diego Gonçalves Alonso, Eder Blainski, Fabiano Aparecido Rios, Felipe Guilherme Ferreira Fornazza, Gizelly Santos, Guilherme Braga Pereira Braz, Hudson Kagueyama Takano, Jethro Barros Osipe, João Guilherme Zanetti de Arantes, Luiz Henrique Morais Franchini, Hugo Almeida Dan, Michel Alex Raimondi, Naiara Guerra, Pedro Etges Martini, Rodrigo Franciscon Gomes da Cruz e Talita Mayara Campos Jumes que além de colaborarem na execução deste trabalho tiveram uma página importante em minha vida a vocês toda a gratidão.

Aos amigos e funcionários da Universidade Estadual de Maringá, Milton Lopes da Silva e Luis Machado Homem, pela amizade e auxílio na condução dos experimentos.

Ao Sr. Arthur Antônio Baptistella pela concessão da área para realização deste experimento.

A secretária do Programa de pós-graduação em agronomia Érika Cristina T. Sato, pelo atendimento profissional, competente e impecável durante estes anos de convivência.

E a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

DENIS FERNANDO BIFFE, nascido aos 24 dias do mês de Abril do ano de 1983, na cidade de Rondon, estado do Paraná, filho de Olinda Luiza Nogueira Biffe e Dorival Valentin Biffe.

Em 2001 deu início ao curso de Agronomia na Universidade Estadual de Maringá, onde a partir de 2003 participa de projetos de pesquisa desenvolvidas pelo grupo de plantas daninhas sob direção dos professores Drs. Rubem Silvério de Oliveira Jr. e Jamil Constantin.

Graduado em Agronomia em fevereiro de 2007, em julho de 2008 obteve o título de Mestre em Agronomia e em agosto do mesmo ano, iniciou o curso de Pós-graduação em Agronomia em nível de Doutorado, área de concentração em Proteção de Plantas, na Universidade Estadual de Maringá, Maringá - PR.

Atualmente, é professor colaborador do curso de Agronomia Universidade Estadual de Maringá, onde atua na área de Mecanização Agrícola.

Efeito da aplicação de herbicidas em pré-emergência e de glyphosate em pós-emergência, sobre a cultura da soja em solo compactado e não compactado.

## RESUMO

Efeitos de glyphosate na cultura da soja é um tema que atualmente tem sido alvo de diversos estudos, desde aspectos nutricionais, produção de biomassa, capacidade fotossintética, doenças e fitotoxicidade, porém pouco se tem relatado na literatura sobre os efeitos diretos de sua aplicação na produtividade, e os que existem, tratam o glyphosate como um fator único dentro de um sistema de produção, governado por diversas variáveis, como a condição do solo onde a cultura se desenvolve. Ainda, com o uso demasiado de apenas um herbicida, ocorre seleção de plantas daninhas tolerantes ou resistentes, fazendo-se necessário o uso de alternativas auxiliares de controle, como os pré-emergentes.

Neste trabalho buscou-se realizar um estudo correlacionando os efeitos de glyphosate, compactação do solo e herbicidas pré-emergentes no desenvolvimento e produtividade da cultura soja. Os resultados indicaram que glyphosate afeta a taxa fotossintética, produção de raiz, parte aérea e produtividade da cultura e ainda de forma mais intensa com o aumento da densidade do solo. Densidades de solo superiores a  $1,25 \text{ g dm}^{-3}$  e herbicidas pré-emergentes quando aplicados em solo compactados afetam a produtividade de grãos da cultura da soja.

**Palavras-chave:** Densidade do solo, fotossíntese, biomassa, soja modificada.



Effect of herbicide application in pre-emergence and post-emergence glyphosate on soybean in compacted soil and uncompressed in different soils conditions.

### **ABSTRACT**

The effects of glyphosate on soybeans is currently a topic that has been the subject of several studies, since nutritional aspects, biomass production, photosynthetic rate, diseases and phytotoxicity, however, little has been reported in the literature about the direct effects of its application on crop yield. In addition, existing studies dealing with glyphosate as a single factor within a production system, which is governed by several variables, such as the condition of the soil where the crop develops. Also, the intensive using of a single herbicide allows the selection of resistant or tolerant weeds, this way, it is necessary handle with auxiliary control alternatives, such as pre-emergent herbicides. This work aimed to perform a study correlating the impacts of glyphosate, soil density and pre-emergent herbicides on the development and soybean yield. The results indicated that glyphosate affects the photosynthetic rate, the development of root and shoot, as well as, the soybean yield and it was watched more intensive effects with the increasing soil density. Soil densities greater than  $1.25 \text{ g dm}^{-3}$ , as the pre-emergent herbicides when applied to compacted soil, affect the grain yield of soybean.

Key-Words: Soil densities, photosynthesis, biomass, transgenic soybean.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultado da análise granulométrica e química da amostra de solo utilizado no experimento..	15
Tabela 2: Descrição dos tratamentos e doses utilizadas em pré e pós-emergência nos dois sistemas de manejo do solo na cultura da soja..	18
Tabela 3: Escala EWRC, nota de fitointoxicação de acordo com os sintomas visuais.	20
Tabela 4: Descrição dos contrastes realizados entre testemunha sem herbicida pré-emergente e pós-emergente, no solo subsolado (Testemunha absoluta), em relação a todos os demais tratamentos.	23
Tabela 5: Contrastes realizados entre testemunha sem herbicidas pré-emergente e pós-emergente, no solo não subsolado, em relação a todos os demais tratamentos não subsolados.	24
Tabela 6: Contrastes realizados entre testemunha sem herbicida pré-emergente com a aplicação de Glyphosate em pós-emergência, no solo subsolado, em relação aos diferentes tratamentos com Glyphosate em solo subsolado.	25
Tabela 7: Contrastes realizados entre testemunha sem herbicida pré-emergente com a aplicação de Glyphosate em pós-emergência, no solo não subsolado, em relação aos diferentes tratamentos com Glyphosate em solo não subsolado.	25
Tabela 8: Fitointoxicação da cultura avaliada por meio da escala EWRC após a aplicação de diferentes herbicidas pré emergentes.	30
Tabela 9: Fitointoxicação da cultura através da escala EWRC após a aplicação de Glyphosate.	31
Tabela 10: Índice SPAD (Clorofila) determinado aos 26 dias após a emergência da cultura e aplicação de diferentes tratamentos herbicidas em pré-emergência em duas condições de solo.	33
Tabela 11: Índice SPAD (Clorofila) determinado aos 41 dias após a emergência da cultura e aplicação de diferentes tratamentos herbicidas em pré-emergência em duas condições de solo e 15 dias após aplicação de glyphosate.	34
Tabela 12: Taxa fotossintética (A) determinado aos 26 dias após a emergência da cultura e aplicação de diferentes tratamentos herbicidas em pré-emergência em duas condições de solo.	35

Tabela 13: Taxa fotossintética (A) determinada aos 41 dias após a emergência da cultura e aplicação de diferentes tratamentos herbicidas em pré-emergência em duas condições de solo e 15 dias após aplicação de glyphosate. ....	38
Tabela 14: Contrastes entre testemunha sem herbicida, no solo subsolado, em relação aos diferentes tratamentos, probabilidade para o teste F e Massa seca da parte aérea (MSPA), Massa seca do sistema radicular (MSSR) e Massa seca Total de plantas de soja, aos 41 DAE. ....	40
Tabela 15: Porcentagens de desfolha natural da cultura antes do início da colheita. ....	45
Tabela 16: Umidade de grãos colhidos em dias após o início da colheita para os diferentes tratamentos herbicidas pré-emergentes com e sem a aplicação de glyphosate em duas condições de solo. ....	49
Tabela 17: Números de dias a partir do início da colheita necessários para a umidade de grãos atingirem porcentagens menores que 15,50%. ....	52
Tabela 18: Contrastes entre testemunha sem herbicida pré-emergente e pós-emergente, no solo subsolado, em relação aos diferentes tratamentos, probabilidade de significância para o teste F e diferença de produtividade da variável-resposta produtividade. ....	54
Tabela 19: Contrastes entre testemunha sem herbicida pré-emergente e pós-emergente, no solo não subsolado, em relação aos diferentes tratamentos, probabilidade de significância para o teste F e diferença de produtividade da variável-resposta produtividade. ....	57
Tabela 20: Contrastes entre testemunha sem herbicida pré-emergente com a aplicação de Glyphosate em pós-emergência, no solo subsolado, em relação aos diferentes tratamentos, probabilidade de significância para o teste F e diferença de produtividade da variável-resposta produtividade. ....	59
Tabela 21: Contrastes entre testemunha sem herbicida pré-emergente com a aplicação de Glyphosate em pós-emergência, no solo não subsolado, em relação aos diferentes tratamentos, probabilidade de significância para o teste F e diferença de produtividade da variável-resposta produtividade. ....	59
Tabela 22: Regressões e coeficientes de determinação para produtividade em razão da densidade do solo em diferentes tratamentos herbicidas no solo compactado. ....	61
Tabela 23: Produtividades estimadas através dos modelos lineares e diferenças em relação a testemunha absoluta nas diferentes densidade de solo. ....	63

## SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
SUMÁRIO.....	x
1-INTRODUÇÃO.....	1
2-REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1- Atributos físicos do solo que podem interferir no potencial produtivo da cultura da soja em plantio direto .....	3
2.2-Interação entre herbicidas e compactação do solo .....	5
2.3- Caracterização de herbicidas pré-emergentes e seus efeitos sobre a cultura da Soja.....	6
2.3.1 Diclosulam .....	6
2.3.2-Chlorimuron-ethyl .....	7
2.3.3-Imazaquin .....	8
2.3.4-Flumioxazin .....	9
2.3.5-Sulfentrazone .....	9
2.3.6-Metribuzin .....	11
2.3.7-Trifluralin .....	11
2.4- Utilização de Glyphosate em soja geneticamente modificada .....	12
3-MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1-Área experimental .....	15
3.2-Tratos culturais realizados durante a condução do ensaio.....	16
3.3- Delineamento experimental.....	16
3.4- Aplicação dos tratamentos e condições ambientais durante o ciclo da cultura .....	17
3.5- Avaliações realizadas durante o desenvolvimento da cultura .....	19
3.5.1- Resistência à penetração e umidade do solo.....	19
3.5.2- Avaliação visual de sintomas de fitointoxicação.....	19
3.5.3- Análise da fotossíntese e desenvolvimento da cultura .....	20
3.6 - Produtividade e avaliação de umidade de grãos e densidade do solo .....	21
3.7- Análise estatística .....	22
4-RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
4.1-Resistência à penetração e umidade do solo.....	26

4.2- Fitointoxicação .....	29
4.3 Avaliação do teor de clorofila (Índice SPAD).....	33
4.4 Taxa fotossintética (A).....	35
4.5- Resultados de massa seca da parte aérea (MSPA) massa seca do sistema radicular (MSRA), e massa seca total (MSTOTAL) de plantas de soja .....	39
4.6- Desfolha e umidade de grãos.....	44
4.7- Produtividade da cultura.....	52
4.6.1-Análise da produtividade por contrastes.....	52
4.6.1-Análise da produtividade por regressões .....	60
4.8-Conclusões.....	66
5-LITERATURA CONSULTADA.....	67
6-APÊNDICE.....	77

## 1- INTRODUÇÃO

Com o advento do plantio direto, inúmeras vantagens foram conquistadas, tais como a menor perda de solo pela erosão, tanto hídrica quanto eólica, assim como menor uso de máquinas, conseqüentemente menor uso de combustível, aumento na matéria orgânica e estruturação do solo.

Apesar de inúmeras vantagens do plantio direto, alguns aspectos precisam ser mais bem avaliados, com o não revolvimento do solo, que associado ao tráfego de máquinas em períodos úmidos, pode ocorrer o adensamento de uma camada do solo, fato mais conhecido como compactação, que promove uma barreira física comprometendo o desenvolvimento do sistema radicular das culturas.

O aumento da densidade do solo causa a redução da penetração e ramificação das raízes e aeração deficiente, culminando com a redução da produtividade das culturas. Isso em consequência da redução na infiltração e na redistribuição de água no solo, redução nas trocas gasosas, da disponibilidade de oxigênio e da limitação na absorção de água e nutrientes pelas plantas.

A compactação do solo altera o mecanismo de fluxo de massa e difusão responsáveis pelo transporte de nutrientes até as raízes, reduzindo a permeabilidade à água e ar, a absorção de água e nutrientes pelas plantas e, restringido o crescimento radicular e da parte aérea. Nestas condições, a redução no crescimento radicular implica em não suprir a demanda de água e nutrientes da parte aérea das plantas.

O plantio direto em si, só foi possível graças às herbicidas dessecantes como Paraquat e Glifosato, sendo o último mais utilizado em grande escala devido ao seu maior espectro de controle e menor custo. Até anos anteriores, o Glyphosate era apenas utilizado como herbicida de ação total no manejo de pré- semeadura das culturas. No entanto, com o advento dos organismos geneticamente modificados (OGM), no caso específico, soja tolerante ao Glyphosate (Soja Roundup Ready), o uso deste herbicida passou de 2 a 3 vezes ao ano para 5 a 6 vezes.

Apesar da tolerância, alguns trabalhos têm sugerido que após a aplicação de Glyphosate alguns efeitos indesejáveis ocorrem à planta, como quelatização de nutrientes, redução na capacidade fotossintética, menor eficiência no uso da água, redução na quantidade e massa de nódulos, diminuição do desenvolvimento do sistema radicular e aéreo. No entanto, poucos trabalhos fazem menção à produtividade.

A possibilidade de utilizar apenas um único herbicida para controlar plantas daninhas tanto no manejo quanto em pós-emergência faz com que princípios básicos do controle de plantas daninhas sejam esquecidos, podendo resultar na seleção de biótipos tolerantes ou resistentes e, conseqüentemente, proporcionando controle insatisfatório.

Uma das estratégias para evitar a seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes ao Glyphosate, que inviabilizaria o plantio direto, é o uso de herbicidas com mecanismos de ação diferenciados e neste sentido enquadram-se os chamados herbicidas pré-emergentes, que outrora foram bastante utilizados, e no cenário mundial (como EUA e Europa) tendem a ressurgir como importante ferramenta no combate às plantas daninhas resistentes. Apesar dos pré-emergentes serem uma prática já consagrada na agricultura, deve-se levar em consideração que, as condições atuais não são as mesmas vividas na época em que se revolia constantemente o solo.

Levando em consideração a escassez de informações sobre possíveis efeitos da compactação do solo, Glyphosate e dos herbicidas pré-emergentes na produtividade da cultura da soja, objetivou-se com este trabalho:

- Avaliar os efeitos da compactação do solo, do herbicida glyphosate e de herbicidas pré-emergentes no desenvolvimento e produtividade da cultura da soja;
- Quantificar se possível, o fator ou interação mais limitante a produtividade;
- Verificar em diferentes densidades de solo o efeito de Glyphosate e herbicidas pré-emergentes.

## **2-REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1- Atributos físicos do solo que podem interferir no potencial produtivo da cultura da soja em plantio direto**

A cultura da soja (*Glycine max* (L.) ocupa posição de destaque no cenário nacional de produção de grãos, sendo responsável por um grande volume de divisas e geração de empregos diretos e indiretos. A área plantada desta oleaginosa para a safra (2009/2010) foi da ordem de 23,05 milhões de hectares, o que corresponde a um crescimento de 6,0% (1,31 milhões hectares) à safra 2008/09, quando foram cultivados 21,74 milhões de hectares. Neste mesmo sentido, a produção quantificada foi de 64,56 milhões de toneladas, o que representa um acréscimo de 12,9% (7,40 milhões de toneladas) sobre o volume de 57,16 milhões de toneladas produzidas em 2008/09 (CONAB 2009).

O Brasil apesar de figurar como um dos grandes produtores desta oleaginosa, alguns aspectos no sistema de produção precisam ser melhores avaliados e estudados, a fim de se manter a estabilidade da produtividade e preservar o meio ambiente (TORRES & SARAIVA, 1999). O manejo adequado do solo é uma das mais importantes etapas para o sucesso da cultura e para maximizar a rentabilidade.

No Brasil e, em especial, no Paraná, o avanço da agricultura deu-se com a retirada da cobertura vegetal nativa e com a introdução de sistemas agrícolas tradicionais, os quais utilizavam sistemas intensivos de preparo do solo. A compactação e a erosão foram consequências do emprego destes sistemas de manejo do solo, afetando seriamente a produtividade das culturas (ARAÚJO, 2005). No intuito de controlar o avanço do processo erosivo, adotou-se o sistema de semeadura direta em conjunto com o manejo integrado do solo em microbacias hidrográficas. Resultados positivos foram comprovados em avaliações de pesquisa (DERPSCH et al., 1991).

A carência de herbicidas para o controle de plantas daninhas antes da semeadura foi mais um entrave à adoção dessa prática de manejo. Nas décadas de 40 a 50, pesquisadores americanos e europeus desenvolveram o controle químico de plantas daninhas, que dispensava os métodos mecânicos onde havia o revolvimento do solo. O marco histórico da pesquisa dessas substâncias foi a síntese da molécula do ácido 2,4 diclorofenoxiacético, o 2,4 D. Porém, foi com a descoberta da molécula do paraquat pela empresa inglesa ICI (Imperial Chemical Industries), que o controle de invasoras foi possível e a semeadura direta implantada (ARAÚJO, 2005).



O plantio direto é uma técnica eficiente no controle das perdas de solo e água, razão pela qual, juntamente com outras vantagens que o sistema oferece, tem sido adotado por um número cada vez maior de agricultores. No entanto, apesar das inúmeras vantagens, alguns fatores têm causado frustrações com a adoção dessa tecnologia, motivando o retorno ao sistema convencional de preparo do solo. Dentre estes, destaca-se a excessiva compactação do solo em superfície, decorrente da ausência de revolvimento do solo e da ocorrência sistemática do tráfego de máquinas e implementos (TORMENA et al., 1998).

Estima-se que cerca de 68 milhões de hectares das terras agrícolas do planeta estão em processo de degradação, ocasionado pela compactação do solo (FLOWERS & LAL, 1998). No Brasil, apesar da inexistência de levantamentos quantitativos de áreas agrícolas degradadas, uma infinidade de relatos e estudos tem sido direcionada a este tema.

Antes do surgimento do conceito da semeadura direta, os solos agrícolas eram revolvidos mecanicamente com a intenção de prepará-lo para o recebimento das sementes (ARAÚJO, 2005). A intensa mobilização ocasionava a desagregação superficial, proporcionando a formação de uma fina crosta resultante da dispersão das partículas do solo e de uma camada sub-superficial compactada resultante do tráfego de máquinas e implementos (CASTRO et al., 1987). Os métodos convencionais de preparo baseados na aração e gradagem geralmente induzem a degradação dos solos agrícolas, principalmente, devido a sua ação na desestruturação do solo, na formação de camadas compactadas e na redução dos teores de matéria orgânica (DERPSCH et al., 1991).

Contudo, o sistema de plantio direto apresenta alguns pontos limitantes que podem interferir no potencial produtivo das culturas, destacando-se o aumento da compactação superficial decorrente da ausência do revolvimento do solo e do efeito cumulativo do tráfego de máquinas e implementos (TORMENA & ROLOFF, 1996; STONE & SILVEIRA, 2001; ARAÚJO, 2005).

A compactação é um dos principais processos de degradação dos solos agrícolas (HORN et al., 2003), e se expressa pelo aumento da densidade do solo e pela redução do seu espaço poroso em resposta a um histórico de cargas ou pressões exercidas na sua superfície, especialmente em elevada umidade (SILVA et al., 2002).

Segundo Tormena et al. (2002), valores de resistência à penetração (RP) acima dos 3,5 MPa podem influenciar a produtividade de raízes, uma vez que afetam diretamente o crescimento das raízes e parte aérea (MASLE & PASSIOURA, 1987). Silva et al. (2000) verificaram em Latossolo Vermelho argiloso que a produtividade de soja foi adequada até a

RP de 1,80 MPa. Queiroz-Voltan et al. (2000) verificaram que o valor de RP crítico para a produtividade de soja varia com o cultivar. Em geral, o valor de RP de 2,0 MPa tem sido adotado como crítico ao crescimento radicular (Tormena et al.,1998).

## **2.2-Interação entre herbicidas e compactação do solo**

Quando um herbicida é aplicado no ambiente e atinge o solo, suas moléculas podem seguir diferentes rotas. Elas podem ser sorvidas aos colóides minerais e orgânicos e, dependendo da energia de ligação, podem se tornar indisponíveis às plantas (fração resíduo ligado) ou, novamente, serem desorvidas à solução do solo (HORNSBY et al., 1995, LAVORENTI, 1997).

Com a compactação do solo ocorre a redução do número de poros, mais especificamente, redução dos macro e mesoporos, que são responsáveis pela lixiviação e percolação de solutos do solo. Com esta redução dos poros de maior tamanho há um aumento da persistência dos herbicidas, muitas vezes ocasionando toxidade para as culturas subsequentes à que se utilizou o herbicida. Também pode aumentar a fitotoxicidade do herbicida para a própria cultura, em função da restrição na percolação no solo e consequente aumento da concentração disponível para absorção radicular pela cultura (ZOBIOLE et al. 2007).

A interação solo-herbicida afeta a fitotoxicidade, a atividade no controle das plantas daninhas e a permanência de resíduos indesejáveis dos herbicidas no solo. Sabe-se que tanto o pH quanto a densidade do solo podem interagir com os herbicidas, afetando o seu potencial de injúria às plantas. O potencial de injúria às culturas é determinado pela persistência do herbicida no solo e pela susceptibilidade da cultura ao produto químico utilizado (HARTZLER et al., 1989).

Os herbicidas aplicados em pré-emergência, para sua atuação devem, necessariamente, fazer parte da solução do solo, pois este é o veículo para que estas substâncias cheguem às estruturas das plantas pelas quais serão absorvidas. Devido à compactação do solo, ocorre uma limitação do volume de solo para ser explorado pelo sistema radicular, podendo resultar numa maior predisposição das raízes em se desenvolverem nas camadas superficiais com maiores concentrações de herbicidas (ZOBIOLE et al. 2007).

A densidade do solo pode afetar a atividade residual dos herbicidas (EHLERS et al., 1969). Por exemplo, a compactação do solo aumenta a fitotoxicidade de trifluralin. Plantas de

milho tiveram raízes 30% menores quando cultivadas em solo com densidade  $1,6\text{g cm}^{-3}$ , comparadas àquelas cultivadas em solo com densidade de  $1,1\text{g cm}^{-3}$ . Contudo, a redução das raízes foi ainda maior (60%) quando trifluralin foi aplicado ao solo compactado (MARTIN et al., 1985).

Com adoção do sistema de plantio direto, associado à descoberta de herbicidas pós-emergentes seletivos à cultura da soja, o uso de herbicidas em pré-emergência tornou-se uma prática pouco utilizada. Contudo, com a introdução de cultivares tolerantes ao Glyphosate e adoção maciça desta tecnologia, pelos agricultores, ocorreu a seleção de biótipos de plantas daninhas tolerantes ao Glyphosate, e com isso, os herbicidas pré-emergentes ressurgem como uma boa opção neste manejo. Hoje existe no mercado brasileiro uma grande quantidade de herbicidas pré-emergentes utilizadas nesta modalidade para uso em soja.

Para maior sucesso na utilização dos herbicidas, tanto em relação ao aspecto de eficiência sobre as plantas quanto ao aspecto ambiental, é primordial conhecer e entender os processos que regulam seus comportamentos e destino no ambiente, especialmente sua retenção nos diferentes solos (OLIVEIRA JR. & CONSTANTIN, 2001).

## **2.3- Caracterização de herbicidas pré-emergentes e seus efeitos sobre a cultura da Soja**

### **2.3.1 Diclosulam**

O diclosulam [N-(2,6-diclorofenil)-5-etoxi-7-fluor- (1,2,4)triazolo(1,5-c)pirimidina-2-sulfonamida] é um herbicida pertencente ao grupo químico das triazolpirimidina sulfonanilidas, amplamente utilizado no Brasil, Argentina e Estados Unidos (YODER et al., 2000). No Brasil, este herbicida passou a ser usado na safra 97/98, com a finalidade de controlar dicotiledôneas na cultura da soja. Ele é aplicado em pré-plantio incorporado ou em pré-emergência, atuando na inibição da enzima acetolactato sintetase (ALS) (RODRIGUES & ALMEIDA, 2005). Essa enzima está localizada no cloroplasto, onde catalisa a condensação de duas moléculas de piruvato em acetolactato, o qual é convertido em valina e leucina. Uma reação similar, que produz aacetoidroxibutirato, responsável pela biossíntese da isoleucina, também é catalisada pela ALS, quando o  $\alpha$ -ketobutirato e o piruvato são usados como substrato (SINGH & SHANER, 1995).

A aplicação do diclosulam, quando comparada com a de outros herbicidas, ocorre em doses muito baixas, variando de 25 a  $35\text{ g ha}^{-1}$  de ingrediente ativo (RODRIGUES & ALMEIDA, 2005). No entanto, de acordo com Yoder et al. (2000), a aplicação desse

herbicida na soja poderia vir a causar injúrias em culturas subsequentes, como o milho. Por esta razão, Rodrigues & Almeida (2005) evidenciam que áreas tratadas com diclosulam não devem ser cultivadas com girassol e brássicas. Yoder et al. (2000) observaram rápida metabolização do diclosulam em solos argentinos, brasileiros e norte-americanos ( $t_{1/2} < 30$  dias).

Cobucci et al. (2004), relatam que Diclosulam apresenta grande mobilidade na palha, sendo indicado para o controle de plantas daninhas na cultura da soja no sistema de plantio direto. Apresenta meia-vida ( $t_{1/2}$ ) de 67 dias em áreas cultivadas em sistema de plantio direto e 87 dias para solos cultivados convencionalmente (LAVORENTI et al., 2003).

Na cultura da soja apresenta severos sintomas de injúrias, principalmente em solos com textura arenosa e média, e ainda com baixos valores de CTC e matéria orgânica (ROMAN et al. 2000). Seu principal sintoma é o encarquilhamento dos primeiros trifólios em plantas jovens que podem levar à necrose e redução da altura da planta e, em casos extremos, ao menor estande final da cultura (ROMAN et. al. 2000; RODRIGUES & ALMEIDA, 2005).

Por pertencer ao grupo de herbicidas que atuam na inibição da enzima acetolactato sintase (ALS), responsável pela síntese dos aminoácidos essenciais valina, leucina e isoleucina, mesmo sendo considerado seletivo à cultura, ocorre a redução nos níveis de aminoácidos levando a distúrbios na produção de proteínas, interferindo no crescimento celular, provocando necrose no meristema apical e paralisação do crescimento das plantas (FLECK & VIDAL, 1994).

### **2.3.2-Chlorimuron-ethyl**

O Chlorimuron-ethyl (Ethyl 2-(4-chloro-6-methoxypyrimidin-2-yl)carbamoylsulfamoyl benzoate) pertence à família das sulfoniurêias, atuando na inibição da enzima acetolactato sintetase (ALS), recomendado para o controle de plantas daninhas em pós-emergência da soja (RODRIGUES & ALMEIDA, 2005), contudo, apresenta bom nível de controle de algumas dicotiledôneas em pré-emergência.

Trabalhos de campo realizados por Curran & Knake (1987), indicaram reduções do peso de matéria seca e da estatura de plântulas de milho cuja semeadura foi feita um ano após a aplicação de Chlorimuron-ethyl. Para Rodrigues & Almeida (2005), a semeadura do milho só deve ser realizada após um período de 60 dias entre a aplicação do Chlorimuron-ethyl, evidenciando desta forma sua permanência no solo por considerável nível de tempo.

Nos últimos anos aumentou o uso de herbicidas à base de Chlorimuron-ethyl para o controle de biótipos de buva (*Conyza bonariensis*) resistentes ao Glyphosate. A associação do Chlorimuron-ethyl com Glyphosate se dá tanto na dessecação que antecede a semeadura quanto em pós-emergência da soja. Na dessecação, como a aplicação ocorre a poucos dias da semeadura, além do efeito sobre as plantas emergidas ocorre ação sobre aquelas que vão emergir (efeito residual).

Os sintomas de injúrias de Chlorimuron, quando aplicados em soja, em pré-emergência, são caracterizados por encarquilhamento das folhas jovens e leve amarelecimento internerval, contudo, estes sintomas tendem a desaparecer a partir do segundo trifólio (RODRIGUES & ALMEIDA, 2005).

### **2.3.3-Imazaquin**

O imazaquin (ácido 2-[4,5-dihidro-4-metil-4-(1- metiletil)-5-oxo-1H-imidazol-2-il]-3-quinolinacarboxílico) é um herbicida que já teve uso intensivo no Brasil, com amplo espectro de controle de plantas daninhas associadas à cultura da soja (GOETZ et al.,1986), pertence à família das imidazolinonas, atuando na inibição da enzima acetolactato sintetase (ALS) (RODRIGUES & ALMEIDA, 2005). Possui meia-vida média no solo de 60 dias (AHRENS, 1994), mas, sua atividade residual ainda pode ser observada, em alguns casos, de 90 a 180 dias após a aplicação (SILVA et al., 1998).

Esse produto pode causar injúrias nas plantas cultivadas em determinadas condições de solos úmidos (TRIPP & BALDWIN, 1988; NEWSON & SHAW, 1992) ou em situações de solos com pH elevado (RENNER et al., 1988). Nesse caso, há menor adsorção do imazaquin aos colóides do solo, em função do aumento do pH, e, conseqüentemente, maior concentração do herbicida na solução do solo (GOETZ et al., 1986).

Brighenti et al. (2002), ao estudar o efeito de Imazaquin em diferentes cultivares de soja determinaram que os índices de fitotoxicidade para a dose de 0,14 kg i.a. ha<sup>-1</sup> foram baixos, atingindo o valor máximo de 5%. O estande da cultura não foi afetado pelo herbicida, não havendo diferenças entre as doses do imazaquin e as da testemunha sem aplicação, para todos os genótipos avaliados. Com referência à altura de plantas, somente o cultivar BRS 156 foi sensível à aplicação do produto. Griffin & Habetz (1989), também verificaram redução da altura de plantas de soja com a aplicação de Imazaquin.

### 2.3.4-Flumioxazin

Quanto ao flumioxazin, 2-[7-fluoro-3,4-dihydro-3-oxo-4-(2-propynyl)-2H-1,4-benzoxazin-6-yl]-4,5,6,7-tetrahydro-1H-isoindole-1,3(2H)-dione (WSSA, 2002), pertence ao grupo químico das ftalamidas, e é inibidor da protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), sua solubilidade em água é de 1,79 mg L<sup>-1</sup> a 25°C, possui coeficiente de partição (K<sub>d</sub>) 3,54 x 10<sup>2</sup> a 20°C, log do coeficiente de partição n-octanol-água (log K<sub>ow</sub>) 2,55 a 20°C e pressão de vapor 2,41 x 10<sup>-6</sup> a 22°C (WSSA, 2002). Não se dissocia e, portanto, não possui pK<sub>a</sub> (OLIVEIRA et al., 1999). Sua movimentação no solo é baixa, independentemente da umidade, e sua lixiviação, quando aplicado em solo seco ou úmido, é pequena, tendo em vista sua baixa solubilidade em água (OLIVEIRA et al., 1998). Possui meia-vida média no solo de 21,9 dias (RODRIGUES & ALMEIDA, 2005), podendo variar em função da textura solos, sendo, meia-vida menor em solos mais arenosos e, maior em solos argilosos.

O flumioxazin é um herbicida registrado para uso em condições de pré- emergência, no controle de plantas daninhas de folhas largas e de algumas monocotiledôneas na cultura da soja (OLIVEIRA et al., 1998). Como inibidor da PROTOX atua na oxidação de protoporfirinogênio a protoporfirina IX (precursores da clorofila). Com a inibição da enzima, ocorre o acúmulo de protoporfirinogênio, que se difunde para fora do centro reativo, em que acontece uma oxidação não enzimática do mesmo. Ocorre, então, a interação entre o oxigênio e luz para levar o oxigênio ao estado *singlet*, o qual seria responsável, em última instância, pela peroxidação de lipídios observada nas membranas celulares. Lipídios e proteínas são atacados e oxidados que resulta em perda da clorofila e dos carotenóides e rompimento das membranas, o que faz com que as organelas das células se desintegrem. Os tecidos sofrem necrose e morte, causadas pela peroxidação de lipídios (OLIVEIRA JR., 2001).

### 2.3.5-Sulfentrazone

Sulfentrazone é um herbicida registrado no Brasil para as culturas de soja, cana-de-açúcar, café e citrus. Pertence ao grupo das aril-triazolinonas, solubilidade de 780 mg L<sup>-1</sup> (pH 7), pressão de vapor 1 10<sup>-9</sup> mmHg (25 °C), constante de dissociação (pK) 6,56 e coeficiente de partição (K<sub>ow,pH7</sub>) 9,8 (DAN HESS, 1993; RODRIGUES e ALMEIDA, 2005; TOMLIN, 1994).

Os sintomas de fitointoxicação do sulfentrazone são originados a partir da inibição da ação da enzima Protox, a última enzima comum tanto à síntese da clorofila como do grupo

heme, que inibe a transformação do protoporfirogênio para protoporfirina (DUKE et al., 1991; LEE et al., 1993), ocorrendo a oxidação citossólica do protoporfirogênio, com o consequente acúmulo de protoporfirina. Este composto, em tecidos iluminados e na presença do O<sub>2</sub>, ocasiona a formação de oxigênio *singlet*, o qual, agindo como radical livre provoca a peroxidação dos lipídios das membranas celulares em plantas ou tecidos sensíveis, com consequente morte celular (LEE et al., 1993; DAYAN & WEETE, 1996). A clorose é ocasionada pelo bloqueio da síntese de clorofila (DUKE et al., 1991; DAYAN & WEETE, 1996). A injúria na parte aérea das plantas expostas ao sulfentrazone parece ser facilitada pelo rápido transporte e acúmulo do herbicida nas folhas, onde é o seu local de ação mais especificamente, o envelope do cloroplasto (DUKE et al., 1991; LEE et al., 1993).

Reddy & Locke (1998), investigando a sorção no solo do sulfentrazone em duas texturas de solo (média e argilosa), e em dois sistemas (convencional e plantio direto), observaram que, independentemente do manejo, a taxa de sorção foi maior no solo argiloso e neste, a dessorção ocorreu de forma bem lenta. Blanco & Velini (2005), utilizando a beterraba como planta-teste crescendo dentro de um fitotron determinaram a persistência do sulfentrazone aplicado em janeiro na cultura da soja, nas doses de 0,6 kg ha<sup>-1</sup> em 376 dias, sendo fitotóxico para as culturas sucedâneas de aveia branca e milho e não prejudicando as do feijão, girassol e trigo.

Rossi et al. (2003), utilizando bioensaios, avaliaram a lixiviação do sulfentrazone (0,86 kg ha<sup>-1</sup>), em dois tipos de solo (Nitossolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico), em colunas de PVC; 0,10 e 0,50m (diâmetro e comprimento), utilizando o sorgo (*Sorghum bicolor*), sob diferentes regimes pluviométricos durante 15 dias. Determinaram que sob precipitação de 90 mm, o herbicida foi detectado até 7,5 e 12,5 cm de profundidade, respectivamente em solo Nitossolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico. Estes dados são coerentes com Vivian et al. (2006) que, investigando o comportamento do sulfentrazone até 20 cm de profundidade, aplicado na dose de 0,9 kg ha<sup>-1</sup> na cultura da cana-de-açúcar, determinaram com bioensaios, utilizando o sorgo como planta-teste, que a lixiviação do herbicida é significativa somente na camada de 0-10 cm do solo e sua persistência em 467 DAT. Porém, quando houve reaplicação do herbicida na cana-soca, o fim da persistência não pode ser determinado, pois até a última avaliação (640 DAT), o herbicida ainda persistia no solo. Neste mesmo trabalho, foi determinada a relação de sorção (RA) em 3,6, indicando que este herbicida, quando sorvido aos colóides, tem tendência de lenta disponibilização para a solução.

Trabalho realizado por Zobiole et al. (2007) concluíram que o sulfentrazone reduziu a área foliar, a formação de nódulos, a massa seca dos nódulos e o acúmulo de N<sub>2</sub> na parte aérea de plantas de soja, sendo esses efeitos mais acentuados com o aumento da densidade do solo. O aumento da densidade do solo afetou as variáveis relacionadas à cultura de modo mais acentuado do que a presença do sulfentrazone.

### **2.3.6-Metribuzin**

O metribuzin, (“4- amino- 6- tert- butyl- 4,5-dihydro- 3- methylthio- 1,2,4- triazin- 5-one”), é utilizado para o controle de plantas daninhas mono e dicotiledôneas. Pertence ao grupo químico das triazinonas e é absorvido pelas plantas via radicular e foliar e é recomendado para aplicações em pré-emergência em soja. O mecanismo de ação é a inibição do fotossistema II. O principal sintoma nas plantas daninhas suscetíveis, após a emergência do solo, é clorose e necrose (RODRIGUES & ALMEIDA, 2005). O ingrediente ativo metribuzin apresenta alta solubilidade em água, de 1100 mg/L a 20 °C; Kow equivalente a 44,7; é moderadamente adsorvido na maioria dos solos e com alta afinidade à matéria orgânica do solo.

A degradação microbiana é a principal forma de degradação nos solos e aumenta em condições aeróbicas. A fotodecomposição e a volatilização (1,2 x 10<sup>-7</sup> mm Hg a 20 °C) são insignificantes. A meia-vida é de 1 a 2 meses, dependendo da textura do solo e das condições climáticas (RODRIGUES & ALMEIDA, 2005).

De acordo com Edwards, et al., (1976) existe uma grande diferença entre os cultivares de soja quanto a sensibilidade ao Metribuzin. A extrema sensibilidade de algumas cultivares é controlada por um gene recessivo Rps-b hm, enquanto uma marcada tolerância foi associada com a presença do gene Rps1-K Hm. A maioria das cultivares carrega o alelo Hm, porém hm está presente em algumas cultivares. A resposta diferencial de cultivares de soja ao Metribuzin aparentemente resulta do aumento do metabolismo em cultivares tolerantes comparados aos cultivares suscetíveis (FALB & SMITH, 1984).

### **2.3.7-Trifluralin**

Trifluralin (a,a,a-trifluoro-2,6-dinitro-NN- dipropil-p-toluidina), pertence ao grupo químico das dinitroanilinas, inibidor da polimerização da tubulina na mitose em raízes de gramíneas anuais (VIDAL, 1997).



Caracteriza-se por apresentar baixa solubilidade em água, alta adsorção aos colóides do solo, principalmente orgânicos, pela imobilidade no solo e pelo caráter não-iônico (CARRINGER et al., 1975; WEBER, 1990). A meia-vida é de 45 dias, e ainda dependente da textura do solo e das condições climáticas (RODRIGUES & ALMEIDA, 2005).

O trifluralin inibe o crescimento do sistema radicular das plantas. Esse produto afeta a divisão celular nos tecidos meristemáticos, inibindo a formação de novas células. A maioria das gramíneas anuais e algumas dicotiledôneas não emergem devido à inibição do crescimento do coleóptilo e hipocótilo, respectivamente. Nas gramíneas, pode haver a formação de bulbos e o hipocótilo das dicotiledôneas pode ficar dilatado (RODRIGUES & ALMEIDA, 2005).

O efeito tóxico característico em plantas de soja é a dilatação do hipocótilo e a redução do crescimento de raízes secundárias. Pode haver também redução da nodulação e da produtividade da cultura da soja (VARELA & DE LA CRUZ, 1984; BUCHOLTZ & LAVY, 1979).

Negi et al. (1968), trabalhando com esse herbicida em laboratório nas concentrações de  $10^{-5}$  e  $10^{-6}$  M, verificaram atraso na emissão das folhas e dos nós das plantas à medida que houve aumento das doses do produto. Também Rosolem et al. (1984) constataram que a dose de trifluralin correspondente a  $1,92 \text{ kg ha}^{-1}$  causou diminuição da altura de plantas de soja e demora na emissão de folhas e nós. Esses sintomas foram mais pronunciados à medida que houve aumento nas doses aplicadas.

A difusão de trifluralin no solo aumenta até a densidade de  $1,2 \text{ g cm}^{-3}$  e diminui em densidades superiores a essa (BODE et al., 1973). Plantas de milho tiveram raízes 30% menores quando cultivadas em solo com densidade  $1,6 \text{ g cm}^{-3}$ , comparadas àquelas cultivadas em solo com densidade de  $1,1 \text{ g cm}^{-3}$ . Contudo, a redução das raízes foi ainda maior (60%) quando trifluralin foi aplicado ao solo compactado (MARTIN et al., 1985).

#### **2.4- Utilização de Glyphosate em soja geneticamente modificada**

Com o advento de novas técnicas de biotecnologia foram criados diversos organismos geneticamente modificados (OGM). Dentre eles está a soja transgênica, que desde 1996 é cultivada nos Estados Unidos e desde 1997 na Argentina. Atualmente, o Brasil e diversos outros países também empregam esta tecnologia, havendo, hoje, diversos tipos de sojas transgênicas em fase de desenvolvimento. A principal delas é uma planta que recebeu um gene de outro organismo capaz de torná-la tolerante ao uso do glyphosate (RR). Esse gene

foi extraído de uma bactéria do solo, conhecida por *Agrobacterium sp.*, e patenteado por uma empresa privada com o nome CP4-EPSPS. Estruturalmente, é muito parecido com os genes que compõem o genoma de uma planta, que depois de inserido no genoma da soja, tornou a planta resistente à aplicação do herbicida (DVORANEN, 2007).

O glyphosate é um herbicida de ação sistêmica, não seletiva, absorvido pelas folhas e translocado via floema até a raiz. Apresenta rápida adsorção aos colóides do solo, com uma atividade residual insignificante na maioria dos solos. Sua ação na planta ocorre pela inibição da atividade da enzima enopiruvil-chiquimato-3fosfato sintase, que participa da rota do ácido chiquímico, nas plantas (RODRIGUES & ALMEIDA, 2005).

O glyphosate tende a acumular-se em regiões meristemáticas das plantas tratadas, pela sua rápida translocação das folhas para as raízes, rizomas e meristemas apicais por meio do floema, juntamente com os fotoassimilados. Em contraste com outros herbicidas, os sintomas fitotóxicos ocorrem relativamente devagar.

Para Mervosh & Balke (1991), a penetração do glyphosate nas células é mediada por proteínas transportadoras de fosfato, presentes na membrana plasmática. O sintoma mais comum observado em plantas susceptíveis é clorose foliar seguida de necrose. A morte da planta susceptível pode ocorrer em alguns dias ou semanas (FRANZ et al., 1997; MONQUERO et al., 2004; RODRIGUES & ALMEIDA, 2005).

Centenas de variedades de soja transgênica resistentes ao glyphosate (RR), de diferentes grupos de maturação, encontram-se disponíveis no mercado (DVORANEN, 2007). Segundo Zablotowicz & Reddy (2004), as respostas fisiológicas dessas variedades às aplicações de glyphosate podem variar em função de fatores como localização geográfica, condições ambientais, tipos de solo, população de rizóbios e outros fatores.

Oliveira Jr. et al. (2008) estudaram a influência de diversas modalidades de aplicação de glyphosate sobre a nodulação e o crescimento de 20 cultivares brasileiras de soja RR e concluíram que todas as doses e modalidades de aplicação de glyphosate causaram reduções nos valores em todas as variáveis avaliadas. A maior redução ocorreu no número de nódulos, massa seca de nódulos, massa seca do sistema radicular e parte aérea, respectivamente. Os autores concluíram ainda que efeitos do glyphosate sobre a soja RR dependem de fatores como variedade, época de maturação, época de aplicação e dose.

Huber (2007) relatou que o glyphosate aumenta o estresse hídrico das plantas, antecipa a maturação e aumenta a susceptibilidade a doenças, modifica o equilíbrio microbiológico do solo e afeta a população de organismos benéficos para as plantas.

O típico sintoma visual observado no campo após a aplicação do glyphosate na soja RR é conhecido como “yellow flashing” ou amarelecimento das folhas superiores têm sido atribuídos ao acúmulo do primeiro metabólito fitotóxico do glyphosate, o ácido aminometilfosfônico (AMPA) (REDDY et al., 2004). Algumas variedades de soja RR possuem pequenos sintomas visuais de amarelecimento, enquanto outras são extremamente injuriadas pelo glyphosate.

Zobiolo et al. (2010b) em estudos com uma cultivar de grupo de maturação precoce mais sensível ao glyphosate, avaliaram a influência do aumento de doses de glyphosate na fotossíntese na eficiência do uso da água nas plantas. Eles demonstraram que com o aumento da dose de glyphosate, todos os parâmetros fotossintéticos e a fluorescência da clorofila diminuíram drasticamente, conseqüentemente demonstrando que a fotossíntese, a eficiência no uso da água e a produção de biomassa da soja RR foram fortemente afetadas pelo glyphosate.

Efeitos negativos sobre o crescimento do sistema radicular de soja transgênica RR também foram observados em vários experimentos em casa de vegetação, tanto em plantas dependentes da fixação simbiótica quanto em plantas nutridas com fertilizante nitrogenado (REDDY et al., 2000; KING et al., 2001., DVORANEN, 2007).

Segundo Oliveira Jr. & Constantin (2001), para maior sucesso na utilização dos herbicidas, tanto em relação ao aspecto de eficiência sobre as plantas quanto ao aspecto ambiental, é primordial conhecer e entender os processos que regulam seu comportamento e destino no ambiente.

### 3-MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1-Área experimental

O experimento foi conduzido na safra 2009/2010, em área comercial da Fazenda Apucarana, pertencente ao Sr. Arthur Antônio Baptistella, localizada no município de São Jorge do Ivaí, mais especificamente nas coordenadas 23°27'12.23"S e 52°15'30.67"W 23°16.19,73S, e altitude de 366 metros. Os resultados das análises químicas e granulométricas do solo onde foi instalado o experimento encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultado da análise granulométrica e química da amostra de solo utilizado no experimento. Maringá-PR, 2009/2010.

Argila	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Classe Textural
%				
72	14	10	4	Muito Argilosa

pH		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					mg dm <sup>-3</sup>		g dm <sup>-3</sup>	
CaCl <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	SB	CTC	P	C
4,7	5,5	0,0	3,97	6,34	2,49	0,40	9,23	13,20	31,22	18,23

Análise realizada pelo Laboratório de Análise de Solos do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá.

Obs.: Ca, Mg, Al – extraídos com KCl 1mol L<sup>-1</sup>; P, K – extraídos com Mehlich; H+Al – método SMP; C – método *Walkley e Black*; SB – Soma de bases.

O histórico da área onde foi realizado o experimento era de cultivo em sucessão de soja (verão) e milho (safrinha), por 5 (cinco) anos, sendo uma escarificação na profundidade de 30 cm., última operação de revolvimento do solo realizada na área há 10 anos.

Para levantamento da resistência à penetração (RP), delimitou-se uma área de 50 metros de largura por 370 metros de comprimento, totalizando 18500 m<sup>2</sup>, sendo que os pontos amostrados obedeceram a uma malha predeterminada nas dimensões de 12,5x20 m proporcionando 80 pontos amostrais dentro desta área. Utilizou-se um medidor eletrônico de compactação penetroLOG-Falker- PLG1020, o qual mediu a resistência até a profundidade de 40 cm. Amostras deformadas de solo foram coletadas a cada 10 cm de profundidade para determinação do conteúdo de água gravimétrica do solo.

Após o levantamento da RP, a área experimental foi demarcada em unidades menores (parcelas), onde 30 dias antes da semeadura (DAS), realizou-se uma subsolagem a 40 cm de profundidade, com um subsolador Stara de 9 hastes, na mesma direção em que é realizado o plantio, tratos culturais e colheita; posteriormente (20 DAS) procedeu-se uma gradagem leve, para pulverização de agregados provenientes da subsolagem, em metade das unidades experimentais (Subparcela), visando promover duas condições de solo, subsolado e não subsolado.

### **3.2-Tratos culturais realizados durante a condução do ensaio**

A área subsolada e não subsolada foi dessecada dez dias antes da semeadura da soja com 1260 g e.a. ha<sup>-1</sup> de glyphosate. Na semeadura, a adubação utilizada foi de 270 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula NPK 00.18.00. As sementes foram tratadas com o fungicida Maxin (35 g i.a. kg<sup>-1</sup> de Fludioxonil + 10 g i.a. kg<sup>-1</sup> de Metalaxyl.M) na dose de 0,0012 L kg<sup>-1</sup> de sementes, com o inseticida Standak (250 g i.a. L<sup>-1</sup> de Fipronil) na dose de 0,001 L kg<sup>-1</sup> de sementes, e também com inoculante turfoso na dose de 2 g kg<sup>-1</sup> de sementes. Aos quarenta dias após a germinação, foram aplicados 100 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio a lanço.

A semeadura foi realizada dia 10/10/2009 com espaçamento de 0,45 m entre linhas e uma densidade de semeadura de aproximadamente 20 sementes por metro linear. A cultivar pertencente ao grupo de maturação precoce utilizada no experimento foi a V-MAX RR (NK 7059). A emergência da cultura ocorreu 5 dias após o plantio. Os demais tratamentos fitossanitários (pragas e doenças) seguiram aqueles recomendados pela Embrapa-Soja (2009).

O experimento foi mantido livre da presença de plantas daninhas durante todo o período de execução, sendo realizadas capinas manuais, sempre que necessário, de forma que não houvesse competição entre a soja e as plantas daninhas.

### **3.3- Delineamento experimental**

O delineamento utilizado foi o de blocos completos ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas (três fatores), com oito repetições. As unidades experimentais foram constituídas por parcelas de 264 m<sup>2</sup> (22 x 12 m), subparcelas de 132 m<sup>2</sup> (22 x 6 m) e subsubparcelas de 66,0 m<sup>2</sup> (11 x 6 m). Os oito tratamentos herbicidas em pré-emergência (Tabela 2) foram alocados nas parcelas; o fator manejo do solo (subsolado e não subsolado), nas subparcelas; e nas subsubparcelas, o fator estudado foi “com e sem” a aplicação de 1200

gramas de equivalente ácido por hectare de Glyphosate em pós-emergência (aplicação na soja no estágio vegetativo V4, 26 dias após a emergência da cultura).

Cada subsubparcelas era constituída de 13 linhas de soja, sendo que para as avaliações foram desconsideradas 2 linhas laterais de cada extremidade, além de 2 metros em cada lado.

### **3.4- Aplicação dos tratamentos e condições ambientais durante o ciclo da cultura**

A aplicação dos tratamentos em pré-emergência foi realizada no dia 11/10/2011, um dia após a semeadura da cultura. No momento desta aplicação o solo encontrava-se úmido, temperatura ambiente de 23°C, umidade do ar de 68%, ventos de 0,2 km/h e a primeira precipitação (40 mm), ocorreram 22 horas após as aplicações (Figura 1). Para a aplicação em pós-emergência (aplicação na soja no estágio vegetativo V4, 26 dias após a emergência da cultura) o solo estava úmido, temperatura ambiente de 21°C, umidade do ar de 75%, ventos de 0,5 km/h e a primeira precipitação ocorreu 30 horas após as aplicações (19 mm).

Os herbicidas foram aplicados usando-se um pulverizador, pressurizado com CO<sub>2</sub>, provido de barra com cinco pontas de jato leque, AD 110.02, espaçados entre si de 0,5 m, com volume de calda de 200 L ha<sup>-1</sup> e pressão de aspensão de 3,0 kgf cm<sup>-2</sup>.

Tabela 2: Descrição dos tratamentos e doses utilizadas em pré e pós-emergência nos dois sistemas de manejo do solo na cultura da soja. São Jorge do Ivaí -PR 2009/2010.

<b>Pré-emergente</b>	<b>Dose g i a ha<sup>-1</sup></b>	<b>Pós-emergente*</b>	<b>Solo</b>
Testemunha	-	-	Subsolado
		Glyphosate**	Não Subsolado
Diclosulam (Spider)	35,28	-	Subsolado
		Glyphosate	Não Subsolado
Chlorimuron (Classic)	20,00	-	Subsolado
		Glyphosate	Não Subsolado
Imazaquin (Scepter)	161,00	-	Subsolado
		Glyphosate	Não Subsolado
Flumioxazin (Flumizin)	60,00	-	Subsolado
		Glyphosate	Não Subsolado
Sulfentrazone (Boral)	600,00	-	Subsolado
		Glyphosate	Não Subsolado
Metribuzin (Sencor)	480,00	-	Subsolado
		Glyphosate	Não Subsolado
Trifluralin	2250,00	-	Subsolado
		Glyphosate	Não Subsolado

\* Pós emergente 26 DAE; \*\* Glyphosate a 1200 g e.a. ha<sup>-1</sup>.

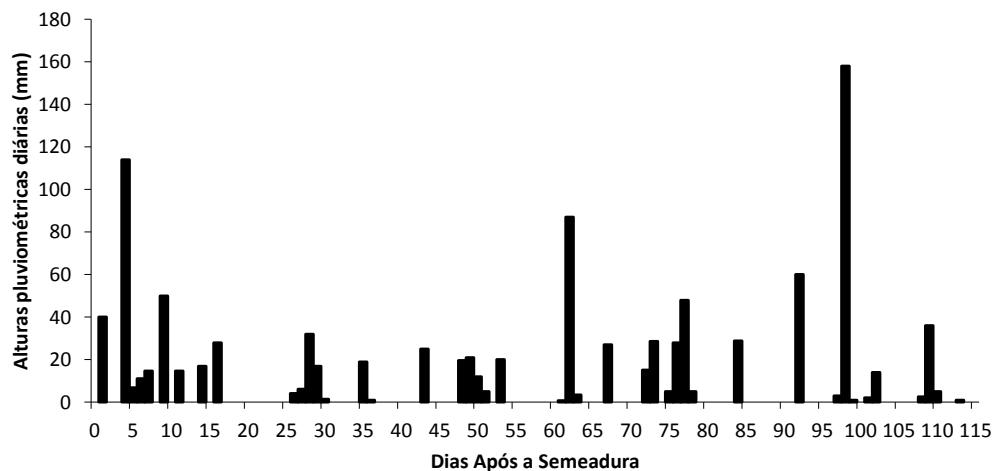


Figura 1: Alturas pluviométricas diárias (mm) ocorridas durante a condução da cultura. Fonte Suderhsa, Estação São Jorge do Ivaí-PR.

### 3.5- Avaliações realizadas durante o desenvolvimento da cultura

#### 3.5.1- Resistência à penetração e umidade do solo

De maneira similar ao levantamento de RP e umidade do solo efetuado na área antes da instalação do ensaio, realizou-se uma nova avaliação destas variáveis, aos 15 DAE da cultura, com a mesma metodologia descrita anteriormente, comparando o solo que sofreu o processo de revolvimento ao solo não subsolado. Nesta avaliação não se comparou a resistência e umidade dentro dos tratamentos, e sim uma avaliação geral comparando o fator solo.

#### 3.5.2- Avaliação visual de sintomas de fitointoxicação

Durante o desenvolvimento da cultura, foram realizadas avaliações visuais de fitointoxicação ocasionada após as aplicações dos herbicidas, aos 7 e 15 DAE e 7 e 15 dias após a aplicação de Glyphosate em pós-emergência .

Nas avaliações visuais foram atribuídas notas a cada unidade experimental que recebeu os herbicidas, conforme a escala EWRC (EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL, 1971), seguindo a classificação da Tabela 3.



Tabela 3: Escala EWRC, nota de fitointoxicação de acordo com os sintomas visuais.

<b>Fito-intoxicação</b>	<b>Síntomas visuais</b>
1	Nenhum dano
2	Pequenas alterações (descoloração e/ou deformação) visíveis em algumas plantas
3	Pequenas alterações (descoloração e/ou deformação) visíveis em muitas plantas
4	Forte descoloração (amarelecimento) ou razoável deformação, sem, contudo, ocorrer necrose (morte de tecido)
5	Necrosamento (queima) de algumas folhas em especial nas margens acompanhadas de deformação em folhas e brotos
6	Mais de 50% das folhas e brotos apresentando necrose/deformação
7	Mais de 80% das folhas e brotos destruídos
8	Danos extremamente graves, sobrando apenas pequenas áreas verdes nas plantas
9	Danos totais (morte das plantas)

### 3.5.3- Análise da fotossíntese e desenvolvimento da cultura

Quando as plantas atingiram o estágio R1 (aos 41 DAE), 15 dias após a aplicação do Glyphosate, foram realizadas avaliações da taxa fotossintética (A) ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), utilizando o equipamento ADC model LCpro+ (Infra Red Gas Analyser, Analytical Development Co. Ltd, Hoddesdon, UK) e teor de clorofila, através do SPAD Minolta (SPAD-502 meter), avaliando o último trifólio expandido (folha diagnóstica), colocando o sensor no mesófilo foliar evitando-se as nervuras (Singh et al., 2002; Pinkard et al., 2006). As avaliações foram realizadas entre 7 e 11h. Cinco leituras foram tomadas por parcela, obtendo assim, as médias para fornecer um valor único da leitura do SPAD.

Nesta mesma data (41 DAE) foram coletadas 5 plantas por parcela, que foram separadas em parte aérea e raiz, embaladas em sacos de papel e secas em estufa de circulação forçada de ar a 65 – 70°C até peso constante, quando foram tomados os pesos da biomassa seca da parte aérea (MSPA), biomassa seca do sistema radicular (MSRA) e total (MSTOTAL), por pesagem em balança de precisão.

### 3.6 - Produtividade e avaliação de umidade de grãos e densidade do solo

Foram realizadas avaliações de desfolha natural da planta aos 105 DAE e 115 DAE, que posteriormente corresponderam ha 10 dias e 1 (um) dia antes do início da colheita (DAIC).

Por ocasião da colheita, iniciada em 03/02/2010, as subsubparcelas foram divididas em 9 subunidades de partes iguais (3 linhas de soja e 3 metros de comprimento) e cada parte foi pesada individualmente afim de se quantificar a correlação entre densidade do solo e produtividade nos diferentes tratamentos.

Em cada parte colhida das subsubparcelas foram retiradas três amostras para determinação da umidade e correção das massas obtidas para 14%. Para o cálculo da umidade dos grãos foi utilizado um valor médio de quatro avaliações de umidade por parcela, utilizando a seguinte fórmula:  $U(\%) = [(MU - MS) / MU] \times 100$ , onde U(%) é a umidade em porcentagem, MU é a massa dos grãos úmidos e MS é a massa dos grãos secos. Considerou-se como ponto ideal de colheita umidades de grãos inferiores a 15,50%. A soja, quando colhida com teor de umidade entre 13% e 15,50%, tem minimizados os problemas de danos mecânicos e perdas na colheita. Sementes colhidas com teor de umidade superior a 15,50% estão sujeitas a maior incidência de danos mecânicos latentes e, quando colhidas com teor abaixo de 12%, estão suscetíveis ao dano mecânico imediato, ou seja, à quebra (EMBRAPA, 2007).

Para análise dos resultados de produtividade comparou-se os efeitos dos tratamentos herbicidas em pré-emergência, solo e herbicida em pós-emergência com a somatória destas 9 amostras.

Ao fim da colheita foi realizada a coleta de solo no centro de cada subunidade (9 por subsubparcela e total de 72 por tratamento em cada solo), realizada cerca de 48 horas após precipitação, utilizando anéis metálicos de  $10^{-4}m^3$  (0,05m de altura e diâmetro). Inicialmente, foi retirada a camada superficial de solo (0-0,10m) e, em seguida, os anéis metálicos foram cravados verticalmente no solo, por meio de um amostrador, por pressão de um macaco hidráulico. Em seguida, as amostras foram secas em estufa a  $\pm 105^{\circ}C$  por 24h e posteriormente, determinada a densidade do solo. Desta forma, cada subsubparcela obteve 9 valores de produtividade e densidade do solo.

### 3.7- Análise estatística

Os dados foram submetidos aos testes de Levene e Shapiro-Wilk com o objetivo de avaliar a variância e a normalidade dos erros, utilizando-se o programa estatístico SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 1997). Ainda, utilizou-se análise de variância e análises por contrastes e regressão quando pertinentes.

As médias das variáveis: Índice SPAD e Taxa fotossintética (A) foram comparadas pelo teste agrupamento Scott-Knott a nível de 5% de probabilidade e para as variáveis-respostas, Massa seca da parte aérea (MSPA), Massa seca do sistema radicular (MSSR), Massa seca total de plantas de soja (MSTOTAL) e produtividade foram realizados contrastes entre testemunha sem herbicida pré-emergente e pós-emergente, no solo subsolado (Testemunha absoluta), *Versus* todos os demais tratamentos (Tabela 4), as médias foram comparadas pela probabilidade de significância para o teste F a nível de 5%, comparando as diferenças entre todos os fatores estudados.

Tabela 4: Descrição dos contrastes realizados entre testemunha sem herbicida pré-emergente e pós-emergente, no solo subsolado (Testemunha absoluta), em relação a todos os demais tratamentos.

<b>Contraste</b>					
<b>Coefficientes <math>\oplus</math></b>			<b>Coefficientes <math>\ominus</math></b>		
$\hat{C}_1$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Testemunha	Sem Glyphosate	Não subsolado
$\hat{C}_2$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Testemunha	Com Glyphosate	Subsolado
$\hat{C}_3$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Testemunha	Com Glyphosate	Não subsolado
$\hat{C}_4$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Diclosulam	Sem Glyphosate	Subsolado
$\hat{C}_5$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Diclosulam	Sem Glyphosate	Não subsolado
$\hat{C}_6$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Diclosulam	Com Glyphosate	Subsolado
$\hat{C}_7$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Diclosulam	Com Glyphosate	Não subsolado
$\hat{C}_8$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Chlorimuron	Sem Glyphosate	Subsolado
$\hat{C}_9$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Chlorimuron	Sem Glyphosate	Não subsolado
$\hat{C}_{10}$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Chlorimuron	Com Glyphosate	Subsolado
$\hat{C}_{11}$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Chlorimuron	Com Glyphosate	Não subsolado
$\hat{C}_{12}$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Imazaquim	Sem Glyphosate	Subsolado
$\hat{C}_{13}$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Imazaquim	Sem Glyphosate	Não subsolado
$\hat{C}_{14}$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Imazaquim	Com Glyphosate	Subsolado
$\hat{C}_{15}$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Imazaquim	Com Glyphosate	Não subsolado
$\hat{C}_{16}$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Flumioxazin	Sem Glyphosate	Subsolado
$\hat{C}_{17}$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Flumioxazin	Sem Glyphosate	Não subsolado
$\hat{C}_{18}$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Flumioxazin	Com Glyphosate	Subsolado
$\hat{C}_{19}$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Flumioxazin	Com Glyphosate	Não subsolado
$\hat{C}_{20}$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Sulfentrazone	Sem Glyphosate	Subsolado
$\hat{C}_{21}$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Sulfentrazone	Sem Glyphosate	Não subsolado
$\hat{C}_{22}$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Sulfentrazone	Com Glyphosate	Subsolado
$\hat{C}_{23}$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Sulfentrazone	Com Glyphosate	Não subsolado
$\hat{C}_{24}$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Metribuzin	Sem Glyphosate	Subsolado
$\hat{C}_{25}$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Metribuzin	Sem Glyphosate	Não subsolado
$\hat{C}_{26}$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Metribuzin	Com Glyphosate	Subsolado
$\hat{C}_{27}$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Metribuzin	Com Glyphosate	Não subsolado
$\hat{C}_{28}$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Trifluralina	Sem Glyphosate	Subsolado
$\hat{C}_{29}$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Trifluralina	Sem Glyphosate	Não subsolado
$\hat{C}_{30}$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Trifluralina	Com Glyphosate	Subsolado
$\hat{C}_{31}$	Testemunha subsolado sem herbicida	vs	Trifluralina	Com Glyphosate	Não subsolado

Por sequência, foi contrastada a testemunha sem herbicidas pré-emergente e pós-emergente, no solo não subsolado, em relação aos diferentes tratamentos no solo não subsolado, (isolando desta forma o fator solo, Tabela 5) as médias foram comparadas pela probabilidade de significância para o teste F a nível de 5%, para a variável-resposta produtividade.

Tabela 5: Contrastes realizados entre testemunha sem herbicidas pré-emergente e pós-emergente, no solo não subsolado, em relação a todos os demais tratamentos não subsolados.

<b>Contraste</b>			
<b>Coefficientes <math>\oplus</math></b>		<b>Coefficientes <math>\ominus</math></b>	
$\hat{C}_1$	Testemunha não subsolado sem herbicida	vs	Testemunha Com Glyphosate Não subsolado
$\hat{C}_2$	Testemunha não subsolado sem herbicida	vs	Diclosulam Sem Glyphosate Não subsolado
$\hat{C}_3$	Testemunha não subsolado sem herbicida	vs	Diclosulam Com Glyphosate Não subsolado
$\hat{C}_4$	Testemunha não subsolado sem herbicida	vs	Chlorimuron Sem Glyphosate Não subsolado
$\hat{C}_5$	Testemunha não subsolado sem herbicida	vs	Chlorimuron Com Glyphosate Não subsolado
$\hat{C}_6$	Testemunha não subsolado sem herbicida	vs	Imazaquim Sem Glyphosate Não subsolado
$\hat{C}_7$	Testemunha não subsolado sem herbicida	vs	Imazaquim Com Glyphosate Não subsolado
$\hat{C}_8$	Testemunha não subsolado sem herbicida	vs	Flumioxazin Sem Glyphosate Não subsolado
$\hat{C}_9$	Testemunha não subsolado sem herbicida	vs	Flumioxazin Com Glyphosate Não subsolado
$\hat{C}_{10}$	Testemunha não subsolado sem herbicida	vs	Sulfentrazone Sem Glyphosate Não subsolado
$\hat{C}_{11}$	Testemunha não subsolado sem herbicida	vs	Sulfentrazone Com Glyphosate Não subsolado
$\hat{C}_{12}$	Testemunha não subsolado sem herbicida	vs	Metribuzin Sem Glyphosate Não subsolado
$\hat{C}_{13}$	Testemunha não subsolado sem herbicida	vs	Metribuzin Com Glyphosate Não subsolado
$\hat{C}_{14}$	Testemunha não subsolado sem herbicida	vs	Trifluralina Sem Glyphosate Não subsolado
$\hat{C}_{15}$	Testemunha não subsolado sem herbicida	vs	Trifluralina Com Glyphosate Não subsolado

Os contrastes seguintes visaram isolar apenas o efeito do herbicida pré-emergente, no solo subsolado (Tabela 6), entre testemunha sem herbicida pré-emergente com a aplicação de Glyphosate em pós-emergência, no solo subsolado, em relação aos diferentes tratamentos com Glyphosate em solo subsolado, e na Tabela 7, o contraste entre testemunha sem herbicida pré-emergente com a aplicação de Glyphosate em pós-emergência, no solo não subsolado, para a variável-resposta produtividade.

Tabela 6: Contrastes realizados entre testemunha sem herbicida pré-emergente com a aplicação de Glyphosate em pós-emergência, no solo subsolado, em relação aos diferentes tratamentos com Glyphosate em solo subsolado.

<b>Contraste</b>					
<b>Coefficientes <math>\oplus</math></b>			<b>Coefficientes <math>\ominus</math></b>		
$\hat{C}_1$	Testemunha com Glyphosate subsolado	vs	Diclosulam	Com Glyphosate	Subsolado
$\hat{C}_2$	Testemunha com Glyphosate subsolado	vs	Chlorimuron	Com Glyphosate	Subsolado
$\hat{C}_3$	Testemunha com Glyphosate subsolado	vs	Imazaquim	Com Glyphosate	Subsolado
$\hat{C}_4$	Testemunha com Glyphosate subsolado	vs	Flumioxazin	Com Glyphosate	Subsolado
$\hat{C}_5$	Testemunha com Glyphosate subsolado	vs	Sulfentrazone	Com Glyphosate	Subsolado
$\hat{C}_6$	Testemunha com Glyphosate subsolado	vs	Metribuzin	Com Glyphosate	Subsolado
$\hat{C}_7$	Testemunha com Glyphosate subsolado	vs	Trifluralin	Com Glyphosate	Subsolado

Tabela 7: Contrastes realizados entre testemunha sem herbicida pré-emergente com a aplicação de Glyphosate em pós-emergência, no solo não subsolado, em relação aos diferentes tratamentos com Glyphosate em solo não subsolado.

<b>Contraste</b>					
<b>Coefficientes <math>\oplus</math></b>			<b>Coefficientes <math>\ominus</math></b>		
$\hat{C}_1$	Testemunha com Glyphosate Não subsolado	vs	Diclosulam	Com Glyphosate	Não Subsolado
$\hat{C}_2$	Testemunha com Glyphosate Não subsolado	vs	Chlorimuron	Com Glyphosate	Não Subsolado
$\hat{C}_3$	Testemunha com Glyphosate Não subsolado	vs	Imazaquim	Com Glyphosate	Não Subsolado
$\hat{C}_4$	Testemunha com Glyphosate Não subsolado	vs	Flumioxazin	Com Glyphosate	Não Subsolado
$\hat{C}_5$	Testemunha com Glyphosate Não subsolado	vs	Sulfentrazone	Com Glyphosate	Não Subsolado
$\hat{C}_6$	Testemunha com Glyphosate Não subsolado	vs	Metribuzin	Com Glyphosate	Não Subsolado
$\hat{C}_7$	Testemunha com Glyphosate Não subsolado	vs	Trifluralin	Com Glyphosate	Não Subsolado

## 4-RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1-Resistência à penetração e umidade do solo

Os resultados referentes ao levantamento preliminar de resistência à penetração (RP), antes da instalação do experimento, encontram-se na Figura 2. Observa-se que na linha “Compac. 0 DAE” há uma forte variação na resistência do solo da profundidade de 5 cm, onde apresentou resistência em torno de 1,0 MPa, para a profundidade de 10 cm, atingindo valores próximos a 3,5 Mpa. Nas camadas subsequentes há um leve decréscimo nos valores de RP. Segundo os resultados obtidos por Merotto & Mundstock (1999), RP maior que 3,5 MPa causa severa limitação ao crescimento de plantas de trigo. Sabe-se que um solo com resistência variando de 1 a 3,5 MPa (MEROTTO & MUNDSTOCK, 1999) pode restringir ou mesmo impedir o crescimento e o desenvolvimento das raízes.

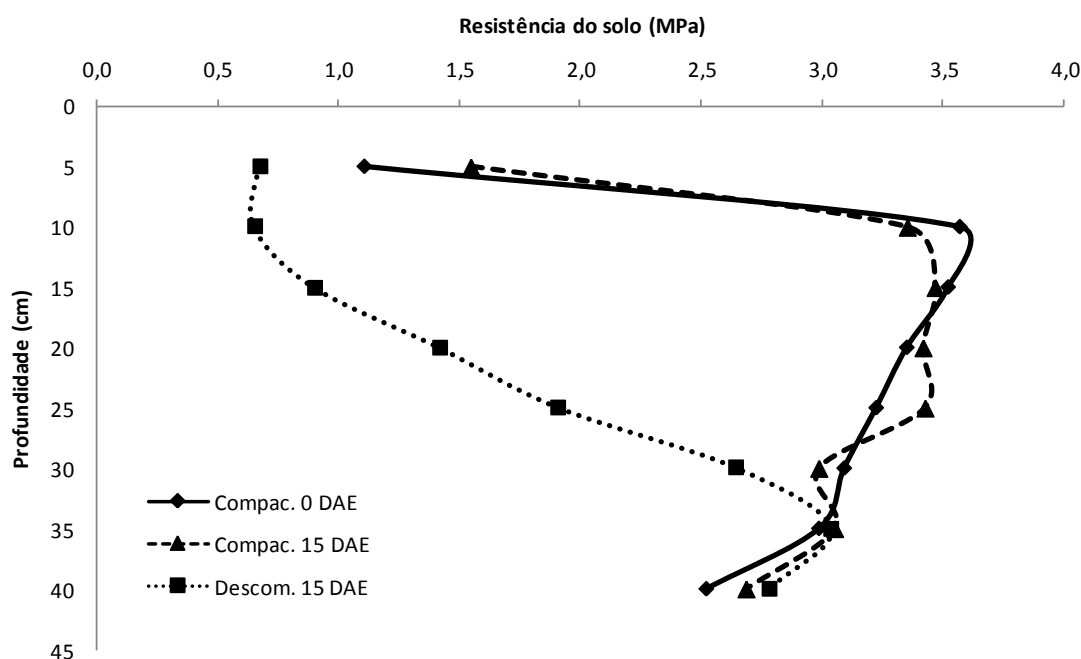


Figura 2: Resistência do solo à penetração em diferentes profundidades. “Compac. 0 DAE” = Resistência do solo da área experimental antes do plantio da cultura; “Compac. 15 DAE” = Resistência do solo não subsolado 15 dias após o plantio da cultura; e “Descom. 15 DAE” = Resistência do solo subsolado 15 dias após o plantio da cultura.

Após a implantação da cultura, mais precisamente aos 15 DAE (Dias após a emergência da cultura), foi realizado o segundo levantamento de resistência do solo à penetração, onde, a linha “compac 15 DAE”, seguiu a mesma tendência da linha “Compac. 0

DAE”, quando na profundidade de 5 cm a RP esteve na faixa de 1,5 MPa, e aos 10cm e profundidades subsequentes próximo a 3,5 MPa até a profundidade de 35 cm, ou seja, a operação de plantio e emergência da cultura não alterou os valores de RP. Valores elevados de resistência à penetração na camada superficial do solo, em plantio direto, também foram observados por Ralisch et al (2008), Tavares Filho et al. (2001) e Stone & Silveira (2001).

Quanto ao solo em que houve o revolvimento, linha “descom. 15 DAE”, a resistência na camada de 5 a 10 cm apresentou valores próximos a 0,5 MPa e leve incremento nas demais profundidades até aos 35 cm quando se igualou ao solo compactado. Tal fato evidencia que o processo de revolvimento do solo foi efetivo e promoveu o rompimento da camada de 10 cm, comparado ao solo compactado que apresentava valores de 3,5 MPa. Estes resultados concordam com os obtidos por Wutke et al. (2000) e Tormena et al. (2002) que indicam o efeito da escarificação na redução da densidade do solo, e ainda, que a profundidade da operação de revolvimento atingiu a camada até os 35 cm quando os valores se igualaram entre os solos.

De Maria et al. (1999); Tavares Filho (1995) e Tavares Filho & Tessier (1998), trabalhando com caracterização de atributos físicos em diferentes sistemas de manejo em Latossolos Roxo, observaram que a resistência do solo foi maior no plantio direto na camada mais superficial (entre 0-0,15 m) do que no sistema convencional, provavelmente por causa do tráfego de maquinário de grande porte utilizado em plantio, tratos culturais e colheita no sistema plantio direto. Abaixo dessa camada superficial, os valores da resistência do solo à penetração nas diferentes estruturas analisadas, nos dois perfis, foram iguais ou superiores ao sistema convencional, em relação aos valores encontrados no sistema de plantio direto (DERPSCH et al., 1991; CENTURION & DEMATTÊ, 1992).

Em relação à umidade do solo pode-se observar, pela Figura 3, que nas duas datas de avaliação realizadas (0 e 15 DAE) para o solo compactado, não houve diferença entre as avaliações, apenas a camada mais superficial (5cm), apresentou os menores valores de umidade (0,17 a 0,19 kg kg<sup>-1</sup>), quando comparada as demais profundidades que obtiveram valores iguais ou superiores a 0,21 kg kg<sup>-1</sup>.

Quanto ao solo descompactado, linha “descom. 15 DAE”, observa-se um acentuado decréscimo nos valores de umidade do solo, das profundidades de 5 a 20 cm, quando aos 5 cm observou-se 0,08 kg kg<sup>-1</sup>, 10 cm 0,11 kg kg<sup>-1</sup>, 15 cm 0,14 kg kg<sup>-1</sup> e 20 cm 0,20 kg kg<sup>-1</sup>. Comparando-se com o solo compactado observa-se que até 15 cm de profundidade, o solo descompactado apresentou menores valores de umidade, provavelmente pelo processo de



revolvimento do solo que promoveu um aumento na quantidade de macroporos, e consequentemente, nestas camadas houve maior evaporação da água, quando comparado ao solo compactado. A partir da profundidade 25 cm não houve diferença entre os solos (compactado e descompactado).

Segundo Ribon et al (2003), a umidade do solo é um variável importante na quantificação da resistência à penetração, pois há elevada dependência dos resultados com relação ao conteúdo de água no solo. Beltrame et al. (1981) verificaram que, para uma variação da umidade do solo, ocorre variação no sentido contrário na resistência do solo à penetração, pois o teor de água intervém modificando a coesão entre as partículas do solo. Tormena (1998), ao analisar a resistência à penetração de um Latossolo Roxo sob plantio direto e convencional, verificou que, quanto menor a umidade volumétrica do solo, maior a resistência, fato este atribuído ao menor efeito lubrificante da água ao redor das partículas em solos com menores valores de umidade.

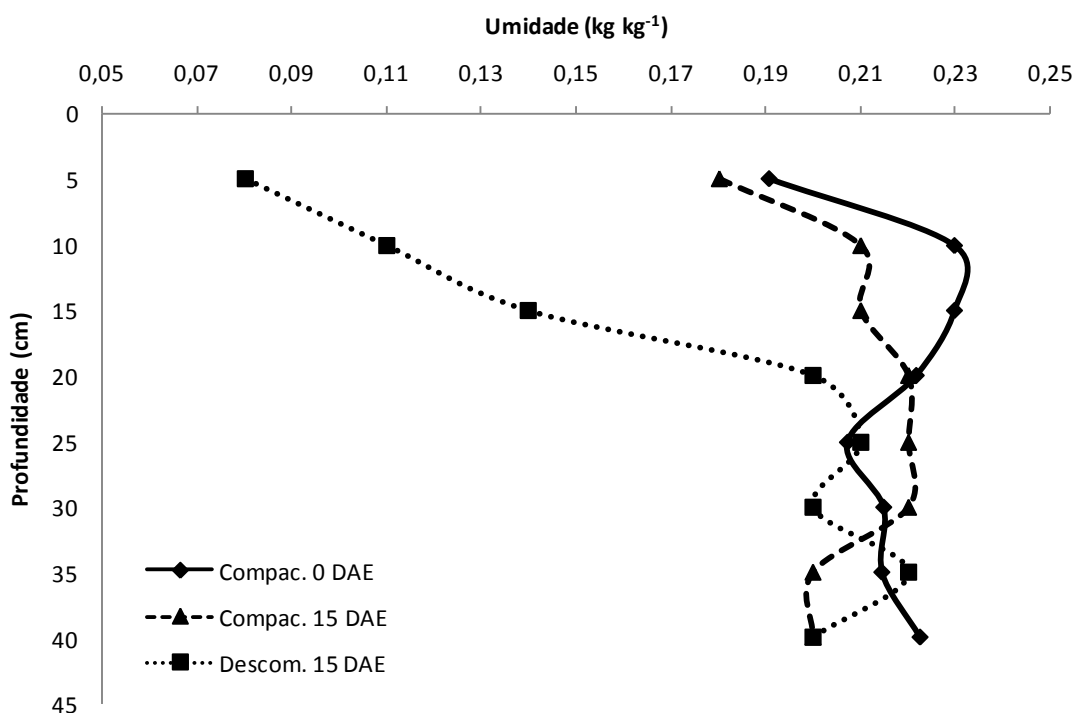


Figura 3: Umidade do solo em diferentes profundidades. “Compac. 0 DAE” = Umidade do solo não subsolado antes do plantio da cultura; “Compac. 15 DAE” = Umidade do solo não subsolado 15 dias após o plantio da cultura; e “Descom. 15 DAE” = Umidade do solo subsolado 15 dias após o plantio da cultura.

## 4.2- Fitointoxicação

Quanto à cultura, os resultados de fitointoxicação em escala EWRC, após a aplicação dos diferentes tratamentos herbicidas, encontram-se na Tabela 8. Aos 7 DAE (Dias após a emergência), antes da aplicação de Glyphosate, verifica-se que os tratamentos com sulfentrazone proporcionaram os maiores valores de fitointoxicação tanto no solo compactado quanto no descompactado. As injúrias observadas foram necrose e encarquilhamento generalizado em mais de 50% da superfície foliar das plantas.

Os sintomas de fitointoxicação do sulfentrazone são originados a partir da inibição da ação da enzima Protox, a última enzima comum tanto à síntese da clorofila como do grupo heme, que inibe a transformação do protoporfirogênio para protoporfirina (DUKE et al., 1991; LEE et al., 1993), ocorrendo a oxidação citossólica do protoporfirogênio, com o consequente acúmulo de protoporfirina. Este composto, em tecidos iluminados e na presença do O<sub>2</sub>, ocasiona a formação de oxigênio *singlet*, o qual agindo como radical livre provoca a peroxidação dos lipídios das membranas celulares em plantas ou tecidos sensíveis, com consequente morte celular (LEE et al., 1993; DAYAN & WEETE, 1996). A clorose é ocasionada pelo bloqueio da síntese de clorofila (DUKE et al., 1991; DAYAN & WEETE, 1996). A injúria na parte aérea das plantas expostas ao sulfentrazone parece ser facilitada pelo rápido transporte e acúmulo do herbicida nas folhas, onde é o seu local de ação, mais especificamente, o envelope do cloroplasto (DUKE et al., 1991; LEE et al., 1993).

Metribuzin promoveu encarquilhamento e amarelecimento das bordas das folhas, independente do tipo de solo estudado. De acordo com Edwards, et al., (1976) existe uma grande diferença entre os cultivares de soja quanto a sensibilidade ao metribuzin. A extrema sensibilidade de algumas cultivares é controlada por um gene recessivo Rps-b hm, enquanto uma marcada tolerância foi associada com a presença do gene Rps1-K Hm. A resposta diferencial de cultivares de soja ao Metribuzin, aparentemente resulta do aumento do metabolismo em cultivares tolerantes, comparado aos cultivares suscetíveis (FALB & SMITH, 1984), neste trabalho especificadamente, apesar dos sintomas já descritos, a cultivar utilizada VMAX RR, mostrou-se bastante tolerante ao Metribuzin.

Tabela 8: Fitointoxicação da cultura avaliada por meio da escala EWRC após a aplicação de diferentes herbicidas pré emergentes.

Herbicidas	Fitointoxicação (EWRC*)			
	Subsolado		Não Subsolado	
	7 DAE <sup>1</sup>	15 DAE	7 DAE	15 DAE
Testemunha	1,0	1,0	1,0	1,0
Diclosulam	2,5	2,0	3,0	3,0
Chlorimuron	2,0	1,5	3,0	1,5
Imazaquin	1,0	1,0	2,0	1,0
Flumioxazin	1,0	1,0	1,0	1,0
Sulfentrazone	6,0	5,0	6,0	5,0
Metribuzin	3,0	2,0	3,0	2,0
Trifluralin	1,0	1,0	1,0	1,0

\* Escala EWRC: 1= ausência de sintomas; 9=morte de plantas;  
1- DAE - Dias após a emergência

Diclosulam e chlorimuron apresentaram encarquilhamento das folhas, e de maneira mais intensa, no solo compactado. Para o Imazaquin, apenas no solo compactado foram observados sintomas leves de injúrias. Apesar de pertencerem a grupos químicos diferentes, apresentam mecanismos de ação semelhantes, que consiste na inibição da enzima acetolactato sintase (ALS), responsável pela síntese dos aminoácidos essenciais valina, leucina e isoleucina (VIDAL, 1997; RODRIGUES & ALMEIDA, 2005). A redução nos níveis de aminoácidos acarreta distúrbios na produção de proteínas, interferindo no crescimento celular, provocando necrose no meristema apical e paralisação do crescimento das plantas (FLECK & VIDAL, 1994). Independente do tipo de solo não foi detectado sintomas de injúrias para Trifluralin e Flumioxazin.

Na avaliação de 15 DAE (Tabela 8), os níveis de fitointoxicação diminuíram, sendo sulfentrazone o herbicida que proporcionou o maior valor, independente do solo, seguido por Diclosulam, que apresentou injúrias de forma mais intensa no solo compactado. Metribuzin e chlorimuron apresentaram sintomas de injúria leves em ambos os tipos de solo avaliados.

Após a aplicação de Glyphosate, a primeira avaliação de fitointoxicação ocorreu aos 7 DAAG (Tabela 9) (Dias após a aplicação de Glyphosate), quando apenas o tratamento com sulfentrazone isolado na pré-emergência, independente do tipo de solo, ainda promovia leves sintomas de injúrias. Todos os tratamentos onde se aplicou Glyphosate em pós-emergência apresentaram sintomas de injúrias, que eram caracterizados por amarelecimento das folhas.

Tabela 9: Fitointoxicação da cultura através da escala EWRC após a aplicação de Glyphosate.

Herbicidas	Fitointoxicação (EWRC*)			
	Subsolado		Não Subsolado	
	7 DAAG <sup>1</sup>	15 DAAG	7 DAAG	15 DAAG
Testemunha	1,0	1,0	1,0	1,0
Testemunha+Glyphosate	2,0	1,5	2,5	1,5
Diclosulam	1,0	1,0	1,0	1,0
Diclosulam+Glyphosate	3,0	1,5	4,0	3,0
Chlorimuron	1,0	1,0	1,0	1,0
Chlorimuron+Glyphosate	3,0	1,5	3,0	2,0
Imazaquin	1,0	1,0	1,0	1,0
Imazaquin+Glyphosate	2,5	2,0	2,5	2,0
Flumioxazin	1,0	1,0	1,0	1,0
Flumioxazin+Glyphosate	2,5	1,5	2,5	2,0
Sulfentrazone	2,0	1,0	2,0	1,0
Sulfentrazone+Glyphosate	3,5	2,5	4,0	3,5
Metribuzin	1,0	1,0	1,0	1,0
Metribuzin+Glyphosate	3,0	2,0	3,0	2,0
Trifluralin	1,0	1,0	1,0	1,0
Trifluralin+Glyphosate	2,0	1,5	2,0	1,5

\* Escala EWRC: 1= ausência de sintomas; 9=morte de plantas;

<sup>1</sup>- DAE - Dias após a emergência

O típico sintoma visual observado no campo após a aplicação do glyphosate na soja RR é conhecido como “yellow flashing” ou amarelecimento das folhas superiores. Algumas variedades de soja RR possuem pequenos sintomas visuais de amarelecimento enquanto outras são extremamente injuriadas pelo glyphosate. EKER et al. (2006) atribuíram a ocorrência de clorose nas folhas jovens ou o amarelecimento das folhas superiores causada pelo glyphosate a um reflexo da inativação fisiológica do Fe e do Mn nestes tecidos, onde ocorre o acúmulo de glyphosate.

Tais sintomas, conhecidos como “yellow flashing” ou amarelecimento das folhas superiores, têm sido atribuídos ao acúmulo do primeiro metabólito fitotóxico do glyphosate, o ácido aminometilfosfônico (AMPA) (REDDY et al., 2004) e tendem a desaparecer dentro das primeiras duas semanas após aplicação do herbicida (REDDY & ZABLOTOWICZ, 2003).

De acordo com Cakmak et al. (2009), o período de ocorrência do “yellow flashing” depende da habilidade das plantas em se recuperar pela absorção adequada pela raiz de elementos específicos que são imobilizados pelo glyphosate no tecido das plantas.

Ainda, no solo descompactado, os tratamentos que na pré-emergência receberam as doses de sulfentrazone, Diclosulam, chlorimuron, metribuzin, imazaquin e flumioxazin e posteriormente glyphosate, em pós-emergência, apresentaram sintomas de injúrias maiores

que os observados para o glyphosate, que não recebeu nenhum tratamento em pré-emergência.

No solo compactado, os tratamentos que receberam Diclosulam, sulfentrazone, metribuzin e chlorimuron na pré-emergência e glyphosate em pós-emergência obtiveram valores maiores de fitointoxicação ao se comparar com a testemunha que recebeu apenas Glyphosate em pós-emergência.

Comparando ambas as condições de solo, no solo compactado há um aumento nos níveis de injúrias nos tratamentos que receberam os herbicidas pré-emergentes Diclosulam, chlorimuron, sulfentrazone associados com glyphosate, em pós-emergência e apenas glyphosate isolado.

Com a compactação do solo, ocorre a redução dos macro e mesoporos, que são responsáveis pela lixiviação e percolação de solutos do solo. Com esta redução dos poros de maior tamanho há um aumento da persistência dos herbicidas, muitas vezes ocasionando toxicidade para as culturas subsequentes à que se utilizou o herbicida. Também pode aumentar a fitotoxicidade do herbicida para a própria cultura, em função da restrição na percolação no solo e conseqüente aumento da concentração disponível para absorção radicular pela cultura (ZOBIOLE et al. 2007).

Oliveira Jr. et al. (2004), observaram que os herbicidas imazaquin+trifluralin, aplicados em diferentes doses em solos compactados, apresentaram maior efeito tóxico à medida que a compactação do solo aumentou. A cultura da soja apresentou menor massa seca da parte aérea e de raízes à medida que se aumentaram a densidade do solo e a dose aplicada desses herbicidas.

Na última avaliação de 15 DAAG (Tabela 9), no solo descompactado, apenas os tratamentos que receberam glyphosate em pós-emergência ainda apresentavam sintomas de injúrias e de maneira mais acentuada nos tratamentos que receberam sulfentrazone, metribuzin e imazaquim em pré-emergência, os quais foram maiores que a testemunha onde foi aplicado apenas glyphosate em pós.

No solo compactado, novamente os tratamentos que receberam a aplicação de glyphosate, eram os únicos que apresentavam injúrias. Com exceção do tratamento que recebeu trifluralin em pré e glyphosate em pós, todos os demais tratamentos herbicidas pré-emergentes que receberam a glyphosate apresentaram nível de fitointoxicação maior do que daqueles observados para a testemunha que recebeu apenas Glyphosate. Comparando-se os

solos, houve aumento nas injúrias no solo compactado para os herbicidas sulfentrazone, Diclosulam, chlorimuron e flumioxazin.

### 4.3 Avaliação do teor de clorofila (Índice SPAD)

Com relação aos resultados de índice SPAD (Tabela 10) para o solo descompactado, antes da aplicação de Glyphosate, verifica-se que os tratamentos com Diclosulam, Chlorimuron e Sulfentrazone foram os que obtiveram os maiores valores. Da mesma maneira, no solo compactado os maiores valores foram observados para Diclosulam e Chlorimuron. Na comparação entre os solos (compactado e descompactado) o Diclosulam no solo compactado apresentou maiores valores.

Tabela 10: Índice SPAD (Clorofila) determinado aos 26 dias após a emergência da cultura e aplicação de diferentes tratamentos herbicidas em pré-emergência em duas condições de solo.

Herbicidas	Solo			
	Spad (clorofila) (26 DAE) <sup>1</sup>			
	Subsolado		Não subsolado	
Testemunha	30,15	Ab*	29,15	Ad
Diclosulam	33,45	Ba	36,65	Aa
Chlorimuron	32,05	Aa	33,90	Ab
Imazaquin	30,80	Ab	30,85	Ac
Flumioxazin	31,75	Ab	32,40	Ac
Sulfentrazone	32,25	Aa	32,65	Ac
Metribuzin	29,95	Ab	29,75	Ad
Trifluralin	30,05	Ab	32,65	Ac
CV %	4,35			

\* Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem a 5% pelo teste de agrupamento Scott-Knott; <sup>1</sup>- 26 Dias após a emergência

Os maiores valores de índice SPAD observados nestes tratamentos foram aqueles que apresentaram os maiores sintomas de injúrias aos 7 DAE, quando a cultura estava no estágio de primeiro par de folhas unifolioladas (V1). Segundo Costa e Marchezan (1982) as plântulas são geneticamente programadas para utilizar as reservas nutricionais dispostas nos cotilédones da semente de 7 a 10 dias após a emergência. Desta maneira, o teor de clorofila nas folhas avaliadas já estava pré-definido, contudo, estes herbicidas promoveram uma diminuição da área foliar e encarquilhamento, ocorrendo um adensamento de clorofila nas folhas.

Na segunda etapa de avaliação (41 DAE), 15 dias após a aplicação de Glyphosate, (Tabela 11) houve uma diminuição no índice SPAD nos tratamentos em que houve a

aplicação de Glyphosate, que prejudicou a integridade das plantas, afetando assim a quantidade de clorofila em suas folhas. Não houve diferença quanto ao tipo de solo nesta avaliação, evidenciando que a queda no índice foi promovida pela ação do Glyphosate.

Tabela 11: Índice SPAD (Clorofila) determinado aos 41 dias após a emergência da cultura e aplicação de diferentes tratamentos herbicidas em pré-emergência em duas condições de solo e 15 dias após aplicação de glyphosate.

Herbicidas	Spad (clorofila) (41 DAE) <sup>1</sup>			
	Solo		Não Subsulado	
	Subsulado			
Testemunha	29,65	Aa*	30,17	Aa
Testemunha+Glyphosate <sup>2</sup>	24,16	Ab	23,75	Ab
Diclosulam	31,02	Aa	31,21	Aa
Diclosulam+Glyphosate	23,17	Ab	22,85	Ab
Chlorimuron	30,18	Aa	30,19	Aa
Chlorimuron+Glyphosate	25,15	Ab	24,15	Ab
Imazaquin	31,05	Aa	29,85	Aa
Imazaquin+Glyphosate	23,14	Ab	23,95	Ab
Flumioxazin	29,35	Aa	29,75	Aa
Flumioxazin+Glyphosate	24,78	Ab	23,78	Ab
Sulfentrazone	30,74	Aa	30,15	Aa
Sulfentrazone+Glyphosate	20,14	Ac	19,43	Ac
Metribuzin	29,83	Aa	29,98	Aa
Metribuzin+Glyphosate	19,85	Ac	18,75	Ac
Trifluralin	30,19	Aa	31,12	Aa
Trifluralin+Glyphosate	25,41	Ab	24,63	Ab
CV %	6,85			

\* Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem a 5% pelo teste de agrupamento Scott-Knott. <sup>1</sup>- 41 Dias após a emergência, 15 dias após a aplicação de Glyphosate 1200 g e. a. ha<sup>-1</sup>; <sup>2</sup>- Glyphosate 1200 g e. a. ha<sup>-1</sup>

Esta diminuição poderia ser pelo dano direto no cloroplasto, pela presença do glyphosate (CAMPBELL et al., 1976; NILSSON, 1985). Os efeitos negativos do glyphosate nos teores de clorofila estão de acordo com os sintomas visuais descritos como “yellow flashing”, por outros autores (KRAUSZ & YOUNG, 2001; REDDY & ZABLOTOWICZ, 2003; ZOBIOLE, 2010).

Kitchen et al. (1981) notaram efeito prejudicial causado pelo glyphosate na síntese de ácido δ-aminolevulinico (ALA), um precursor na biossíntese de clorofila, pois as duas enzimas responsáveis por sua biossíntese, a catalase e a peroxidase são muito sensíveis à deficiência de ferro (MARSH, 1963), que é um dos elementos que pode ser quelado pelo glyphosate. Cloroplastos são danificados pelo glyphosate (CAMPBELL et al., 1976;

PIHAKASKI & PIHAKASKI, 1980) e a função do cloroplasto é sensível à deficiência de manganês (HOMANN, 1967) e zinco (THOMSON & WEIER, 1962), ambos micronutrientes com os quais o glyphosate pode interferir.

#### 4.4 Taxa fotossintética (A)

Em relação à Taxa Fotossintética (A) ( $\text{mmol de CO}_2 \text{ Seg}^{-1}$ ) aos 26 DAE, no solo descompactado (Tabela 12), apenas os tratamentos com Flumioxazin, Metribuzin e Trifluralin foram semelhantes à testemunha sem herbicida. Os demais tratamentos herbicidas afetaram os valores de A, em sequência, Imazaquin, Chlorimuron, Sulfentrazone e Diclosulam. Cabe salientar que Diclosulam, Sulfentrazone e Chlorimuron apresentaram os maiores valores de índice SPAD como descrito anteriormente. Contudo, neste caso não foi indicativo de melhor desenvolvimento da cultura. Esta clorofila possivelmente não esteja na sua forma totalmente ativa, de maneira que estes herbicidas promoveram os menores valores de A.

Resultado semelhante foi verificado no solo compactado, com exceção de Metribuzin, que neste caso também afetou, de maneira significativa, os valores de A. Os herbicidas que mais afetaram A no solo compactado em ordem decrescente foram Imazaquin, Metribuzin, Chlorimuron, Sulfentrazone e Diclosulam.

Tabela 12: Taxa fotossintética (A) determinado aos 26 dias após a emergência da cultura e aplicação de diferentes tratamentos herbicidas em pré-emergência em duas condições de solo.

Herbicidas	Taxa Fotossintética ( $\text{mmol de CO}_2 \text{ S}^{-1}$ )			
	26 DAE <sup>1</sup>			
	Subsolado		Não subsolado	
Testemunha	15,63	A* a	14,93	B a
Diclosulam	11,15	A e	10,15	B f
Chlorimuron	14,10	A c	12,13	B d
Imazaquin	14,79	A b	13,78	B b
Flumioxazin	15,47	A a	14,87	B a
Sulfentrazone	11,79	A d	10,78	B e
Metribuzin	15,26	A a	13,20	B c
Trifluralin	15,72	A a	14,84	B a
CV %	3,53			

\* Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem a 5% pelo teste de agrupamento Scott-Knott.

<sup>1</sup>- 26 Dias após a emergência



A taxa fotossintética está diretamente relacionada à radiação fotossinteticamente ativa, ou seja, ao comprimento de onda de luz de 400 a 700 nanômetros, espectro de radiação que está envolvido na fotossíntese, e indiretamente aos fatores relacionados, às trocas gasosas e disponibilidade hídrica (NAVES-BARBIERO et al., 2000), sendo altamente dependente da abertura estomática. Assim, acredita-se que os herbicidas inibidores do FS II na fotossíntese, como o Metribuzin, podem afetar esses processos.

Os herbicidas Imazaquin, Chlorimuron e Diclosulam, no entanto, por atuar inibindo a enzima acetolactato sintase (ALS), essencial para a biossíntese dos aminoácidos de cadeia ramificada (valina, leucina e isoleucina) (RODRIGUES & ALMEIDA, 2005), pode ter seus danos às plantas avaliados pela sua influência indireta sobre as variáveis associadas à fotossíntese (TAIZ & ZEIGER, 2006).

No caso do Sulfentrazone, o mecanismo de ação deste produto está relacionado com a inibição da enzima protoporfirinogênio oxidase (PPO ou PROTOX), que atua na oxidação de protoporfirinogênio à protoporfirina IX (precursores da clorofila). Com a inibição da enzima, ocorre o acúmulo de protoporfirinogênio, que se difunde para fora do centro reativo, onde acontece uma oxidação não-enzimática da mesma. Cogita-se que a protoporfirina IX produzida pela via não enzimática não sofreria a atuação da Mg-quelatase para transformar-se em Mg-protoporfirina IX, e, ou, que teria uma conformação estrutural diferente daquela produzida pela via normal. Neste caso, ocorreria a interação entre oxigênio e luz para levar o O<sub>2</sub> ao estado singlet, o qual seria responsável, em última instância, pela peroxidação de lipídeos observada nas membranas celulares. Lipídeos e proteínas são atacados e oxidados, resultando em perda da clorofila e carotenóides e rompimento das membranas, o que faz com que as células das organelas sequem e se desintegram rapidamente (OLIVEIRA JR., 2001), afetando desta forma a taxa fotossintética das plantas intoxicadas.

Nesta mesma avaliação (26 DAE) comparando-se os dois tipos de solo, descompactado e compactado, verifica-se que a taxa fotossintética (A) foi significativamente menor no solo compactado, independente do tratamento. Estudos sugerem que condições físicas adversas resultam na emissão de sinais hormonais que são enviados da raiz à parte aérea, com reflexos na taxa fotossintética e, por consequência, no crescimento e desenvolvimento das plantas (DAVIES & ZHANG, 1991). Em termos da qualidade dos solos para o crescimento das plantas, elevados valores de resistência à penetração no plantio direto podem constituir-se em impedimentos para as culturas (TORMENA et al 2004). As razões, de acordo com Passioura (1991) e Tormena et al (2004) decorrem do fato da RP afetar

diretamente o crescimento das raízes e, conseqüentemente, a absorção de água e nutrientes, além de estabelecer mecanismos não-hidráulicos de controle da taxa de condutância estomatal, da fotossíntese, e da produção de fotoassimilados.

Na segunda avaliação aos 41 DAE e 15 dias após a aplicação de Glyphosate (Tabela 13), novamente todos os tratamentos no solo compactado foram inferiores àqueles aplicados no solo descompactado, evidenciando que a compactação do solo atua negativamente sobre a taxa fotossintética da cultura, durante longos períodos, após a implantação da mesma.

Nas duas condições de solo estudado, o único tratamento herbicida isolado que não promoveu decréscimo nos valores de taxa fotossintética, quando comparado às suas respectivas testemunhas, foi Trifluralin. Os demais herbicidas, em diferentes escalas, afetaram de maneira significativa os valores de taxa fotossintética, confirmando que os efeitos dos herbicidas pré-emergentes quando aplicados à cultura da soja, podem se estender por longos períodos, no caso 41 DAE.

Glyphosate, independente do tratamento realizado em pré-emergência e do tipo de solo (compactado ou descompactado), promoveu decréscimo acentuado nos valores de taxa fotossintética e de maneira mais intensa na interação com aqueles herbicidas (Diclosulam, Chlorimuron e Sulfentrazone), que isoladamente causaram os maiores níveis de injúria e diminuição nos valores fotossintéticos, fato ainda mais acentuado no solo compactado.

Tabela 13: Taxa fotossintética (A) determinada aos 41 dias após a emergência da cultura e aplicação de diferentes tratamentos herbicidas em pré-emergência em duas condições de solo e 15 dias após aplicação de glyphosate.

Herbicidas	Taxa Fotossintética (mmol de CO <sub>2</sub> S <sup>-1</sup> ) 41 DAE <sup>1</sup>					
	Solo					
	Subsolado			Não subsolado		
Testemunha	16,49	A*	a	14,81	B	a
Testemunha+Glyphosate <sup>2</sup>	14,13	A	c	12,19	B	d
Diclosulam	13,82	A	c	12,68	B	d
Diclosulam+Glyphosate	12,30	A	e	10,47	B	f
Chlorimuron	13,92	A	c	13,11	B	c
Chlorimuron+Glyphosate	12,89	A	d	11,01	B	f
Imazaquin	15,41	A	b	14,03	B	b
Imazaquin+Glyphosate	13,53	A	c	12,91	B	d
Flumioxazin	14,77	A	b	14,05	B	b
Flumioxazin+Glyphosate	14,11	A	c	12,78	B	c
Sulfentrazone	12,87	A	d	11,80	B	e
Sulfentrazone+Glyphosate	11,90	A	e	10,62	B	f
Metribuzin	15,26	A	b	13,59	B	c
Metribuzin+Glyphosate	13,16	A	d	12,25	B	d
Trifluralin	16,33	A	a	14,87	B	a
Trifluralin+Glyphosate	14,09	A	c	12,59	B	d
<b>CV %</b>						4,49

\* Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem a 5% pelo teste de agrupamento Scott-Knott

<sup>1</sup>- 41 Dias após a emergência, Avaliação 15 dias após a aplicação de Glyphosate 1200 g e. a. ha<sup>-1</sup>. <sup>2</sup>- Glyphosate 1200 g e. a. ha<sup>-1</sup>

Os resultados aqui demonstrados concordam com aqueles obtidos por Zobiolo et al. (2010a) quando relatam que a taxa fotossintética foi reduzida pelo glyphosate, possivelmente pelo direto dano do glyphosate aos cloroplastos ou pela imobilização do Mg e Mn requerido para a formação da clorofila e fotossíntese.

Uma vez que o glyphosate é um forte quelante metálico (KABACHNIK et al., 1974; COUTINHO & MAZO 2005), ele pode imobilizar micronutrientes essenciais requeridos como componentes, cofatores e reguladores de funções fisiológicas, entre eles Fe (BELLALLOUI et al., 2009) e Mn (JOHAL & HUBER, 2009). De acordo com Cakmak et al. (2009) e Zobiolo et al (2010a) o período de ocorrência do “yellow flashing” depende da habilidade das plantas em se recuperar pela absorção adequada pela raiz de elementos específicos que são imobilizados pelo glyphosate no tecido das plantas.

A duração da injúria na soja RR tratada com glyphosate está correlacionada com os níveis de AMPA formados dentro da planta (ZABLOTOWICZ & REDDY, 2007 e ZOBIOLE

et al 2010b). Este primeiro metabólito fitotóxico é tóxico para a soja RR pela redução de clorofila e biomassa da parte aera (REDDY et al., 2004).

A compactação altera o mecanismo de fluxo de massa e difusão responsáveis pelo transporte de nutrientes até as raízes, reduzindo a permeabilidade à água e ar, a absorção de água e nutrientes pelas plantas (WOLFE et al., 1995) além disso, ATWEEL (1990) argumenta que o carbono alocado para a parte aérea é reduzido em condições de altas compactações em virtude da maior necessidade de carboidratos pelas raízes.

Neste sentido, plantas que convivem em solos compactados onde o sistema radicular não se desenvolve perfeitamente e exploram menor quantidade de solo, quando comparadas aquelas com o sistema radicular normal, tendem a demorar mais tempo para desintoxicar do Glyphosate.

#### **4.5- Resultados de massa seca da parte aérea (MSPA) massa seca do sistema radicular (MSRA), e massa seca total (MSTOTAL) de plantas de soja**

Os resultados dos contrastes realizados entre testemunha sem herbicida pré-emergente e pós-emergente, no solo subsolado (Testemunha Absoluta), em relação a todos os demais tratamentos, para as variáveis-respostas massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca do sistema radicular (MSRA) e massa seca total (MSTOTAL) de plantas de soja, aos 41 DAE, encontram-se na Tabela 14.

Tabela 14: Contrastes entre testemunha sem herbicida, **no solo subsolado**, em relação aos diferentes tratamentos, probabilidade para o teste F e Massa seca da parte aérea (MSPA), Massa seca do sistema radicular (MSSR) e Massa seca Total de plantas de soja, aos 41 DAE.

Contraste		MSPA (g)						MSSR (g)				MSTotal (g)				
Coeficientes $\oplus$		Coeficientes $\ominus$		Testem.	Trat.	Pr>F	Dif.	Testem.	Trat.	Pr>F	Dif.	Testem.	Trat.	Pr>F	Dif.*	
Test. Subs. sem herb.	vs	Testemunha	Sem Gly	Não subs	8,01	4,86	0,0061	<b>3,15</b>	1,72	1,24	<0,0001	<b>0,48</b>	9,73	6,10	0,0018	<b>3,63</b>
			Com Gly	Subs	8,01	6,16	0,1038	1,85	1,72	1,29	<0,0001	<b>0,43</b>	9,73	7,45	0,0469	<b>2,28</b>
Test. Subs. sem herb	vs	Diclosulam	Sem Gly	Não subs	8,01	4,48	0,0021	<b>3,53</b>	1,72	1,05	<0,0001	<b>0,67</b>	9,73	5,53	0,0003	<b>4,20</b>
				Subs	8,01	5,02	0,0091	<b>2,99</b>	1,72	1,05	<0,0001	<b>0,67</b>	9,73	6,08	0,0016	<b>3,65</b>
			Com Gly	Não subs	8,01	2,96	<0,0001	<b>5,05</b>	1,72	0,71	<0,0001	<b>1,01</b>	9,73	3,67	<0,0001	<b>6,06</b>
				Subs	8,01	4,71	0,0041	<b>3,30</b>	1,72	0,82	<0,0001	<b>0,90</b>	9,73	5,54	0,0003	<b>4,19</b>
Test. Subs. sem herb	vs	Chlorimuron	Sem Gly	Não subs	8,01	3,10	<0,0001	<b>4,91</b>	1,72	0,69	<0,0001	<b>1,03</b>	9,73	3,80	<0,0001	<b>5,93</b>
				Subs	8,01	5,05	0,0096	<b>2,96</b>	1,72	1,15	<0,0001	<b>0,57</b>	9,73	6,20	0,0023	<b>3,53</b>
			Com Gly	Não subs	8,01	4,40	0,0017	<b>3,61</b>	1,72	0,96	<0,0001	<b>0,76</b>	9,73	5,36	0,0002	<b>4,37</b>
				Subs	8,01	6,18	0,1065	1,83	1,72	0,93	<0,0001	<b>0,79</b>	9,73	7,11	0,0226	<b>2,62</b>
Test. Subs. sem herb	vs	Imazaquim	Sem Gly	Não subs	8,01	3,42	<0,0001	<b>4,59</b>	1,72	0,89	<0,0001	<b>0,83</b>	9,73	4,32	<0,0001	<b>5,41</b>
				Subs	8,01	6,28	0,1281	1,73	1,72	1,33	0,0004	<b>0,39</b>	9,73	7,62	0,0649	2,11
			Com Gly	Não subs	8,01	4,58	0,0028	<b>3,43</b>	1,72	1,09	<0,0001	<b>0,63</b>	9,73	5,67	0,0005	<b>4,06</b>
				Subs	8,01	5,12	0,0115	<b>2,89</b>	1,72	1,10	<0,0001	<b>0,62</b>	9,73	6,22	0,0024	<b>3,51</b>
Test. Subs. sem herb	vs	Flumioxazin	Sem Gly	Não subs	8,01	4,79	0,0050	<b>3,22</b>	1,72	0,93	<0,0001	<b>0,79</b>	9,73	5,72	0,0006	<b>4,01</b>
				Subs	8,01	5,40	0,0222	<b>2,61</b>	1,72	1,41	0,0040	<b>0,31</b>	9,73	6,81	0,0113	<b>2,92</b>
			Com Gly	Não subs	8,01	6,19	0,1084	1,82	1,72	1,27	<0,0001	<b>0,45</b>	9,73	7,45	0,0469	<b>2,28</b>
				Subs	8,01	7,11	0,4264	0,90	1,72	1,27	<0,0001	<b>0,45</b>	9,73	8,38	0,2362	1,35
Test. Subs. sem herb	vs	Sulfentrazone	Sem Gly	Não subs	8,01	5,64	0,0372	<b>2,37</b>	1,72	1,07	<0,0001	<b>0,65</b>	9,73	6,71	0,0088	<b>3,02</b>
				Subs	8,01	6,92	0,3373	1,09	1,72	1,30	<0,0001	<b>0,42</b>	9,73	8,22	0,1855	1,51
			Com Gly	Não subs	8,01	4,87	0,0062	<b>3,14</b>	1,72	1,08	<0,0001	<b>0,64</b>	9,73	5,95	0,0011	<b>3,78</b>
				Subs	8,01	5,17	0,0131	<b>2,84</b>	1,72	0,99	<0,0001	<b>0,73</b>	9,73	6,17	0,0021	<b>3,56</b>
Test. Subs. sem herb	vs	Metribuzin	Sem Gly	Não subs	8,01	6,78	0,2346	1,23	1,72	0,90	<0,0001	<b>0,82</b>	9,73	7,68	0,0622	2,05
				Subs	8,01	6,08	0,0888	1,93	1,72	1,57	0,1578	0,15	9,73	7,65	0,0690	2,08
			Com Gly	Não subs	8,01	3,46	<0,0001	<b>4,55</b>	1,72	1,01	<0,0001	<b>0,71</b>	9,73	4,46	<0,0001	<b>5,27</b>
				Subs	8,01	7,34	0,5539	0,67	1,72	1,10	<0,0001	<b>0,62</b>	9,73	8,44	0,2583	1,29
Test. Subs. sem herb	vs	Trifluralina	Sem Gly	Não subs	8,01	4,02	0,0006	<b>3,99</b>	1,72	0,99	<0,0001	<b>0,73</b>	9,73	5,01	<0,0001	<b>4,72</b>
				Subs	8,01	7,61	0,7269	0,40	1,72	1,58	0,1870	0,14	9,73	9,19	0,6373	0,54
			Com Gly	Não subs	8,01	3,33	<0,0001	<b>4,68</b>	1,72	0,67	<0,0001	<b>1,05</b>	9,73	4,00	<0,0001	<b>5,73</b>
				Subs	8,01	6,52	0,1891	1,49	1,72	1,12	<0,0001	<b>0,60</b>	9,73	7,64	0,0682	2,09
			Não subs	8,01	4,76	0,0047	<b>3,25</b>	1,72	0,64	<0,0001	<b>1,08</b>	9,73	5,40	0,0002	<b>4,33</b>	

\*Dif. (Diferenças) apresentadas em negrito são significativas pelo teste F a 5% de probabilidade.

Em relação a MSPA, aos 41 DAE, verifica-se que vários tratamentos afetaram o desenvolvimento da biomassa aérea das plantas de soja. Comparando-se a testemunha absoluta com os tratamentos realizados no solo não subsolado, o único tratamento a não afetar a MSPA foi sulfentrazone com glyphosate em pós-emergência.

Sulfentrazone nesta condição foi aquele que apresentou os maiores sintomas de injúrias visuais e um dos menores valores de Taxa fotossintética até esta avaliação, contudo, não diferiu da testemunha quanto a MSPA. Tal fato pode estar relacionado a uma possível perda de dominância apical das plantas, promovendo a emissão de estruturas laterais vegetativas (engalhamento) precocemente e conseqüentemente ocorrendo maior acúmulo de MSPA.

No contraste entre testemunha absoluta e testemunha que não recebeu nenhum herbicida em pré ou pós-emergência e não subsolado, o decréscimo de MSPA foi de aproximadamente 40%. Em solos compactados ocorrem mudanças e redução no comprimento do sistema radicular, que podem restringir a absorção de água, nutrientes e difusão de oxigênio, refletindo em um menor acúmulo de MSPA. Neste trabalho, particularmente, o regime de chuvas foi apropriado ao desenvolvimento da cultura, indicando que a menor absorção de nutrientes, e menor difusão de oxigênio foram os fatores que mais contribuíram para a redução de MSPA quando comparada a absorção de água.

O herbicida Diclosulam com e sem glyphosate em pós-emergência no solo não subsolado foi o que apresentou o maior decréscimo de MSPA, em comparação com a testemunha absoluta, em torno de 60 a 70 % de redução.

Alguns tratamentos herbicidas pré-emergentes apresentaram comportamentos distintos quando contrastados com a testemunha absoluta. Chlorimuron não afetou o desenvolvimento da MSPA na condição de solo subsolado com Glyphosate em pós-emergência, em outra situação Imazaquim não afetou a MSPA no solo subsolado sem glyphosate em pós e flumioxazin igualou-se a testemunha absoluta no solo não subsolado sem glyphosate e no solo subsolado com glyphosate.

Metribuzin e trifluralina obtiveram resultados similares, não afetando a MSPA nas condições de solo subsolado, independente da aplicação ou não de glyphosate em pós-emergência, ou seja, para estes dois herbicidas o fator mais preponderante à redução da MSPA tenha sido o maior adensamento do solo não subsolado.

A massa seca do sistema radicular (MSSR), somente não foi afetada em dois tratamentos (Tabela 14), metribuzin e trifluralina no solo descompactado e sem aplicação de

glyphosate em pós-emergência. Trifluralin, na condição de solo não subsolado, independente da aplicação de glyphosate foi o pré-emergente a obter os menores valores de MSSR, reduções em torno de 60%.

Comparando a testemunha absoluta com a condição de solo não subsolado sem a aplicação de herbicidas, o decréscimo de MSSR foi da ordem de 28%, quando aplicado glyphosate em pós. Estes valores atingem 39% de redução e Glyphosate no solo subsolado perda de 25%. Por analogia, o fator solo não subsolado contribuiu para o impedimento do sistema radicular, de maneira similar glyphosate no solo subsolado, e ainda com valores de redução de MSSR próximos (28 e 25%). Quando estes fatores foram estudados em conjunto (sem herbicidas pré com glyphosate no solo não subsolado) há interação entre eles, não na sua totalidade, contudo, fica evidente que em solos adensados com aplicação de glyphosate em pós-emergência a MSSR é ainda mais prejudicada.

Na massa seca total das plantas, com exceção de sulfentrazone no solo não subsolado, houve decréscimo em todos os tratamentos onde o solo não foi subsolado, independente da aplicação de Glyphosate. Os tratamentos que não afetaram a MStotal foram Imazaquin no solo subsolado sem Glyphosate, Flumioxazin no solo subsolado com Glyphosate, Metribuzin e Trifluralin no solo subsolado independente da aplicação de Glyphosate em pós-emergência.

De maneira similar ao ocorrido com a MSSR, ao contrastar os valores de MStotal da testemunha absoluta com o tratamento sem herbicida não subsolado, o decréscimo foi de 38%, ou seja, redução promovida pelo fator solo. Em outra comparação com a testemunha absoluta vs tratamentos sem herbicida pré no solo subsolado com aplicação de glyphosate a MStotal foi reduzida em 25%, indicando esta ser a redução do fator glyphosate em pós emergência. Quando se contrasta testemunha absoluta com o tratamento sem herbicida pré-emergentes no solo não subsolado com a aplicação de glyphosate em pós-emergência (junção dos dois fatores, solo e glyphosate) a redução da MStotal das plantas de soja chegou a 44% indicando novamente que os fatores solo e glyphosate independentes, afetam o desenvolvimento da cultura e na junção destes fatores de maneira mais intensa.

Em condições de compactação do solo, ocorre nas plantas a redução no desenvolvimento do sistema radicular por impedimento mecânico, aeração deficiente e menor taxa de absorção de água e nutrientes, causando decréscimos significativos de produtividade (HAKANSSON & VOORHEES, 1998; FLOWERS & LAL, 1998; BEUTLER & CENTURION, 2003, BEUTLER et al. 2006). Esse decréscimo do crescimento radicular

decorre da incapacidade de as raízes manterem a pressão de turgor suficiente para mover as partículas de solo na zona de elongação radicular (ATWELL, 1990).

Segundo Veen, (1982), ocorre deposição de microfibras de celulose longitudinais nas paredes das células primárias do córtex das raízes, inibindo o crescimento axial e promovendo o crescimento lateral das camadas de células externas do córtex das raízes. Assim, o sistema radicular menos desenvolvido absorve menos água e, conseqüentemente, reduz o potencial de água e a pressão de turgor das raízes, aumentando a produção e concentração de ácido abscísico (ABA). O ABA é enviado à parte aérea das plantas via xilema, atuando como principal mensagem química (MULHOLLAND et al., 1996) que leva a planta a diminuir a condutância estomatal, atividade fotossintética e expansão foliar (DAVIES et al., 1994). Ainda, há maior demanda de carboidratos pelas raízes, resultando em menor alocação de C para a parte aérea (ATWELL, 1990; TUBEILEH et al., 2003) e, conseqüentemente, decréscimo de produtividade da cultura que se desenvolve sob estresse por causa da compactação do solo.

Lipiec et al. (1993) afirmaram que solos compactados promovem alterações morfológicas das raízes, resultando em menor comprimento, distribuição espacial e área superficial por causa do impedimento físico, da menor continuidade, quantidade e diâmetro de poros, resultando, conseqüentemente, em menor volume de solo explorado. Isso reduz a taxa de uso de água pelas raízes, que tem uma correlação linear com o peso de matéria seca da parte aérea das plantas (LIPIEC et al., 1993; LAL, 1996). Além do mais, diminui a eficiência de absorção de nutrientes e a quantidade de nitrogênio fixado pela leguminosa (LINDEMANN et al., 1982; GRATH & HÅKANSSON, 1992).

Reddy et al. (2000) relataram redução de peso seco da parte aérea e raiz na soja RR, utilizando glyphosate a 1.680 g e.a. ha<sup>-1</sup> e King et al. (2001).6.300 g e.a. ha<sup>-1</sup>, de forma similar, Bott et al. (2008) também notaram que doses recomendadas de glyphosate aplicadas na soja RR, diminuiram significativamente a bioamassa e elongação da raiz. Zobiolo et al. (2010b) encontraram que com o aumento da dose aplicada de glyphosate, a biomassa da raiz e parte aérea foram afetadas, provavelmente por efeitos aditivos deletérios na fotossíntese.

Shibles & Weber (1965) concluíram que a produção de biomassa total da soja depende da energia suprida pelo processo fotossintético para sintetizar compostos carbônicos. Com a menor disponibilidade de energia nas plantas tratadas com glyphosate, este carbono não poderá ser assimilado eficientemente (TAIZ & ZEIGER, 1998). Desta forma,



diminuições nos parâmetros fotossintéticos (Tabelas 11 e 13) poderiam explicar a diminuição de MStotal na soja RR tratada com glyphosate (Tabela 14).

Considerando que alguns herbicidas pré-emergentes, compactação do solo e o Glyphosate quando estudados isoladamente possuem potencial de afetar a produção de biomassa das plantas de soja, quando há junção destes fatores, o potencial de injúria tende a se somar, particularmente neste ensaio, a combinação compactação do solo e glyphosate reduziram drasticamente esta variável e ainda, alguns herbicidas pré-emergentes contribuíram para que este parâmetro fosse mais afetado.

Cabe destacar que aos 41 DAE (início do processo reprodutivo R1), as plantas começam a emissão de novos drenos preferenciais (flores e grãos) e uma redução drástica em termos de MStotal. Nesta fase, acarreta menor quantidade de fotoassimilados disponíveis, podendo afetar diretamente a produtividade de grãos da cultura.

#### **4.6- Desfolha e umidade de grãos**

Na tabela 15 estão dispostos os resultados de desfolha natural das plantas de soja, nas duas condições de solo em diferentes tratamentos herbicidas. Na avaliação de 10 dias antes do início da colheita (DAIC), no solo subsolado, os maiores valores de desfolha foram da testemunha absoluta (figura 4), testemunha com glyphosate em pós-emergência, flumioxazim, sulfentrazone, metribuzin (figura 5) e trifluralin todos com e sem aplicação de glyphosate. Resultados inferiores de desfolha foram verificados para imazaquin, chlorimuron (figura 6 e 7) e diclosulan (figura 8) com e sem glyphosate. Nesta avaliação verificou-se um pequeno retardo na desfolha quando há aplicação de glyphosate e na condição de solo não subsolado, no entanto, valores próximos a 5%, em alguns casos.

Tabela 15: Porcentagens de desfolha natural da cultura antes do início da colheita.

Herbicidas	% desfolha da cultura da soja			
	Subsolado		Não Subsolado	
	10 DAIC <sup>1</sup>	1 DAIC	10 DAIC	1 DAIC
Testemunha	70,00	94,50	65,50	92,75
Testemunha+Glyphosate	67,50	92,50	65,00	90,00
Diclosulan	30,00	55,00	25,00	50,00
Diclosulan+Glyphosate	25,00	52,50	25,00	50,00
Chlorimuron	25,00	45,00	25,00	40,00
Chlorimuron +Glyphosate	20,00	45,00	20,00	40,00
Imazaquin	45,00	75,00	45,00	70,00
Imazaquin+Glyphosate	45,00	72,50	45,00	75,00
Flumioxazin	70,00	92,50	70,00	90,00
Flumioxazin+Glyphosate	65,00	90,00	65,00	85,00
Sulfentrazone	80,00	97,50	80,00	95,00
Sulfentrazone+Glyphosate	75,50	97,50	77,50	95,00
Metribuzin	80,00	98,00	80,00	97,50
Metribuzin+Glyphosate	75,00	97,50	75,00	95,00
Trifluralin	65,00	90,00	60,00	90,00
Trifluralin+Glyphosate	60,00	85,00	60,00	87,50

<sup>1</sup>- DIC - Dias antes do início da colheita





Figura 4: Desfolha natural das plantas de soja na testemunha absoluta 10 DAIC.



Figura 5: Desfolha natural das plantas de soja no tratamento com metribuzin, solo subsolado sem glyphosate, 10 DAIC.





Figura 6: Desfolha natural das plantas de soja no tratamento com chlorimuron, solo não subsolado com glyphosate, 10 DAIC.



Figura 7: Detalhes das vagens verdes de soja no tratamento com chlorimuron, solo não subsolado com glyphosate, 10 DAIC.





Figura 8: Desfolha natural das plantas de soja no tratamento com diclosulan, solo não subsolado com glyphosate, 10 DAIC.

Na segunda avaliação (1 DAIC), novamente, os tratamentos com maiores porcentagens de desfolha (acima dos 80%) foram testemunha, flumioxazim, sulfentrazone, metribuzin e trifluralin todos com e sem aplicação de glyphosate, nas duas condições de solo. No tratamento com imazaquin a desfolha esteve entre 70 e 75%, diclosulan próximo a 50 % e chlorimuron de 40 a 45%, com poucas variações quanto à condição de solo, sendo mais reduzida no solo não subsolado.

Quanto à umidade de grãos, os dados encontram-se na tabela 16. Nota-se que independente do tratamento, todos foram colhidos com umidades entre 13 e 20%, algumas datas não possuem valores de umidade devido a soja ainda apresentar-se com vagens verdes ou todos os tratamentos já haviam terminado de serem colhidos.

Tabela 16: Umidade de grãos colhidos em dias após o início da colheita para os diferentes tratamentos herbicidas pré-emergentes com e sem a aplicação de glyphosate em duas condições de solo.

Herbicidas	Umidade dos grãos colhidos % (dias após início colheita)																	
	Solo subsolado									Solo não subsolado								
	1	2	3	4	6*	7	8	9	10	1	2	3	4	6*	7	8	9	10
Testemunha	15,25	14,84	14,25	14,35	14,55	-	-	-	-	-	16,23	15,18	14,75	15,95	15,24	-	-	-
Testemunha+Glyphosate	16,35	15,90	15,53	14,85	15,35	-	-	-	-	-	17,15	16,23	15,84	16,15	15,35	-	-	-
Diclosulan	-	-	-	-	-	18,35	17,23	15,30	14,90	-	-	-	-	-	-	-	19,35	18,15
Diclosulan+Glyphosate	-	-	-	-	-	17,59	17,12	15,68	15,15	-	-	-	-	-	-	-	19,75	18,73
Chlorimuron	-	-	-	-	-	18,25	17,67	16,93	15,95	-	-	-	-	-	-	-	18,45	18,23
Chlorimuron+Glyphosate	-	-	-	-	-	19,15	18,65	18,10	17,50	-	-	-	-	-	-	-	19,24	18,75
Imazaquin	-	-	-	-	17,15	16,25	15,25	14,65	14,19	-	-	-	-	-	19,15	18,54	16,20	15,53
Imazaquin+Glyphosate	-	-	-	-	18,20	17,15	16,45	15,13	14,60	-	-	-	-	-	19,50	18,98	16,95	16,15
Flumioxazin	15,68	14,97	14,55	14,63	14,75	-	-	-	-	-	17,15	15,96	15,35	16,25	15,79	-	-	-
Flumioxazin+Glyphosate	16,15	15,68	15,10	14,54	14,93	-	-	-	-	-	18,25	16,73	16,48	16,34	15,45	-	-	-
Sulfentrazone	15,14	14,85	14,15	14,23	14,10	-	-	-	-	-	15,78	15,23	14,98	15,19	-	-	-	-
Sulfentrazone+Glyphosate	15,89	14,73	14,02	14,19	13,90	-	-	-	-	-	15,93	15,74	14,93	15,90	-	-	-	-
Metribuzin	14,75	14,23	13,45	13,75	14,15	-	-	-	-	-	15,79	15,02	14,53	15,15	-	-	-	-
Metribuzin+Glyphosate	15,03	14,35	13,60	13,68	14,43	-	-	-	-	-	15,15	14,94	14,15	15,63	-	-	-	-
Trifluralin	15,75	14,86	14,24	13,93	14,45	-	-	-	-	-	16,25	15,38	15,03	16,15	14,95	-	-	-
Trifluralin+Glyphosate	16,54	15,65	15,19	14,93	15,25	-	-	-	-	-	17,20	16,74	15,35	17,10	15,84	-	-	-

\* No 5º dia não houve colheita (chuva)

Comparando as duas condições de solo, observa-se que não houve colheita no solo não subsolado no primeiro dia e nos dias subsequentes. A umidade de grãos sempre foi maior que a do solo subsolado, independente do tratamento avaliado, a diferença de umidade esteve próxima a 2%.

Na testemunha absoluta desde o início da colheita ao seu término (6 dias) as umidades estiveram entre 15,50 e 14,00%, um pouco abaixo daquela verificada para o tratamento com glyphosate, na mesma condição de solo.

Nos tratamentos com flumioxazin, metribuzin, sulfentrazone e trifluralin os valores de umidade estiveram próximos aos observados para a testemunha na mesma condição de solo que não recebeu nenhum pré-emergente. Houve ainda, na maioria dos casos, leve acréscimo na umidade, com a aplicação de glyphosate.

Imazaquin no solo subsolado teve o início de sua colheita no dia 6 e no solo não subsolado, no dia 7. Diclosulan e Chlorimuron foram colhidas no solo subsolado aos 7 dias e no não subsolado o atraso foi maior, 9 dias, ainda sim, com umidades superiores a 18,00%.

De posse dos valores de umidade, foi determinado quando possível, a quantidade de dias que cada um dos tratamentos demorou a atingir 15,50% de umidade (tabela 17). Tomou-se este valor como referência, pois, segundo a Embrapa – Soja (2007) é abaixo deste índice que as empresas de armazenagem aceitam o recebimento, e ainda, umidades superiores promovem o amassamento e perdas de grãos.

No solo subsolado os tratamentos que atingiram valores de umidade abaixo de 15,50%, no primeiro dia de colheita, foram testemunha absoluta, metribuzin com e sem glyphosate e sulfentrazone com glyphosate. Sulfentrazone, trifluralin e flumioxazin sem glyphosate atingiram umidade abaixo de 15,50%, um dia após o início e flumioxazin e trifluralin levaram 2 dias. No comparativo de testemunha com e sem glyphosate o atraso em relação à umidade foi da ordem de 3 dias.

Ainda, no solo subsolado diclosulan e imazaquin com e sem aplicação de glyphosate em pós-emergência obtiveram um retardamento superior a 7 dias e chlorimuron com e sem glyphosate em pós emergência, não atingiu umidade inferior a 15,50 em nenhum dos dias de colheita, ou seja, um atraso de mais de 10 dias.

No comparativo entre solos, todos os tratamentos não subsolados demoram mais a atingir a umidade de referência (15,50%). Entre as testemunhas sem aplicação de herbicidas a diferença foi de dois dias e entre testemunha absoluta com glyphosate em solo não subsolado, o atraso chega a 6 dias.

No solo não subsolado, os tratamentos flumioxazin, sulfentrazone, metribuzin e trifluralin sem glyphosate e sulfentrazone, metribuzin e trifluralin com glyphosate obtiveram valores de umidade de referência próximos a sua testemunha (dois dias). Flumioxazin com glyphosate em pós atingiu 6 dias de atraso do início da colheita, igualando à testemunha que recebeu glyphosate, ambos no solo não subsolado.

Novamente os tratamentos herbicidas que promoveram os maiores atrasos foram diclosulan, chlorimuron e imazaquin com e sem aplicação de glyphosate em pós-emergência. Nestes herbicidas em nenhuma data de colheita atingiram umidade inferior a 15,50%.

Krausz & Young (2001) também constataram que a aplicação de herbicidas inibidores da PROTOX não afetou o ciclo da cultura, contudo os herbicidas imazethapyr e imazanox atrasaram a maturidade fisiológica da soja em 3 e 4 dias respectivamente, quando comparados a testemunha capinada sem a aplicação de herbicidas.

Sabendo-se que a prática do cultivo do milho em sucessão à soja é realizada pela maioria dos produtores do oeste e norte do Paraná, assim como no Centro-Oeste. Um atraso no ciclo da soja pode causar efeitos de redução na produtividade do milho, o expondo a fatores de maior risco como geadas, e ainda perdendo dias considerados de maior luminosidade e temperatura (meses de janeiro e fevereiro) benéficos ao desenvolvimento da cultura.



Tabela 17: Números de dias a partir do início da colheita necessários para a umidade de grãos atingirem porcentagens menores que 15,50%.

Herbicidas	N° de dias do início da colheita para os grãos atingirem umidade <15,50%	
	Subsolado	Não Subsolado
Testemunha	0	2
Testemunha+Glyphosate	3	6
Diclosulan	8	Não atingiu
Diclosulan+Glyphosate	9	Não atingiu
Chlorimuron	Não atingiu	Não atingiu
Chlorimuron+Glyphosate	Não atingiu	Não atingiu
Imazaquin	7	Não atingiu
Imazaquin+Glyphosate	8	Não atingiu
Flumioxazin	1	3
Flumioxazin+Glyphosate	2	6
Sulfentrazone	1	2
Sulfentrazone+Glyphosate	0	3
Metribuzin	0	1
Metribuzin+Glyphosate	0	2
Trifluralin	1	2
Trifluralin+Glyphosate	2	3

#### 4.7- Produtividade da cultura

Os dados foram submetidos a duas formas de análise, primeiramente, levando em consideração que as duas condições de solo estavam homogêneas, tanto o solo subsolado quanto o não subsolado, ou seja, um experimento de blocos completos ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas (três fatores), com oito repetições, analisados por contrastes.

Em uma segunda etapa, os dados de produtividade foram relacionados com os valores de densidade do solo, dentro de cada subunidade, nas oito repetições, totalizando para cada tratamento herbicida com e sem a aplicação de Glyphosate 72 pontos amostrais. Estes dados foram analisados por regressões.

##### 4.6.1-Análise da produtividade por contrastes

Nos primeiros contrastes realizados, objetivou-se comparar o tratamento subsolado sem aplicação de nenhum herbicida em pré ou pós-emergência, (testemunha absoluta) com

todos os demais tratamentos estudados e o resultado destes contrastes, no que se refere à produtividade de grãos estão expressos na Tabela 18.

Os únicos tratamentos que não diferiram a 5% de probabilidade em produtividade de grãos da testemunha absoluta foram imazaquin, flumioxazin, metribuzin e trifluralin. Todos estes aplicados no solo subsolado e sem aplicação de glyphosate em pós-emergência.

No contraste entre os tipos de condição de solo (testemunha absoluta vs testemunha sem herbicida no solo não subsolado) a redução de produtividade observada foi de 169,6 kg ha<sup>-1</sup>, aproximadamente 4%, indicando que o adensamento do solo provoca efeitos deletérios na produtividade de grãos.

Bertol & Fischer (1997), em um Latossolo roxo distrófico verificaram que o preparo do solo por meio de um escarificador com rolo destorroador proporcionou maior rendimento de grãos de soja em relação aos demais tratamentos, incluindo o sistema plantio direto.

Em Cruz Alta (RS), Secco (1994), avaliando o desempenho operacional de escarificadores em Latossolo Vermelho distrófico, em sistema de plantio direto, constatou que a produtividade da cultura do milho foi superior no tratamento com escarificação, em relação ao tratamento que permaneceu em sistema de plantio direto.

Tabela 18: Contrastes entre testemunha sem herbicida pré-emergente e pós-emergente, **no solo subsolado**, em relação aos diferentes tratamentos, probabilidade de significância para o teste F e diferença de produtividade da variável-resposta produtividade.

Contraste		Produtividade de grãos Kg ha <sup>-1</sup>					
Coeficientes ⊕		Coeficientes ⊖		Testem.	Trat.	Pr>F	Dif. Prod*
Testemunha subsolado sem herbicida	vs Testemunha	Sem Glyphosate	Não subsolado	4316,9	4147,3	0,0171	<b>169,6</b>
		Com Glyphosate	Subsolado	4316,9	4046,8	0,0003	<b>270,1</b>
Testemunha subsolado sem herbicida	vs Diclosulam	Sem Glyphosate	Subsolado	4316,9	4034,6	0,0002	<b>282,3</b>
			Não subsolado	4316,9	3815,7	<0,0001	<b>501,2</b>
		Com Glyphosate	Subsolado	4316,9	3963,3	<0,0001	<b>353,6</b>
			Não subsolado	4316,9	3668,5	<0,0001	<b>648,4</b>
Testemunha subsolado sem herbicida	vs Chlorimuron	Sem Glyphosate	Subsolado	4316,9	4033,8	0,0002	<b>283,1</b>
			Não subsolado	4316,9	3886,8	<0,0001	<b>430,1</b>
		Com Glyphosate	Subsolado	4316,9	3937,8	<0,0001	<b>379,1</b>
			Não subsolado	4316,9	3764,3	<0,0001	<b>552,6</b>
Testemunha subsolado sem herbicida	vs Imazaquim	Sem Glyphosate	Subsolado	4316,9	4217,1	0,1277	99,8
			Não subsolado	4316,9	4094,2	0,0025	<b>222,7</b>
		Com Glyphosate	Subsolado	4316,9	3968,5	<0,0001	<b>348,4</b>
			Não subsolado	4316,9	3934,4	<0,0001	<b>382,5</b>
Testemunha subsolado sem herbicida	vs Flumioxazin	Sem Glyphosate	Subsolado	4316,9	4240,8	0,2196	76,1
			Não subsolado	4316,9	4109,3	0,0045	<b>207,6</b>
		Com Glyphosate	Subsolado	4316,9	4038,1	0,0002	<b>278,8</b>
			Não subsolado	4316,9	3865,6	<0,0001	<b>451,3</b>
Testemunha subsolado sem herbicida	vs Sulfentrazone	Sem Glyphosate	Subsolado	4316,9	4005,6	<0,0001	<b>311,3</b>
			Não subsolado	4316,9	3913,1	<0,0001	<b>403,8</b>
		Com Glyphosate	Subsolado	4316,9	3906,3	<0,0001	<b>410,6</b>
			Não subsolado	4316,9	3613,4	<0,0001	<b>703,5</b>
Testemunha subsolado sem herbicida	vs Metribuzin	Sem Glyphosate	Subsolado	4316,9	4225,5	0,1562	91,4
			Não subsolado	4316,9	3903,6	<0,0001	<b>413,3</b>
		Com Glyphosate	Subsolado	4316,9	4078,4	0,0013	<b>238,5</b>
			Não subsolado	4316,9	3860,4	<0,0001	<b>456,5</b>
Testemunha subsolado sem herbicida	vs Trifluralina	Sem Glyphosate	Subsolado	4316,9	4290,5	0,5408	26,4
			Não subsolado	4316,9	4102,1	0,0034	<b>214,8</b>
		Com Glyphosate	Subsolado	4316,9	3979,8	<0,0001	<b>337,1</b>
			Não subsolado	4316,9	3933,1	<0,0001	<b>383,8</b>

\*Dif. Prod. (Diferenças de produtividade) apresentadas em negrito são significativas pelo teste F a 5% de probabilidade.

Independente do herbicida pré-emergente aplicado e da condição de solo estudada (subsolado e não subsolado), todos os tratamentos que receberam glyphosate em pós-emergência foram inferiores a testemunha absoluta, contudo, as maiores diferenças de produtividades aconteceram nos tratamentos onde o solo não foi subsolado.

No fator aplicação de Glyphosate (testemunha absoluta vs testemunha sem herbicida pré-emergente no solo subsolado com glyphosate) a queda na produtividade foi de 270,1 kg ha<sup>-1</sup>, o que corresponde a redução de 6,5%, ou seja, maior que aquela observada para o fator solo.

As respostas fisiológicas de variedades de soja às aplicações de glyphosate podem variar em função de fatores como localização geográfica, condições ambientais, tipos de solo, população de rizóbios, variedades, época de aplicação e dose (ZABLOTOWICZ & REDDY, 2004).

Oliveira Jr. et al. (2008) estudaram a influência de diversas modalidades de aplicação de glyphosate sobre a nodulação e o crescimento de 20 cultivares brasileiras de soja RR e concluíram que todas as doses e modalidades de aplicação de glyphosate causaram reduções nos valores, em todas as variáveis avaliadas. A maior redução ocorreu no número de nódulos, massa seca de nódulos, massa seca do sistema radicular e parte aérea, respectivamente. Os autores concluíram ainda, que efeitos do glyphosate sobre a soja RR dependem de fatores como variedade, época de maturação, época de aplicação e dose.

Um dos efeitos prejudiciais da aplicação de glyphosate é a redução na quantidade e massa de nódulos, implicando diretamente na disponibilidade de nitrogênio assimilado à planta (OLIVEIRA JR et al., 2008), podendo ser atribuído ao glyphosate: (1) inabilidade das plantas em sintetizar aminoácidos aromáticos, visto que a EPSP sintase está inibida; 2) um dreno de energia resultante de ATP e fosfoenolpiruvato gastos no acúmulo de ácido shiquímico, ácido heptulossômico-7-fosfato-3- desoxiarabinose e ácidos hidroxibenzóicos; e 3) toxicidade dos intermediários da via do ácido shiquímico, acumulados pela inibição da EPSP sintase (BELLALLOUI et al., 2006).

Segundo Zobiolo et al (2010c) há evidências claras de que, em função das suas características químicas únicas, o glyphosate representa uma série de interações com importantes cátions metálicos como Fe<sup>+2</sup>, Zn<sup>+2</sup>, Mn<sup>+2</sup> e Cu<sup>+2</sup>. Tais cátions estão envolvidos em processos metabólicos importantes, os quais podem ser afetados indiretamente pela presença do glyphosate, ainda segundo o autor, o glyphosate reduziu significativamente os teores

foliares de macro e micronutrientes das cultivares de soja em dois tipos de solo (Latosolo Vermelho nitossólico e Latossolo Vermelho distrófico).

De acordo com Eker et al. (2006), após a absorção do glyphosate dentro da planta, a absorção e o transporte de micronutrientes catiônicos pode ser inibida pela formação de complexos poucos solúveis entre glyphosate-metal dentro do tecido da planta.

Ao analisar os dois fatores em conjunto (testemunha absoluta *vs* testemunha sem herbicida pré-emergente no solo não subsolado com glyphosate), houve efeito somatório entre ambos, levando a uma redução de aproximadamente 11%, contudo não havendo sinergismo entre os fatores na queda de produtividade de grãos.

O efeito somatório de glyphosate e compactação do solo na produtividade podem estar relacionados diretamente a uma menor quantidade de nutrientes absorvidos pelas plantas devido à redução do sistema radicular e ainda pelo efeito de complexação de nutrientes pelo Glyphosate. Com menor quantidade de nutrientes disponíveis aos processos metabólicos, houve redução direta nos parâmetros fotossintéticos, promovendo redução no desenvolvimento da parte aérea culminado na redução de produtividade.

Os herbicidas pré-emergentes Diclosulam, chlorimuron e sulfentrazone analisados em contraste com a testemunha absoluta foram inferiores em produtividade, independente da condição de solo e aplicação de glyphosate. Contudo para estes herbicidas a maior perda ocorre quando aplicados em condições de solo não subsolado e complementados com glyphosate em pós-emergência.

Imazaquin, Flumioxazin, metribuzin e Trifluralin foram inferiores à testemunha absoluta, no solo não subsolado e nos tratamentos que receberam a aplicação de glyphosate em pós-emergência, em ambos os solos. Para estes quatro herbicidas, novamente, as maiores reduções de produtividade foram obtidas no solo não subsolado com aplicação de glyphosate em pós-emergência.

Em uma segunda etapa, os dados de produtividade foram comparados somente na condição de solo não subsolado, desta maneira, procurou-se analisar separadamente os efeitos dos pré-emergentes com e sem aplicação de Glyphosate. Para isso, o tratamento que será contrastado como sendo a testemunha é aquele que não recebeu nenhum tratamento herbicida em pré-emergência ou pós-emergência, porém, que recebeu os efeitos do adensamento do solo (testemunha sem herbicida no solo não subsolado). Estes dados estão dispostos na Tabela 19.

Tabela 19: Contrastes entre testemunha sem herbicida pré-emergente e pós-emergente, **no solo não subsolado**, em relação aos diferentes tratamentos, probabilidade de significância para o teste F e diferença de produtividade da variável-resposta produtividade.

Contraste				Produtividade de grãos Kg ha <sup>-1</sup>				
Coeficientes ⊕		Coeficientes ⊖		Testem.	Trat.	Pr>F	Dif. Prod*	
Testemunha não subsolado sem herbicida	vs	Testemunha	Com Glyphosate	Não subsolado	4147,3	3841,5	0,0002	<b>305,8</b>
			Sem Glyphosate	Não subsolado	4147,3	3815,7	<0,0001	<b>331,6</b>
Testemunha não subsolado sem herbicida	vs	Diclosulam	Com Glyphosate	Não subsolado	4147,3	3668,5	<0,0001	<b>478,8</b>
			Sem Glyphosate	Não subsolado	4147,3	3886,8	0,0014	<b>260,5</b>
Testemunha não subsolado sem herbicida	vs	Chlorimuron	Com Glyphosate	Não subsolado	4147,3	3764,3	<0,0001	<b>383,0</b>
			Sem Glyphosate	Não subsolado	4147,3	4094,2	0,5104	53,1
Testemunha não subsolado sem herbicida	vs	Imazaquim	Com Glyphosate	Não subsolado	4147,3	3934,4	0,0087	<b>212,9</b>
			Sem Glyphosate	Não subsolado	4147,3	4109,3	0,6395	38,0
Testemunha não subsolado sem herbicida	vs	Flumioxazin	Com Glyphosate	Não subsolado	4147,3	3865,6	0,0006	<b>281,7</b>
			Sem Glyphosate	Não subsolado	4147,3	3913,1	0,0039	<b>234,2</b>
Testemunha não subsolado sem herbicida	vs	Sulfentrazone	Com Glyphosate	Não subsolado	4147,3	3613,4	<0,0001	<b>533,9</b>
			Sem Glyphosate	Não subsolado	4147,3	3903,6	0,0034	<b>243,7</b>
Testemunha não subsolado sem herbicida	vs	Metribuzin	Com Glyphosate	Não subsolado	4147,3	3860,4	0,0004	<b>286,9</b>
			Sem Glyphosate	Não subsolado	4147,3	4102,1	0,5774	45,2
Testemunha não subsolado sem herbicida	vs	Trifluralina	Com Glyphosate	Não subsolado	4147,3	3933,1	0,0082	<b>214,2</b>

\*Dif. Prod. (Diferenças de produtividade) apresentadas em negrito são significativas pelo teste F a 5% de probabilidade.

No primeiro contraste entre a testemunha com e sem Glyphosate, observa-se uma redução de produtividade de 305,8 kg ha<sup>-1</sup>, aproximadamente 11%, ou seja, além do efeito negativo da compactação do solo na produtividade de grãos, ao aplicar glyphosate em pós-emergência a um efeito potencializador nas perdas. Os demais tratamentos herbicidas pré-emergentes que receberam aplicação de Glyphosate em pós-emergência quando comparados à testemunha não subsolado, também foram inferiores, com maiores decréscimos para sulfentrazone e Diclosulam.

Imazaquin, Flumioxazin e trifluralina sem aplicações de glyphosate em pós-emergência, não diferiram em termos de produtividade em relação à testemunha não subsolado. Tal fato indica que as diferenças de produtividade observadas a estes tratamentos quando comparados anteriormente à testemunha absoluta, estejam mais correlacionadas ao efeito da compactação do solo, de que propriamente ao efeito destes pré-emergentes na produtividade da soja.

Em outra situação, buscou a separação ainda maior dos fatores estudados na produtividade da cultura. Na tabela 20, estão as diferenças de contrastes quando há o isolamento dos fatores solo, no caso subsolado, e o fator Glyphosate. A comparação ocorre entre a testemunha (sem aplicação de pré-emergente) no solo subsolado com aplicação de glyphosate em pós-emergência, com os tratamentos pré-emergentes que também foram alocados no solo subsolado com a aplicação de glyphosate, ou seja, o fator isolado estudado são os herbicidas pré-emergentes. Nesta condição, nenhum tratamento herbicida pré-emergente afetou a produtividade. Todos não diferiram ao serem contrastados com a testemunha subsolado com glyphosate, evidenciando que os herbicidas pré-emergentes não potencializaram as perdas da cultura.

De maneira similar, na Tabela 21 estão as diferenças de contrastes quando há o isolamento do fator solo, não subsolado e o fator Glyphosate. A comparação ocorre entre a testemunha no solo não subsolado com aplicação de glyphosate em pós-emergência, com os tratamentos pré-emergentes que também foram alocados no solo não subsolado com a aplicação de glyphosate.

Tabela 20: Contrastes entre testemunha sem herbicida pré-emergente **com a aplicação de Glyphosate** em pós-emergência, **no solo subsolado**, em relação aos diferentes tratamentos, probabilidade de significância para o teste F e diferença de produtividade da variável-resposta produtividade.

Contraste				Produtividade Kg ha <sup>-1</sup>			
Coeficientes ⊕		Coeficientes ⊖		Testem.	Trat.	Pr>F	Dif. Prod*
Testemunha com Glyphosate subsolado	vs	Diclosulam	Com Glyphosate Subsolado	4046,8	3963,3	0,3019	83,5
Testemunha com Glyphosate subsolado	vs	Chlorimuron	Com Glyphosate Subsolado	4046,8	3937,8	0,1780	109
Testemunha com Glyphosate subsolado	vs	Imazaquim	Com Glyphosate Subsolado	4046,8	3968,5	0,3334	78,3
Testemunha com Glyphosate subsolado	vs	Flumioxazin	Com Glyphosate Subsolado	4046,8	4038,1	0,9194	8,7
Testemunha com Glyphosate subsolado	vs	Sulfentrazone	Com Glyphosate Subsolado	4046,8	3906,3	0,0823	140,5
Testemunha com Glyphosate subsolado	vs	Metribuzin	Com Glyphosate Subsolado	4046,8	4078,4	0,6891	-31,6
Testemunha com Glyphosate subsolado	vs	Trifluralin	Com Glyphosate Subsolado	4046,8	3979,8	0,4088	67

\*Dif. Prod. (Diferenças de produtividade) apresentadas em negrito são significativas pelo teste F a 5% de probabilidade.

Tabela 21: Contrastes entre testemunha sem herbicida pré-emergente **com a aplicação de Glyphosate** em pós-emergência, **no solo não subsolado**, em relação aos diferentes tratamentos, probabilidade de significância para o teste F e diferença de produtividade da variável-resposta produtividade.

Contraste				Produtividade Kg ha <sup>-1</sup>			
Coeficientes ⊕		Coeficientes ⊖		Testem.	Trat.	Pr>F	Dif. Prod*
Testemunha com Glyphosate não subsolado	vs	Diclosulam	Com Glyphosate Não Subsolado	3841,5	3668,5	0,0328	<b>173,0</b>
Testemunha com Glyphosate não subsolado	vs	Chlorimuron	Com Glyphosate Não Subsolado	3841,5	3764,3	0,3412	77,2
Testemunha com Glyphosate não subsolado	vs	Imazaquim	Com Glyphosate Não Subsolado	3841,5	3934,4	0,2443	-92,9
Testemunha com Glyphosate não subsolado	vs	Flumioxazin	Com Glyphosate Não Subsolado	3841,5	3865,6	0,7567	-24,1
Testemunha com Glyphosate não subsolado	vs	Sulfentrazone	Com Glyphosate Não Subsolado	3841,5	3613,4	0,0050	<b>228,1</b>
Testemunha com Glyphosate não subsolado	vs	Metribuzin	Com Glyphosate Não Subsolado	3841,5	3860,4	0,8069	-18,9
Testemunha com Glyphosate não subsolado	vs	Trifluralin	Com Glyphosate Não Subsolado	3841,5	3933,1	0,2513	-91,6

\*Dif. Prod. (Diferenças de produtividade) apresentadas em negrito são significativas



No comparativo do solo não subsolado, Diclosulam e sulfentrazone foram inferiores em termo de produtividade, ao serem comparados com a testemunha em questão. Ressalta-se que neste caso, a queda observada é diretamente efeito destes dois herbicidas pré-emergentes, pois diferem desta testemunha que é influenciada pelos mesmos fatores (solo e glyphosate).

#### **4.6.1-Análise da produtividade por regressões**

No solo subsolado, a densidade do solo (DS) obteve uma variação de  $1,00 \text{ kg dm}^{-3}$  a  $1,30 \text{ kg dm}^{-3}$  e no solo não subsolado de  $1,12 \text{ kg dm}^{-3}$  a  $1,45 \text{ kg dm}^{-3}$ , apesar da existência de uma quantidade de pontos amostrais no solo subsolado e não subsolado possuírem densidade de solo semelhantes, os intervalos de dados foram analisados separadamente.

No solo subsolado, em todos os tratamentos, não foi possível ajustar modelos que descrevessem o comportamento da DS em relação à produtividade. O processo de subsolagem tende a homogeneizar a variável em estudo (densidade do solo) e, possivelmente, as diferenças de produtividade estejam sendo regidas por outros fatores que não foram estudados neste trabalho.

Para os dados de DS em relação à produtividade, no solo não subsolado, o modelo matemático que melhor descreveu os resultados obtidos foi o linear, independente do tratamento avaliado. Os parâmetros das regressões lineares ajustados, assim como os coeficientes de determinação para os diferentes tratamentos no solo não subsolado estão na Tabela 22.

Todos os coeficientes angulares dos modelos lineares ajustados (parâmetro a) apresentaram valores negativos, indicando que para os diferentes tratamentos, o aumento da densidade do solo foi prejudicial à produtividade de grãos, no entanto, a intensidade deste decréscimo foi variável entre os tratamentos.

A testemunha sem Glyphosate (efeito do fator densidade de solo) foi o tratamento que apresentou a menor inclinação da reta ( $-3745,8 \text{ kg ha}^{-1}$  a cada aumento de  $1,0 \text{ kg dm}^{-3}$  na DS) seguida de Trifluralin ( $-3826,1 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e Metribuzin ( $-3884,2 \text{ kg ha}^{-1}$ ), ambos sem a aplicação de Glyphosate em pós-emergência. Sulfentrazone e Diclosulam, dentro dos tratamentos que não receberam glyphosate em pós-emergência, obtiveram as maiores inclinações das retas ajustadas ( $-4675,7 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $-4374,9 \text{ kg ha}^{-1}$  respectivamente), ou seja, maior perda de produtividade com o aumento dos valores de DS.

A aplicação de glyphosate em pós-emergência promoveu a todos os tratamentos em pré-emergência e testemunha aumento nas perdas de produtividade (aumento da inclinação da

reta), ao comparar-se dentro de cada tratamento com e sem glyphosate, as diferenças foram aproximadamente de testemunha de 8%, Diclosulam 6%, chlorimuron 11%, imazaquin 15%, flumioxazin 11%, sulfentrazone 8%, metribuzin 9% e trifluralina 13%.

Tabela 22: Regressões e coeficientes de determinação para produtividade em razão da densidade do solo em diferentes tratamentos herbicidas no solo compactado.

Herbicidas pré	Glyphosate	Estimativa dos parâmetros ajustados nas regressões lineares (solo não subsolado)		
		a	b	R <sup>2</sup>
Testemunha	Sem	-3745,8	9013,1	0,63*
	Com	-4047,6	9040,2	0,77*
Diclosulam	Sem	-4374,9	9663,4	0,61*
	Com	-4661,7	9423,4	0,72*
Chlorimuron	Sem	-4190,6	9244,5	0,72*
	Com	-4726,7	9835,9	0,86*
Imazaquin	Sem	-4076,7	9297,9	0,67*
	Com	-4733,2	9903,4	0,75*
Flumioxazin	Sem	-4062,8	9380,1	0,51*
	Com	-4519,1	9642,2	0,50*
Sulfentrazone	Sem	-4675,7	9958,1	0,79*
	Com	-5067,1	10201,1	0,82*
Metribuzin	Sem	-3884,2	8935,6	0,51*
	Com	-4235,8	9305,1	0,69*
Trifluralina	Sem	-3826,1	9029,1	0,78*
	Com	-4400,7	9453,2	0,78*

\* $p < 0,05$

Através dos modelos lineares obtidos para cada tratamento, no solo compactado foi possível estimar a produtividade para diferentes densidades de solo. As produtividades foram estimadas para valores de DS de 1,25, 1,30, 1,35 e 1,40 kg dm<sup>-3</sup>, a fim de se quantificar um ponto crítico ou de equilíbrio entre a produtividade da testemunha subsolado e testemunha não subsolado.

Para cada solo há uma densidade crítica, a partir da qual a resistência torna-se tão elevada que diminui ou impede o crescimento de raízes (ROSEMBERG, 1964; CINTRA & MIELNICZUK, 1983). A densidade do solo crítica é dependente, principalmente, de sua classe textural. Argenton et al. (2005) constataram que, em Latossolo Vermelho argiloso, a

deficiência de aeração inicia-se com densidade do solo próxima de  $1,30 \text{ kg dm}^{-3}$ , e Klein (2006), para mesma classe de solo, baseado no intervalo hídrico ótimo, observou que a densidade limitante foi de  $1,33 \text{ kg dm}^{-3}$ . Reichert et al. (2003) propuseram densidade do solo crítica para algumas classes texturais:  $1,30$  a  $1,40 \text{ kg dm}^{-3}$  para solos argilosos,  $1,40$  a  $1,50 \text{ kg dm}^{-3}$  para os franco-argilosos e de  $1,70$  a  $1,80 \text{ kg dm}^{-3}$  para os franco-arenosos.

As produtividades dos tratamentos no solo compactado após serem estimadas para as diferentes DS foram todas comparadas em relação à testemunha absoluta (testemunha no solo descompactado sem aplicação de glyphosate em pós-emergência). Os valores de produtividades estimados nas diferentes DS e a diferença em relação à testemunha absoluta encontra-se na tabela 23.

A produtividade estimada na testemunha do solo não subsolado para a DS  $1,25 \text{ kg dm}^{-3}$  foi semelhante a observada na testemunha absoluta, ou seja, o ponto equilíbrio de produtividade entre as duas condições de solo. Diferenças de produtividade nesta DS, nos demais tratamentos, são devidas ao efeito dos herbicidas pré-emergentes ou do Glyphosate em pós-emergência.

Flumioxazin e trifluralin sem aplicação de glyphosate em pós foram aqueles que apresentaram diferenças de produtividade menores que  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  em relação à testemunha absoluta na DS de  $1,25 \text{ kg dm}^{-3}$ . Diclosulam e imazaquim sem glyphosate em pós, na faixa entre  $100$  a  $200 \text{ kg ha}^{-1}$ . Sulfentrazone e metribuzin sem glyphosate em pós de  $200$  a  $250 \text{ kg ha}^{-1}$  e chlorimuron sem glyphosate com maior redução, acima dos  $300 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Glyphosate, independente do tratamento pré-emergente, reduziu a produtividade em pelo menos  $300 \text{ kg ha}^{-1}$ . No comparativo: testemunha absoluta e testemunha sem herbicida pré-emergente com glyphosate em pós-emergência, a redução foi de  $355,60 \text{ kg ha}^{-1}$  (8%). Glyphosate aplicado em pós-emergência nos tratamentos com chlorimuron, imazaquin, flumioxazin, metribuzin e trifluralina produtividades estimadas reduzidas em comparação à testemunha absoluta, na faixa dos  $300$  a  $400 \text{ kg ha}^{-1}$ . Sulfentrazone com Glyphosate em pós em torno de  $450 \text{ kg kg ha}^{-1}$  e Diclosulam com Glyphosate em pós  $722 \text{ kg ha}^{-1}$ .

A densidade do solo pode afetar a atividade dos herbicidas por alterar a difusão de suas moléculas no solo. A difusão de trifluralin no solo aumenta até a densidade de  $1,2 \text{ g cm}^{-3}$  e diminui em densidades superiores a essa (BODE et al., 1973). Para trifluralin, em milho, quando cultivadas em solo com densidade  $1,1 \text{ g cm}^{-3}$  a redução de raízes foi de 30% e quando cultivadas em solo compactado de  $1,6 \text{ g cm}^{-3}$ , a redução das raízes foi de 60% (MARTIN et al., 1985).

Tabela 23: Produtividades estimadas através dos modelos lineares e diferenças em relação a testemunha absoluta nas diferentes densidade de solo.

Herbicidas pré	Glyphosate	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> ) estimada através das regressões lineares para as diferentes densidades de solo				Diferenças de produtividade (kg ha <sup>-1</sup> ) estimada através das regressões lineares para as diferentes densidades de solo em comparação a média da testemunha absoluta (4316,3 kg ha <sup>-1</sup> )			
		1,25	1,30	1,35	1,40	1,25	1,30	1,35	1,40
Testemunha	Sem	4330,85	4143,56	3956,27	3768,98	14,55	-172,74	-360,03	-547,32
	Com	3980,70	3778,32	3575,94	3373,56	-335,60	-537,98	-740,36	-942,74
Diclosulam	Sem	4194,78	3976,03	3757,29	3538,54	-121,53	-340,27	-559,02	-777,76
	Com	3596,28	3363,19	3130,11	2897,02	-720,03	-953,11	-1186,20	-1419,28
Chlorimuron	Sem	4006,25	3796,72	3587,19	3377,66	-310,05	-519,58	-729,11	-938,64
	Com	3927,53	3691,19	3454,86	3218,52	-388,78	-625,11	-861,45	-1097,78
Imazaquim	Sem	4202,03	3998,19	3794,36	3590,52	-114,28	-318,11	-521,95	-725,78
	Com	3986,90	3750,24	3513,58	3276,92	-329,40	-566,06	-802,72	-1039,38
Flumioxazin	Sem	4301,60	4098,46	3895,32	3692,18	-14,70	-217,84	-420,98	-624,12
	Com	3993,33	3767,37	3541,42	3315,46	-322,97	-548,93	-774,89	-1000,84
Sulfentrazone	Sem	4113,48	3879,69	3645,91	3412,12	-202,83	-436,61	-670,40	-904,18
	Com	3867,23	3613,87	3360,52	3107,16	-449,08	-702,43	-955,79	-1209,14
Metribuzin	Sem	4080,35	3886,14	3691,93	3497,72	-235,95	-430,16	-624,37	-818,58
	Com	4010,35	3798,56	3586,77	3374,98	-305,95	-517,74	-729,53	-941,32
Trifluralina	Sem	4246,48	4055,17	3863,87	3672,56	-69,82	-261,13	-452,44	-643,74
	Com	3952,33	3732,29	3512,26	3292,22	-363,97	-584,01	-804,04	-1024,08

Na DS de  $1,25 \text{ kg dm}^{-3}$  os herbicidas que promoveram os maiores decréscimos de produtividade foram os herbicidas pré-emergentes chlorimuron, sulfentrazone e metribuzin, e ainda o fator glyphosate independente do pré-emergente aplicado.

Os efeitos da compactação do solo na redução da produtividade começam a ser observadas a partir da DS de  $1,30 \text{ kg dm}^{-3}$  com uma redução de  $172,74 \text{ kg ha}^{-1}$  da testemunha sem herbicida no solo não subsolado em comparação à testemunha absoluta. Nas DS seguintes ( $1,35$  e  $1,40 \text{ kg dm}^{-3}$ ) as diferenças de produtividade aumentaram chegando a  $547,32 \text{ kg ha}^{-1}$ . WOLFE et al. (1995) verificaram que a redução da produtividade de repolho, feijão, pepino, milho seguiu a ordem decrescente com o aumento da RP na camada subsuperficial compactada (0,10-0,20 m).

As raízes das plantas atuam como sensores do ambiente físico do solo e enviam sinais à parte aérea, os quais controlam o crescimento e a expansão foliar (MASLE & PASSIOURA, 1987). Em condições físicas do solo adversas, o funcionamento bioquímico da planta é alterado, gerando sinais que chegam na parte aérea, informando a planta que as condições para o seu funcionamento estão se restringindo e que reduções no crescimento e na taxa de transpiração são necessárias para manter a hidratação (TURNER, 1997), podendo causar decréscimo da produção de matéria seca e da produtividade das culturas.

Redução no conteúdo de nutrientes da parte aérea da soja, por causa da compactação, foram verificadas por Borges et al. (1988) para P, K, Mg e Ca; Dolan et al. (1992) P e K; Rosolem et al. (1994) e para N. Fernandez et al. (1995) verificaram que o impedimento mecânico ao crescimento radicular levou a diminuições nas concentrações de N e Mg e, aumentos nas concentrações de P, Ca e K na parte aérea da soja. Já Nogueira & Manfredini (1983) não verificaram redução na absorção de N, P, K, Ca, Mg e S, com o aumento da compactação.

Todos os tratamentos herbicidas com o aumento da DS afetaram em maior intensidade a produtividade, porém, alguns tratamentos herbicidas, como no caso Diclosulam com glyphosate em pós-emergência, o aumento nos valores de DS atingiram valores de redução de  $1419,28 \text{ kg ha}^{-1}$  e sulfentrazone com glyphosate  $1209,4 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Apesar dos efeitos prejudiciais, a produtividade no aumento da DS da testemunha sem herbicida, este foi entre os demais tratamentos o que apresentou menor queda. Todos os herbicidas pré-emergentes em graus diferentes de redução, nas diferentes DS afetaram a produtividade, ainda, a aplicação de glyphosate em pós-emergência foi mais prejudicial à produtividade e com o aumento da DS, essa redução se agrava.

A restrição em absorção de nutrientes com o aumento da DS e maior demanda por estes, em situações que os herbicidas promovem injúrias, induzem ao comprometimento do aparato fotossintético, que resulta em quantidades de fotoassimilados abaixo do necessário para o desenvolvimento produtivo da cultura soja.

#### 4.8-Conclusões

O efeito deletério do glyphosate e da compactação do solo sobre o desenvolvimento da cultura foi intenso, culminando em elevadas perdas de produtividade. O efeito dos herbicidas pré-emergentes (exceto flumioxazin, trifluralin e metribuzin) também foi deletério, produzindo danos às plantas e reduzindo a produtividade.

Com relação aos fatores avaliados, o glyphosate na dose aplicada, foi aquele que mais afetou a produtividade da cultura, em todos os tratamentos estudados, e ainda, de maneira mais intensa, com o aumento da densidade do solo.

O aumento da DS em solos compactados, principalmente acima do valor de  $1,25 \text{ g dm}^{-3}$ , promovem efeitos significativos de redução de produtividade, em uma taxa média de  $375 \text{ kg ha}^{-1}$  para cada  $0,1 \text{ g dm}^{-3}$  de incremento da DS. Com a presença de Glyphosate esta taxa é de  $405 \text{ kg ha}^{-1}$ .

A presença de todos os herbicidas pré-emergentes tornou as taxas de redução de produtividade ainda maiores, permanecendo o efeito deletério marcante do Glyphosate.

O número de dias de ciclo para a cultura atingir a umidade ideal de colheita foi significativamente elevado por ação da DS e da aplicação de Glyphosate. A aplicação dos herbicidas pré-emergentes diclosulan, chlorimuron e imazaquim também provocaram este efeito.

## 5- LITERATURA CONSULTADA

AHRENS, W.H. **Herbicide handbook**. 7. ed. Champaign: Weed Science Society of America, 1994. 352p.

ARAÚJO, M.A. **Qualidade física e estrutural de um latossolo vermelho distroférico em plantio direto**. Maringá: UEM, 2005. 102p. (Tese – Doutorado em Agronomia).

ARGENTON J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C. & WILDNER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **R. Bras. Ci. Solo**, 29:425-435, 2005.

ATWELL, B.J. The effect of soil compaction on wheat during early tillering. I. Growth, development and root structure. **New Phytologist**, v.115, p.29-35, 1990.

BELLALOU, N. BELLALOU, N. REDDY, K.N. ZABLOTOWICZ, R.M. MENGISTU, A. Simulated glyphosate drift influences nitrate assimilation and nitrogen fixation in non-glyphosate-resistant soybean. **J. Agric. Food Chem.**, v. 54, n. 9, p. 3357-3364, 2006.

BELLALOU, N.; REDDY, K.N.; ZABLOTOWICZ, R.M.; ABBAS, H.K.; ABEL, C.A. Effects of glyphosate on seed iron and root ferric (III) reductase in soybean cultivars. **J. Agric. Food Chem.**, v.57, p.9569-9574, 2009.

BERTOL, O.J. & FISCHER, I.I. Semeadura direta versus sistemas de preparo reduzido: efeito na cobertura do solo e no rendimento da cultura da soja. **Eng. Agríc.**, 17:87-96, 1997.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 849- 856, 2003.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P.; BARBOSA, J.C. Intervalo hídrico ótimo e produtividade de cultivares de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.3, p.639-45, 2006.

BELTRAME, L.F.S.; GONDIM, L.A.P. & TAYLOR, J.C. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, 5:145-149, 1981.

BLANCO, F.M.G.; VELINI, E.D. Persistência do herbicida sulfentrazone em solo cultivado com soja e seu efeito em culturas sucedâneas. **Planta Daninha**, v.23, p.693-700, 2005.

BODE, L.E., DAY, C.L. GEBHARDT, M.R.. Mechanism of trifluralin diffusion in silt loam soil. **Weed Science**, Champaign, v. 21, n. 5, p. 480-484, 1973.

BORGES, E.N.; NOVAIS, R.F.; REGAZZI, A.J.; FERNANDES, B.; BARROS, N.F. Respostas de variedades de soja à compactação de camadas de solo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 35, p. 553-568, 1988.

BOTT, S.; TESHAMARIAM, T.; CANDAN, H.; CAKMAK, I.; ROMHELD, V.; NEUMANN, G. Glyphosate-induced impairment of plant growth and micronutrient status in



glyphosate-resistant soybean (*Glycine max* L.). **Plant and Soil**, v.312, n.2, p.185-194, 2008.

BRIGHENTI, A.M.; MORAES, V.J.; OLIVEIRA JUNIOR, R.S. de; GAZZIEIRO, D.L.P.; BARROSO, A.L.L.; GOMES, J.A. Persistência e fitotoxicidade de herbicidas aplicados na soja sobre o girassol em sucessão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.559-565, 2002.

BUCHOLTZ, D. L.; LAVY, T. L. Alachlor and trifluralin effects on nutrient uptake in oats and soybeans. **Agron. J.**, v. 71, n. 1, p. 24-26, 1979.

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. **Eur. J. Agron.**, v.31, p.114-119, 2009.

CAMPBELL, W.F.; EVANS, J.O.; REED, S.C. Effect of glyphosate on chloroplast ultrastructure of quackgrass mesophyll cells. **Weed Sci.**, v.24, p.22-25, 1976.

CARRINGER, R.D., WEBER, J.B., MONACO, T.J. Adsorption, desorption of selected pesticides by organic matter and montmorillonite. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Oxford, v. 23, n. 3, p. 568-572, 1975.

CASTRO, O. M.; VIEIRA, S.R. & MARIA, I. C. **Sistema de preparo de solo e disponibilidade de água**. In. Simpósio sobre Manejo de Água na Agricultura, Fundação Cargill, 1987, p. 21-51.

CENTURION, J. F.; DEMATTÊ, J. L. I. Efeito de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, n. 3, p. 263-266, 1992.

CINTRA, F.L.D. & MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **R. Bras. Ci. Solo**, 7:197-201, 1983.

COBUCCI, T. et al. Efeito residual de herbicidas em pré-plantio do feijoeiro, em dois sistemas de aplicação em plantio direto e sua viabilidade econômica. **Planta Daninha**, v.22, n.4, p.583-590, 2004.

CONAB: **Acompanhamento da safra brasileira: grãos: Estimativa de plantio: Outubro de 2009**. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília. 2009. 39p. Disponível em: [WWW.conab.gov.br](http://WWW.conab.gov.br) último acesso em:06/12/2011.

COSTA, J.A.; MARCHEZAN, E. **Características dos estádios de desenvolvimento da soja**. Campinas: Fundação Cargill, 1982. 30p.

COUTINHO, C.F.B.; MAZO, L.H. Complexos metálicos com o herbicida glyphosate: Revisão. **Química Nova**, v.28, n.6, p.1038-1045, 2005.

CURRAN, W.S.; KNAKE, E.L. Rotational crop injury potential for corn following clomazone, imazaquim, imazethapyr and chlorimuron in Illinois. In: MAINZ, M. J. & SUTOR, J. J. **Northwestern Illinois Agricultural Research and Demonstration Center**, Report of Research Results. Urbana-Champaign, Univ. of Illinois. 1987. p.114-119.

DAN HESS, F. Herbicide effects on plant structure, physiology, and biochemistry. In: **Pesticide interactions in crop production**. CRC Press, p. 13-34, 1993.

DAVIES, W.J.; TARDIEU, F. & TREJO, C.L. How do chemical signals work in plants that grow in drying soil?. **Plant Physiol.**, 104:309-314, 1994.

DAVIES, W.J., & J. ZHANG. Root signals and the development of plants growing in drying soil. **Ann. Rev. Plant Physiol. Molec. Biol.** 42:55–76. 1991.

DAYAN, F. E.; WEETE, J. D. Mechanism of tolerance to a novel phenyl triazolinone herbicide. **Plant Physiol.**, p. 111-119, 1996.

De MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; DIAS, H.S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em latossolo roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.703-709, 1999.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. Importância da rotação de culturas. In: DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn: GTZ/IAPAR, p.147-164, 1991.

DOLAN, M.S.; DOWDY, R.H.; VOORHEES, W.B.; JOHNSON, J.F.; BIDWELLSCHRADER, A.M. Corn phosphorus and potassium uptake in response to soil compaction. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, p. 639-642, 1992.

DUKE, S. O.; LYDON, J.; BECENIL, J. M.; SHERMAN, T. D.; LEHNEN, L. P.; MATSUMOTO, H. Protoporphyrinogen oxidase-inhibiting herbicides. **Weed Sci.** 39, 465-473, 1991.

DVORANEN, E. C.; **Impacto do glyphosate sobre soja (*Glycine max (L.) Merril*) transgênica e sua simbiose com *Bradyrhizobium spp.*** Maringá: UEM, 2007. 52p. (Dissertação – Mestrado em Produção Vegetal).

EDWARDS, C.J., BARRENTINE, W.L., KILEN, T.C. Inheritance of sensitivity to metribuzin in soybeans. **Crop Sci.**, v. 16, p.119-120, 1976.

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. **J. Agric. Food Chem.**, v.54, p.10019–10025, 2006.

EHLERS, W., LETEY, W.J., SPENCER, W.F., *et al.* Lindane diffusion in soils: I. Theoretical considerations and mechanism of movement. **Soil Science Society American Proceedings**, Madison, v. 33, n. 4, p. 501-504, 1969.

EMBRAPA. **Tecnologias de Produção de Soja - Paraná 2007**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2007 (Documentos- Sistemas de Produção 10).

EMBRAPA. **Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil 2009 e 2010**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2009 (Documentos- Sistemas de Produção 13).

EWRC (European Weed Research Council), **Proceedings of the 3rd EWRC International Symposium on Aquatic Weeds**, July 5–8, Oxford, UK, 318 pp. 1971.

FALB, L. N. & SMITH, A. E. Metribuzin metabolism in soybeans: Characterization of the intraspecific differential tolerance. **J. Agric. Food Chem.**, v. 32, p. 1425, 1984.

FERNANDEZ, E.M.; CRUSCIOL, C.A.C.; THIMOTEO, C.M. de S.; ROSOLEM, C.A. Matéria seca e nutrição da soja em razão da compactação do solo e adubação fosfatada. **Científica**, São Paulo, v. 23, p. 117-132, 1995.

FLECK, N. G.; VIDAL, R. A. Injúria potencial de herbicidas de solono girassol. III Imazaquin e Imazethapyr. **Planta Daninha**, v.12,n.1, p.39-43, 1994.

FLOWERS, M. D.; LAL, R. Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a Mollic Ochraqualf in northwest Ohio. **Soil and Tillage Research**, v. 48, p.21-35, 1998.

FRANZ, J.E.; MAO, M.K.; SIKORSKI, J.A. **Glyphosate: A unique global herbicide**; ACS Monograph 189; American Chemical Society: Washington, DC, 1997.

GRATH, T. & HAKANSSON, I. Effects of soil compaction on development and nutrient uptake of peas. **Swed. J. Agric. Res.**, 22:13-17, 1992.

GOETZ, A.J.; WEHTJE, G.; WALKER, R.H. & HAJEK, B. Soil solution and mobility characterization of imazaquin. **Weed Sci.**, 34:788-793, 1986.

GRIFFIN, J. L.; HABETZ, R. J. Soybean (*Glycine max*) tolerance to preemergence and postemergence herbicides. **Weed Technol.**, v. 3, n. 3, p. 459-462, 1989.

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W.B. Soil compaction. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C.; STEWARD, B.A. **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton: CRS Press, 1998. p. 167-179 (Advances in Soil Science).

HARTZLER, R.G., FAWCET, R.S., OWEN, D.K. Effects of tillage on trifluralin residue carryover injury to corn (*Zea mays*). **Weed Science**, Champaign, v. 37, n. 4, p. 609-615, 1989.

HOMANN, P.E. Studies on the manganese of the chloroplast. **Plant Physiol.**, v.42, p.997-1007, 1967.

HORN, R.; WAY, T.; ROSTEK, J. Effect of repeated tractor wheeling on stress/strain properties and consequences on physical properties in structured arable soils. **Soil & Tillage Research**, v.73, p.101-106, 2003.

HORNSBY, A.G.; WAUCHOUPE, R.D. & HERNER, A.E. **Pesticide properties in the environment**. New York, Springer-Verlag, 227p. 1995.

HUBER, D. Efeitos do glyphosate em doenças de plantas. **Informações Agronômicas**, IPNI International Plant Nutrition Institute, n.119, p.13-15, 2007.

JOHAL, G.S.; HUBER, D.M. Glyphosate effects on diseases of plants. **Euro J. Agron.**, v.31, p.144-152, 2009.

KABACHNIK, M.I.; MEDVED, T.YA.; DYATOLVA, N.M.; RUDOMINO, M.V. Organophosphorus complexones. **Russian chem. reviews**, v.43, p.733-744, 1974.

KING, C.A.; PURCELL, L.C.; VORIES, E.D. Plant growth and nitrogenase activity of glyphosate-tolerant soybean in response to foliar glyphosate applications. **Agronomy Journal**, v.93, p.176-186, 2001.

KLEIN, V.A. Densidade relativa - Um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. **R. Ci. Agron.**, 5:26-32, 2006.

KRAUSZ, R.F.; YOUNG, B.G. Response of glyphosate-resistant soybean (*Glycine max*) to trimethylsulfonium and isopropylamine salts of glyphosate. **Weed Technology**, v.15, p.745-749, 2001.

LAL, R. Axle load and tillage effects on crop yield on a Mollic Ochraqualf in Northwest Ohio. **Soil Till. Res.**, 37:143-160, 1996.

LAVORENTI, A. **Identificação de perigos de resíduos ligados de pesticidas em substâncias húmicas**. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 2, São Carlos, 1997. Anais. São Carlos, EMBRAPA, p.66-71, 1997.

LAVORENTI, A.; ROCHA, A.A.; PRATA, F.; REGITANO, J.B.; TORNISIELO, V.L.; PINTO, O.B. Comportamento do diclosulam em amostras de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.183-190, 2003.

LEE, H. J.; DUKE, M. V.; DUKE, S. O. Cellular localization of **protoporphyrinogen-oxidizing** activities of etiolated barley (*Hordeum vulgare* L.) leaves: Relationship to mechanism of action of protoporphyrinogen oxidase-inhibiting herbicides. **Plant Physiol.**, 102, 881-889, 1993.

LINDEMANN, W.C.; HAM, G.E. & RANDALL, G.W. Soil compaction effects on soybean nodulation, N<sub>2</sub>(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) fixation and seed yield. **Agron. J.**, 74:307-311, 1982.

LIPIEC, J.; ISHIOKA, T.; HATANO, R. & SAKUMA, T. Effects of soil structural discontinuity on root and shoot growth and water use of maize. **Plant Soil**, 157:65-74, 1993.

MARSH, H.V.JR.; EVANS, H.J.; MATRONE, G. Investigations on the role of iron in chlorophyll metabolism. II. Effect of iron deficiency on chlorophyll synthesis. **Plant Physiol.**, v.38, p.638-642, 1963.

MARTIN, A.G., JORDAN, T.N., STEIHNARDT, G.C., Influence of soil compaction on trifluralin phytotoxicity to corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 77, n. 3, p. 481-483, 1985.

MASLE, J., PASSIOURA, J. B. The effect of soil strength on the growth of young wheat plants. **Australian Journal of Plant Physiology** 14:643-656. 1987.

MEROTTO, A.J.; MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.197-202, 1999.

MERVOSCH, T.L.; BALKE, N.E. Effects of calcium, magnesium, and phosphate on glyphosate absorption by cultured cells. **Weed Sci.**, v.39, p.347-353, 1991.

MONQUERO, P.A.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; OSUNA, M.D.; PRADO, R.A. Absorção, translocação e metabolismo do glyphosate por plantas tolerantes e suscetíveis a este herbicida. **Planta Daninha**, v.22, n.3, p.445-451, 2004.

MULHOLLAND, B.J.; BLACK, C.R.; TAYLOR, I.B; ROBERTS, J.A. & LENTON, J.R. Effect of soil compaction on barley (*Hordeum vulgare* L.) growth. I. Possible role for ABA as a root-sourced chemical signal. **J. Exp. Bot.**, 47:539-549, 1996.

NAVES-BARBIERO, C.C.; FRANCO, A.C.; BUCCI, S.J.; GOLDSTEIN, G. Fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies lenhosas sempre-verdes no campo sujo e cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 12(2): 119-134. 2000.

NEGI, N. S. et al. Effect of trifluralin and nitrilalin on mitochondrial activities. **Weed Sci.**, v. 16, p. 83-85, 1968.

NEWSOM, L. J.; SHAW, D. R. Soybean (*Glycine max*) cultivar response to chlorimuron and imazaquin as influenced by soil moisture. **Weed Technol.**, v. 6, n. 2, p. 389-395, 1992.

NILSSON, G. **Interactions between glyphosate and metals essential for plant growth.** In E. Grossbard, E.; Atkinson, D. (eds). The herbicide glyphosate. London: Butterworth, 1985. p.35-47.

NOGUEIRA, S.S.S.; MANFREDINI, S. Influência da compactação do solo no desenvolvimento da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18, p. 973-976, 1983.

OLIVEIRA, M.F.; SILVA, A.A.; NEVES, J.C.L. Atividade do flumioxazin e metribuzin em dois tipos de solos em diferentes períodos de seca. **Revista Ceres**, v.45, n.258, p.117-124, 1998.

OLIVEIRA, M.F.; SILVA, A.A.; FERREIRA, F.A.; RUIZ, H.A. Lixiviação de flumioxazin e metribuzin em dois solos em condições de laboratório. **Planta Daninha**, v.17, n.2, p.207-214, 1999.

OLIVEIRA JR., R.S. Atividade residual no solo de imazaquin e alachlor+atrazine visando plantio sequencial de canola. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.2, p.217-2, 2001.

OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J. **Plantas daninhas e seu manejo.** Guaíba: Agropecuária, 362 p.2001.

OLIVEIRA Jr., R. S. et al. Compactação do solo afeta a fitotoxicidade de herbicidas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 24., 2004, São Paulo. **Anais...** São Pedro: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2004. CD ROM

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

PASSIOURA, J.B. Soil structure and plant growth. **Aust. J. Soil Res.**, 29:717-728, 1991.

PIHAKASKI, S.; PIHAKASKI, K. Effects of glyphosate on ultrastructure and photosynthesis of *Pellia epiphylla*. **Annals of Botany**, v.46, p.133-141, 1980.

PINKARD, E.A.; PATEL, V. MOHAMMED, C. Chlorophyll and nitrogen determination for plantation-grown *Eucaliptus nitens* and *E. glagulus* using a non-destructive meter. **Forest Ecol Manag.** v.223, p.211–217, 2006.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S.S.S. & MIRANDA, M.A.C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesq. Agropec. Bras.**, 35:929-938, 2000.

RALISCH, R.; MIRANDA, T.M.; OKOMURA, R.S.; BARBOSA, G.M.C.; GUIMARÃES, M. F. ; SCOPEL, E. & BALBINO, L.C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho-Amarelo. **R. Bras. Eng. Agric. Amb.**, 12:381-384, 2008.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ci. Amb.**, 27:29-48, 2003.

REDDY, K.N.; HOAGLAND, R.E.; ZABLOTOWICZ, R.M. Effect of glyphosate on growth, chlorophyll, and nodulation in glyphosate-resistant and susceptible soybean (*Glycine max*) varieties. **Journal of New Seeds**, v.2, p.37-52, 2000.

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

REDDY, K. N.; LOCKE, M. A. Sulfentrazone sorption, and mineralization in soil from two tillage systems. **Weed Sci.**, v. 46, p. 494-500, 1998.

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

RIBON, A. A.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. B. Número de amostras para avaliação da resistência do solo à penetração em solos cultivado com cultura perene. **Resumos expandidos. XXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO**, Ribeirão Preto – SP. 2003. CD ROM.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas – 5º edição**. Londrina-PR: Edição dos autores, 2005. 648 p.

ROMAN, E. S.; TOSSO, F.; MARINHO, J. A. A. Respostas de cultivares de soja a herbicidas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.1, n.2, p.133-137, 2000.

ROSEMBERG, N.J. Response of plants to the physical effects of soil compaction. **Adv. Agron.**, 16:181-196, 1964.

ROSOLEM, C.A.; VALE, L.S.R.; GRASSI FILHO, H. & MORAES, M.H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 18:491-497, 1994.

ROSSI, C. V. S.; ALVES, P. L. C. A.; MARQUES JUNIOR, J. Mobilidade do sulfentrazone em nitossolo vermelho e em neossolo quartzarênico. **Planta Daninha**, v. 21, n. 1, p. 111-120, 2003.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT software**: changes and enhancements through release 6.12. Cary: Statistical Analysis System Institute, 1997. 1167p.

SECCO, D. **Eficiência e efeito residual de escarificadores em Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio direto**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1994. 76p.

SHIBLES, R.M.; WEBER, C.R. Leaf area, solar radiation interception, and dry matter production by various soybean planting patterns. **Crop Science**, v.6, p.575-577, 1965.

SINGH B.K, SHANER D.L. **Biosynthesis of branched chain amino acids: From test tube to field**. Plant Cell 7: 935-944, 1995.

SINGH, B., SINGH, Y.; LADHA, J.K.; BRONSON, K.F.; BALASUBRAMANIAN, V. SINGH, J. AND KHIND, C.S. Chlorophyll meter- and leaf color chart-based nitrogen management for rice and wheat in Northwestern India. **Agron. J.** v.94, p.821-89, 2002.

SILVA, A. A. et al. Avaliação da atividade residual no solo de imazaquim e trifluralin através de bioensaios com milho. **Acta Sci.**, v. 20, n. 3, p. 291-295, 1998.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. II – Grau de saturação em água. **R. Bras. Ci. Solo**, 26:9-15, 2002.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, 30:795-801, 2000.

STONE, L. F. & SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, p. 395-401, 2001.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Mineral Nutrition**. In: Plant Physiology. Sinauer Associates, Sunderland, p. 111-144. 1998.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Sunderland: Sinauer, 705 p. 2006.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; GUIMARÃES, M.F. & FONSECA, I.C.B. Resistência do solo a penetração e desenvolvimento radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em Latossolo Roxo. **R. Bras. Ci. Solo**, 25:725-730, 2001.

TAVARES FILHO, J. & TESSIER, D. Influence des pratiques culturales sur le comportement et les propriétés de sols du Paraná (Brésil). **Étude Gestion Sols**, 5:61-71, 1998.

THOMPSON, W.W.; WEIER, T.E. The fine structure of chloroplasts from mineral-deficient leaves of *Phaseolus vulgaris*. **Am. J. Bot.**, v.49, p.1047-1056, 1962.

TOMLIN, C. **Pesticide manual**. 10.ed. Cambridge: British Crop Protection Council and The Royal Society of Chemistry, 1341 p. 1994.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S. Densidade, porosidade e resistência a penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Sciencia Agrícola**, v.59, n.4, p.795-801, 2002.

TORMENA, C. A. & ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 301-309, 1996.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.2, p.301-309, 1998.

TORRES, E. & SARAIVA, O.F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1999. 58p. (Circular Técnica, 23).

TRIPP, T. N.; BALDWIN, F. L. Effects of excessive precipitation on soybean injury from imazaquin and chlorimuron. **Weed Sci. Soc. Am. Abstr.**, v. 28, p. 39, 1988.

TUBEILEH, A.; GROLEAU-RENAUD, V.; PLANTUREUX, S. & GUCKERT, A. Effect of soil compaction on photosynthesis and carbon partitioning within a maize-soil system. **Soil Till. Res.**, 71:151-161, 2003.

TURNER, N.C. Further progress in crop water relations. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 58, p. 293-325, 1997.

VARELA, R.; de la CRUZ, R. Efecto de algunas dinitroanilinas sobre la nodulación de la soya (*Glycine max* (L.) Merr.). **R. Inst. Colomb. Agropec.**, v. 19, n. 1, p. 17-23, 1984.

VEEN, B.W. The influence of mechanical impedance on the growth of maize roots. **Plant Soil**, 66:101-109, 1982.

VIDAL, R.A. **Herbicidas: mecanismos de ação e resistência de plantas**. Porto Alegre: R.A. Vidal, 165p. 1997.

VIVIAN, R. et al. Persistência de sulfentrazone em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 24, n. 4, p. 741-750, 2006.

WEBER, JB. Behavior of dinitroaniline herbicide in soils. **Weed Technology**, Champaign, v. 4, n. 2, p. 394-406, 1990.



WOLFE, D.W.; TOPOLESKI, D.T.; GUNDERSHEIM, N.A.; INGALL, B.A. Growth and yield sensitivity of four vegetable crops to soil compaction. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v. 120, p. 956-963, 1995.

WSSA - Weed Science Society of America. **Herbicide Handbook**. 8a Ed. Lawrence, 493p. 2002.

WUTKE, E.B.; ARRUDA, F.B.; FANCELLI, A.L.; PEREIRA, J.C.V.N.A.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; AMBROSANO, G.M.B. Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.621-633, 2000.

YODER, R. N. et al. Aerobic metabolism of diclosulam on U.S. and South American soils. **J. Agric. Food Chem.**, v. 48, n. 1, p. 4335-4340, 2000.

ZABLOTOWICZ, R.M.; REDDY, K.N. Impact of glyphosate on the *Bradyrhizobium japonicum* symbiosis with glyphosate-resistant transgenic soybean: A minireview. **Journal of Environmental Quality**, v.33, p.825-831, 2004.

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

ZOBIOLE, L. H. S. **Efeito da compactação do solo na atividade do herbicida sulfentrazone na cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]**. Maringá: UEM, 2004. 56p. (Dissertação – Mestrado em Produção Vegetal).

ZOBIOLE, L. H. S.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; TORMENA, C.; CONSTANTIN, J.; CAVALIERI, S. D.; ALONSO, D. G.; BRIGUENTI, A. M.; CASTRO, C. Efeito da compactação do solo e do sulfentrazone sobre a cultura da soja em duas condições de água no solo. **Planta Daninha** (Impresso), v. 25, p. 537-545, 2007.

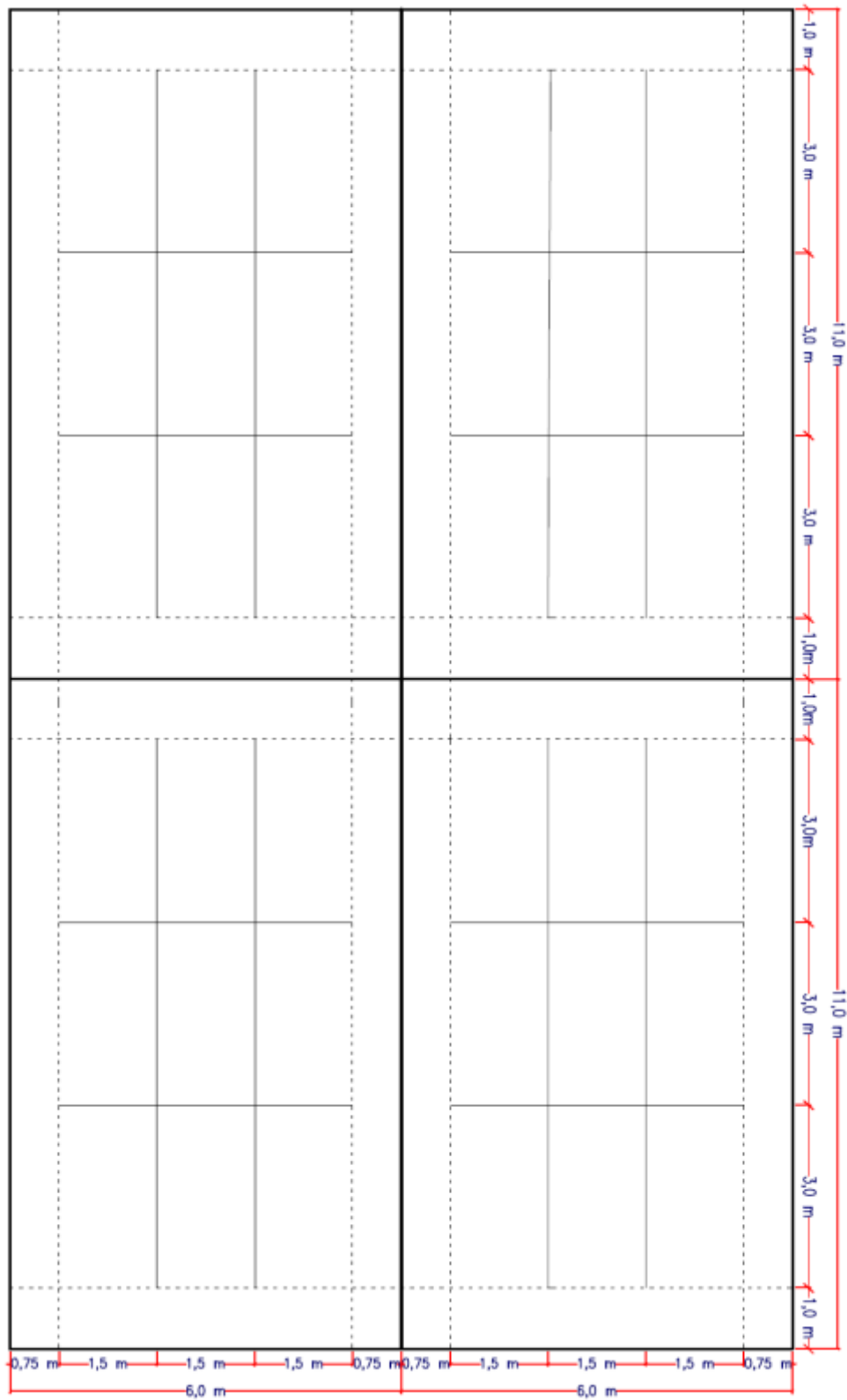
ZOBIOLE, L.H.S.; KREMER, R.J.; OLIVEIRA JR, R.S.; CONSTANTIN, J. Glyphosate affects photosynthesis in first and second generation of glyphosate-resistant soybeans. **Plant and Soil**, v. 336, p. 251-265, 2010a.

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

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

## 6-APÊNDICE

Figura 1: croqui das parcelas experimentais.



## Análise de variância para a variável produtividade (parcelas Subsubdividas)

Arquivo analisado:

Variável analisada: KG\_HA

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Pré	7	2053478.812500	293354.116071	9.189	0.0000
REP	7	115449.875000	16492.839286	0.517	0.8176
erro 1	49	1564358.812500	31925.690051		
GLIFO	1	2120664.062500	2120664.062500	97.847	0.0000
Pré*GLIFO	7	253672.375000	36238.910714	1.672	0.1348
erro 2	56	1213699.062500	21673.197545		
SOLO	1	1952307.562500	1952307.562500	78.102	0.0000
Pré*SOLO	7	230393.500000	32913.357143	1.317	0.2489
GLIFO*SOLO	1	1681.000000	1681.000000	0.067	0.7959
Pré*GLIFO*SOLO	7	178738.187500	25534.026786	1.021	0.4201
erro 3	112	2799643.750000	24996.819196		
Total corrigido	255	12484087.000000			
CV 1 (%) =		4.48			
CV 2 (%) =		3.69			
CV 3 (%) =		3.96			
Média geral:	3990.9375000		Número de observações:	256	

## Resultados dos contrastes realizados para a variável produtividade (saida do SAS).

Contraste Trat 1, 2, 3 e 4 VS TODOS  
The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
TRAT	32	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29
31 32		
REP	8	A B C D E F G H

Number of Observations Read 256  
Number of Observations Used 256

Contraste Trat 1, 2, 3 e 4 VS TODOS  
The GLM Procedure

Dependent Variable: ProdKGHA

Contraste Trat 1, 2, 3 e 4 VS TODOS

The GLM Procedure

Dependent Variable: ProdKGHA

Testemunha absoluta vs demais tratamentos

Contrast	DF	Contrast SS	Mean Square	F Value	Pr > F
contr-1-VS-2	1	148610.250	148610.250	5.78	0.0171
contr-1-VS-3	1	344275.562	344275.562	13.38	0.0003
contr-1-VS-4	1	995505.063	995505.063	38.69	<.0001
contr-1-VS-5	1	372100.000	372100.000	14.46	0.0002
contr-1-VS-6	1	1097780.063	1097780.063	42.67	<.0001
contr-1-VS-7	1	566632.562	566632.562	22.02	<.0001
contr-1-VS-8	1	1801635.063	1801635.063	70.02	<.0001
contr-1-VS-9	1	374238.062	374238.062	14.54	0.0002
contr-1-VS-10	1	820383.062	820383.062	31.88	<.0001
contr-1-VS-11	1	645612.250	645612.250	25.09	<.0001
contr-1-VS-12	1	1324225.563	1324225.563	51.47	<.0001
contr-1-VS-13	1	60147.562	60147.562	2.34	0.1277
contr-1-VS-14	1	241326.562	241326.562	9.38	0.0025
contr-1-VS-15	1	550935.062	550935.062	21.41	<.0001
contr-1-VS-16	1	656910.250	656910.250	25.53	<.0001
contr-1-VS-17	1	39006.250	39006.250	1.52	0.2196
contr-1-VS-18	1	212290.562	212290.562	8.25	0.0045
contr-1-VS-19	1	363609.000	363609.000	14.13	0.0002
contr-1-VS-20	1	898704.000	898704.000	34.93	<.0001
contr-1-VS-21	1	446224.000	446224.000	17.34	<.0001
contr-1-VS-22	1	727609.000	727609.000	28.28	<.0001
contr-1-VS-23	1	751255.562	751255.562	29.20	<.0001
contr-1-VS-24	1	2109756.250	2109756.250	82.00	<.0001
contr-1-VS-25	1	52098.062	52098.062	2.02	0.1562
contr-1-VS-26	1	739600.000	739600.000	28.74	<.0001
contr-1-VS-27	1	273006.250	273006.250	10.61	0.0013
contr-1-VS-28	1	918722.250	918722.250	35.71	<.0001
contr-1-VS-29	1	9653.063	9653.063	0.38	0.5408
contr-1-VS-30	1	225625.000	225625.000	8.77	0.0034
contr-1-VS-31	1	517680.250	517680.250	20.12	<.0001
contr-1-VS-32	1	661375.562	661375.562	25.70	<.0001

Testemunha sem herbicida solo compactado vs demais tratamentos no solo compactado

contr-2-VS-4	1	374850.063	374850.063	14.57	0.0002
contr-2-VS-6	1	438575.063	438575.063	17.05	<.0001
contr-2-VS-8	1	915370.563	915370.563	35.58	<.0001
contr-2-VS-10	1	270660.063	270660.063	10.52	0.0014
contr-2-VS-12	1	585607.563	585607.563	22.76	<.0001
contr-2-VS-14	1	11183.062	11183.062	0.43	0.5104
contr-2-VS-16	1	180625.000	180625.000	7.02	0.0087
contr-2-VS-18	1	5662.563	5662.563	0.22	0.6395
contr-2-VS-20	1	316406.250	316406.250	12.30	0.0006
contr-2-VS-22	1	218556.250	218556.250	8.49	0.0039
contr-2-VS-24	1	1138489.000	1138489.000	44.25	<.0001
contr-2-VS-26	1	225150.250	225150.250	8.75	0.0034
contr-2-VS-28	1	328329.000	328329.000	12.76	0.0004
contr-2-VS-30	1	8010.250	8010.250	0.31	0.5774
contr-2-VS-32	1	182970.062	182970.062	7.11	0.0082

Testemunha sem herbicida pré com glyphosate em pós solo descompactado vs demais tratamentos com glyphosate no solo descompactado

contr-3-VS-7	1	27556.000	27556.000	1.07	0.3019
contr-3-VS-11	1	46980.563	46980.563	1.83	0.1780
contr-3-VS-15	1	24180.250	24180.250	0.94	0.3334
contr-3-VS-19	1	264.063	264.063	0.01	0.9194
contr-3-VS-23	1	78400.000	78400.000	3.05	0.0823
contr-3-VS-27	1	4128.062	4128.062	0.16	0.6891
contr-3-VS-31	1	17622.563	17622.563	0.68	0.4088

Testemunha sem herbicida pré com glyphosate em pós solo compactado vs demais tratamentos com glyphosate no solo compactado

contr-4-VS-8	1	118680.250	118680.250	4.61	0.0328
contr-4-VS-12	1	23409.000	23409.000	0.91	0.3412
contr-4-VS-16	1	35062.563	35062.563	1.36	0.2443
Contr-4-VS-20	1	2475.063	2475.063	0.10	0.7567
contr-4-VS-24	1	206797.562	206797.562	8.04	0.0050
contr-4-VS-28	1	1540.563	1540.563	0.06	0.8069
contr-4-VS-32	1	34040.250	34040.250	1.32	0.2513

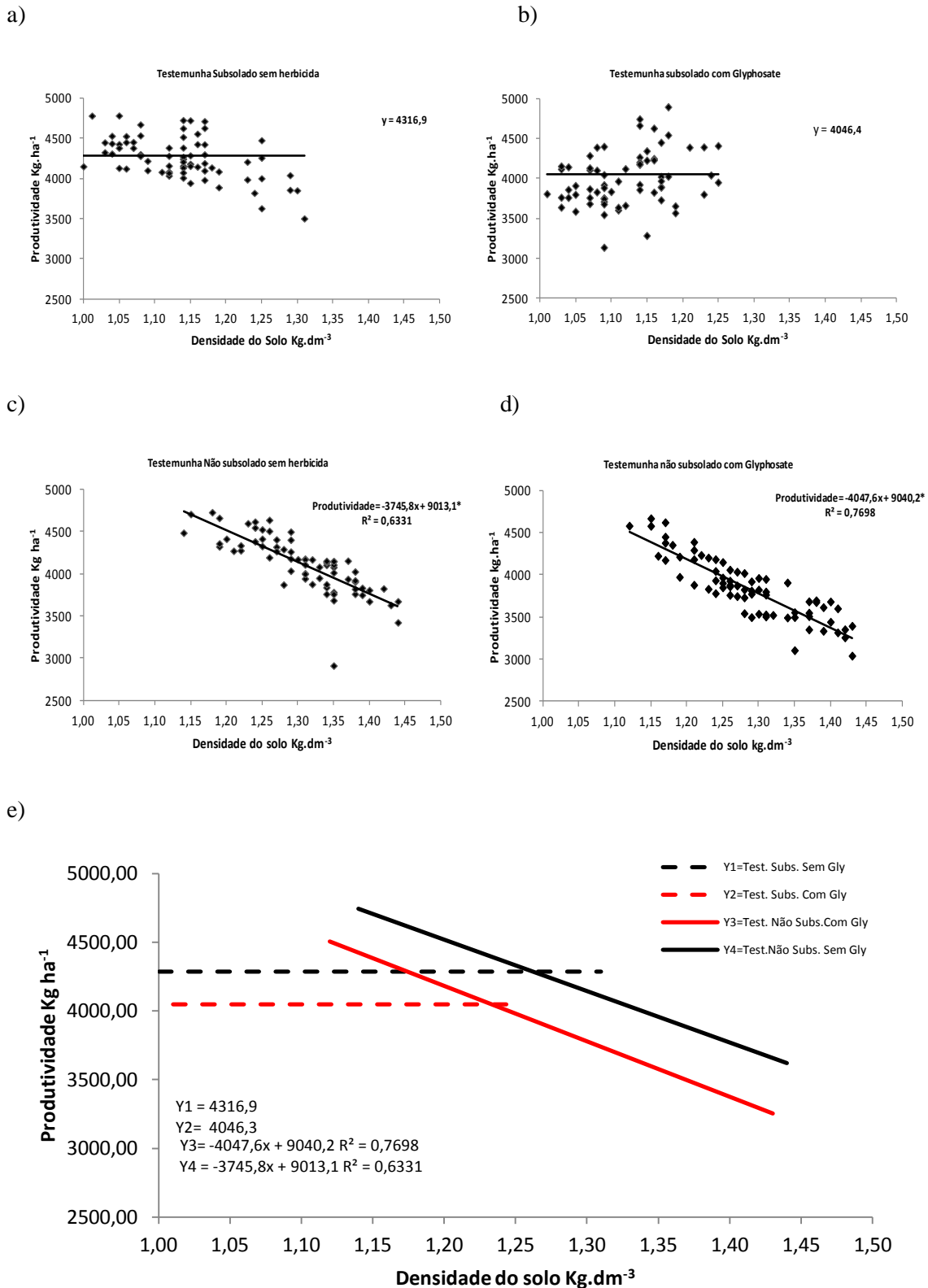


Figura 2: Produtividade de grãos de soja em relação a diferentes densidades de solo. a) Testemunha no solo subsulado sem herbicida; b) Testemunha no solo subsulado com glyphosate em pós emergência; c) Testemunha no solo não subsulado sem herbicida; d) Testemunha no solo não subsulado com glyphosate em pós emergência; e) Comparativos entre as retas ajustadas.

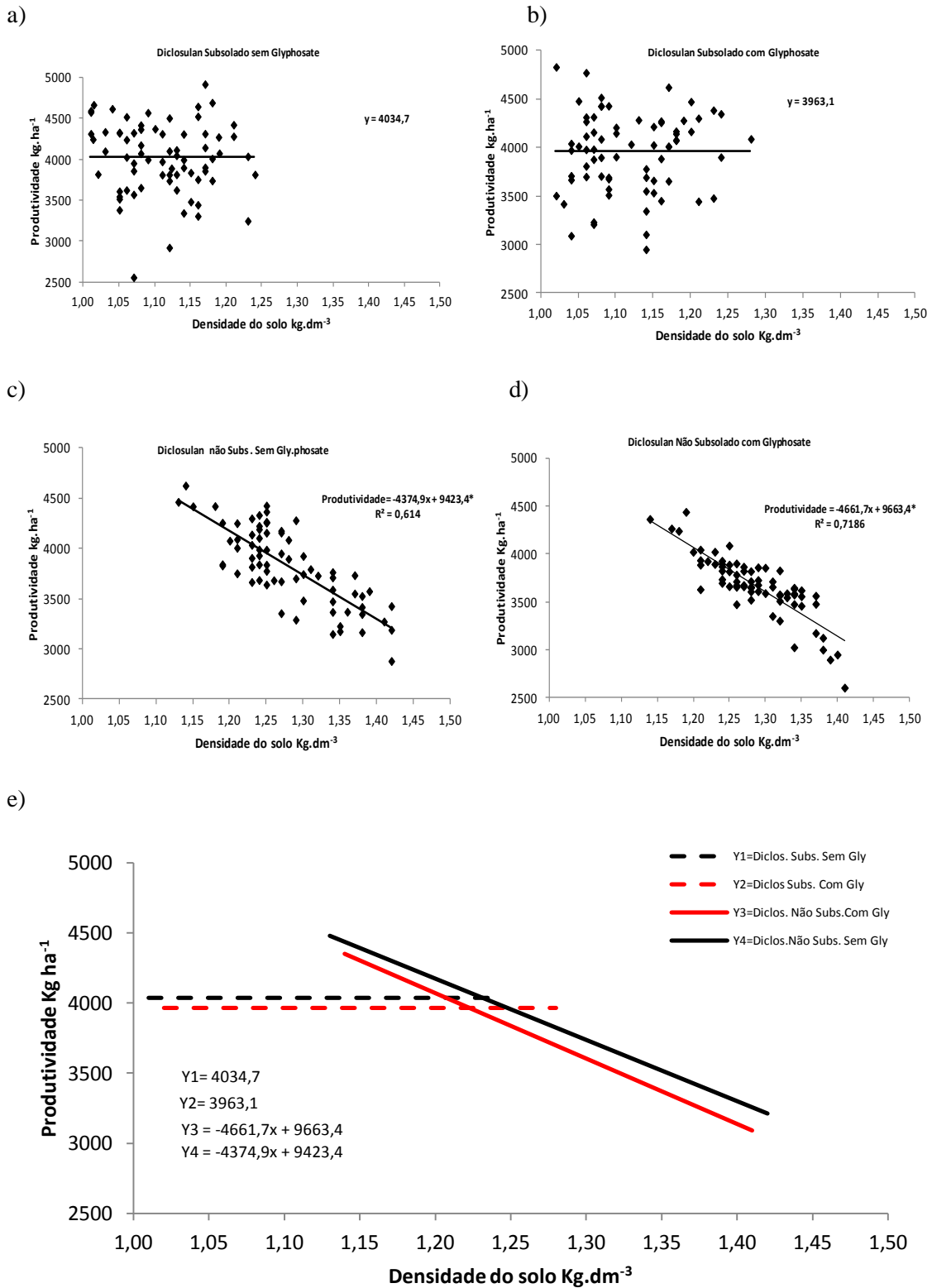


Figura 4: Produtividade de grãos de soja em relação a diferentes densidades de solo. a) Diclosulan no solo subsulado sem herbicida; b) Diclosulan no solo subsulado com glyphosate em pós emergência; c) Diclosulan no solo não subsulado sem herbicida; d) Diclosulan no solo não subsulado com glyphosate em pós emergência; e) Comparativos entre as retas ajustadas.

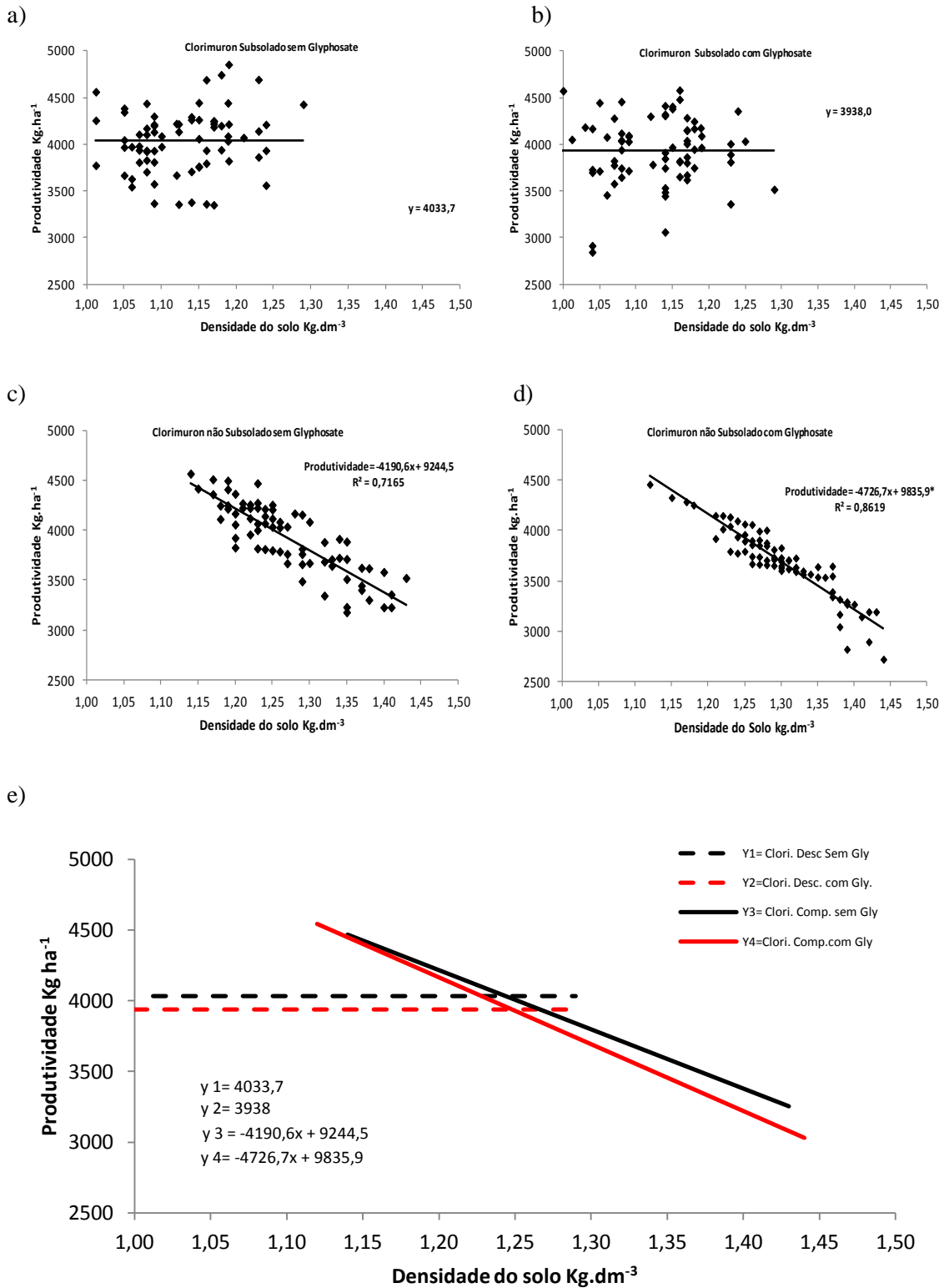


Figura 5: Produtividade de grãos de soja em relação a diferentes densidades de solo. a) Clorimuron no solo subsolado sem herbicida; b) Clorimuron no solo subsolado com glyphosate em pós emergência; c) Clorimuron no solo não subsolado sem herbicida; d) Clorimuron no solo não subsolado com glyphosate em pós emergência; e) Comparativos entre as retas ajustadas.



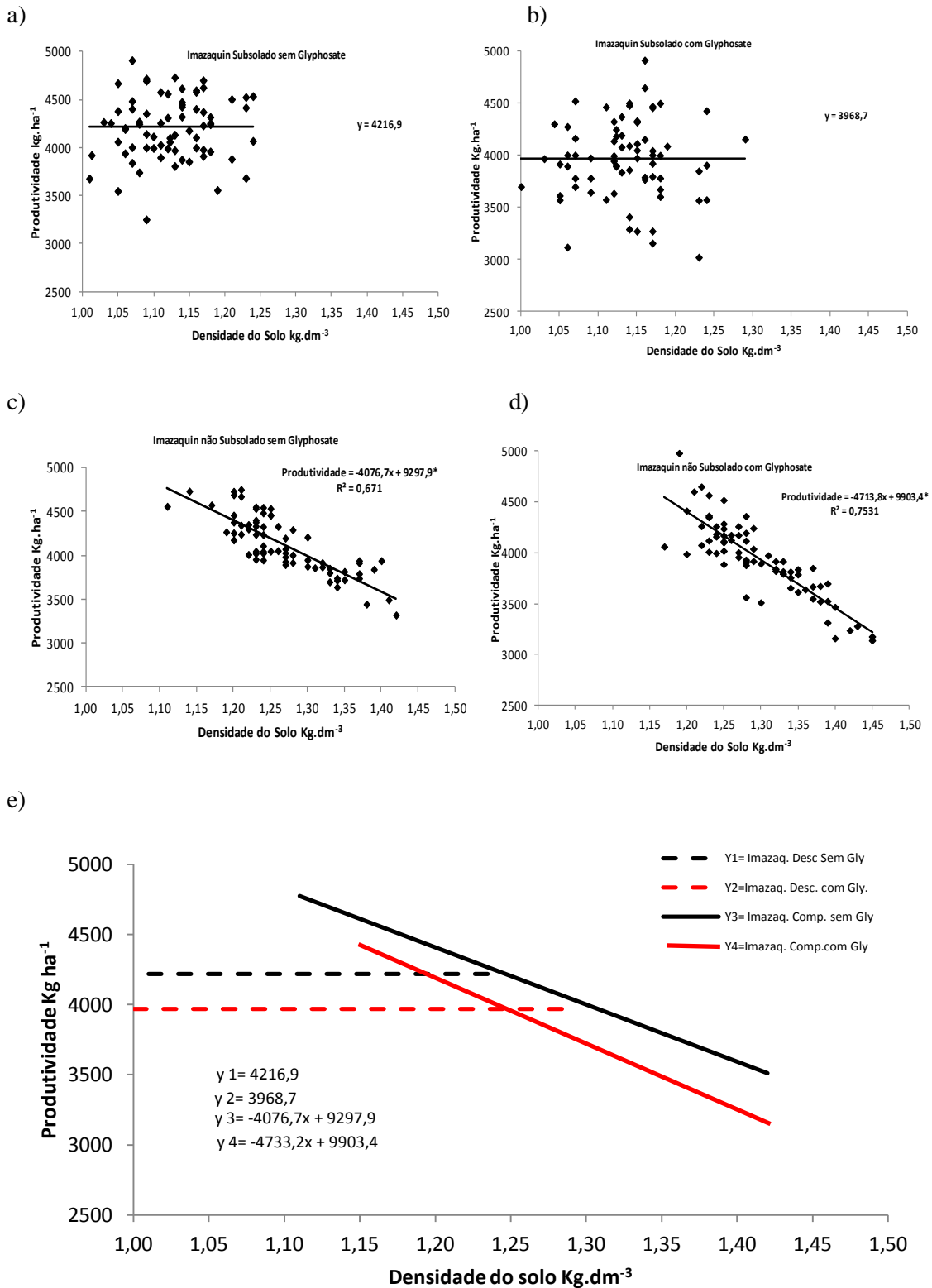


Figura 6: Produtividade de grãos de soja em relação a diferentes densidades de solo. a) Imazaquin no solo subsulado sem herbicida; b) Imazaquin no solo subsulado com glyphosate em pós emergência; c) Imazaquin no solo não subsulado sem herbicida; d) Imazaquin no solo não subsulado com glyphosate em pós emergência; e) Comparativos entre as retas ajustadas.

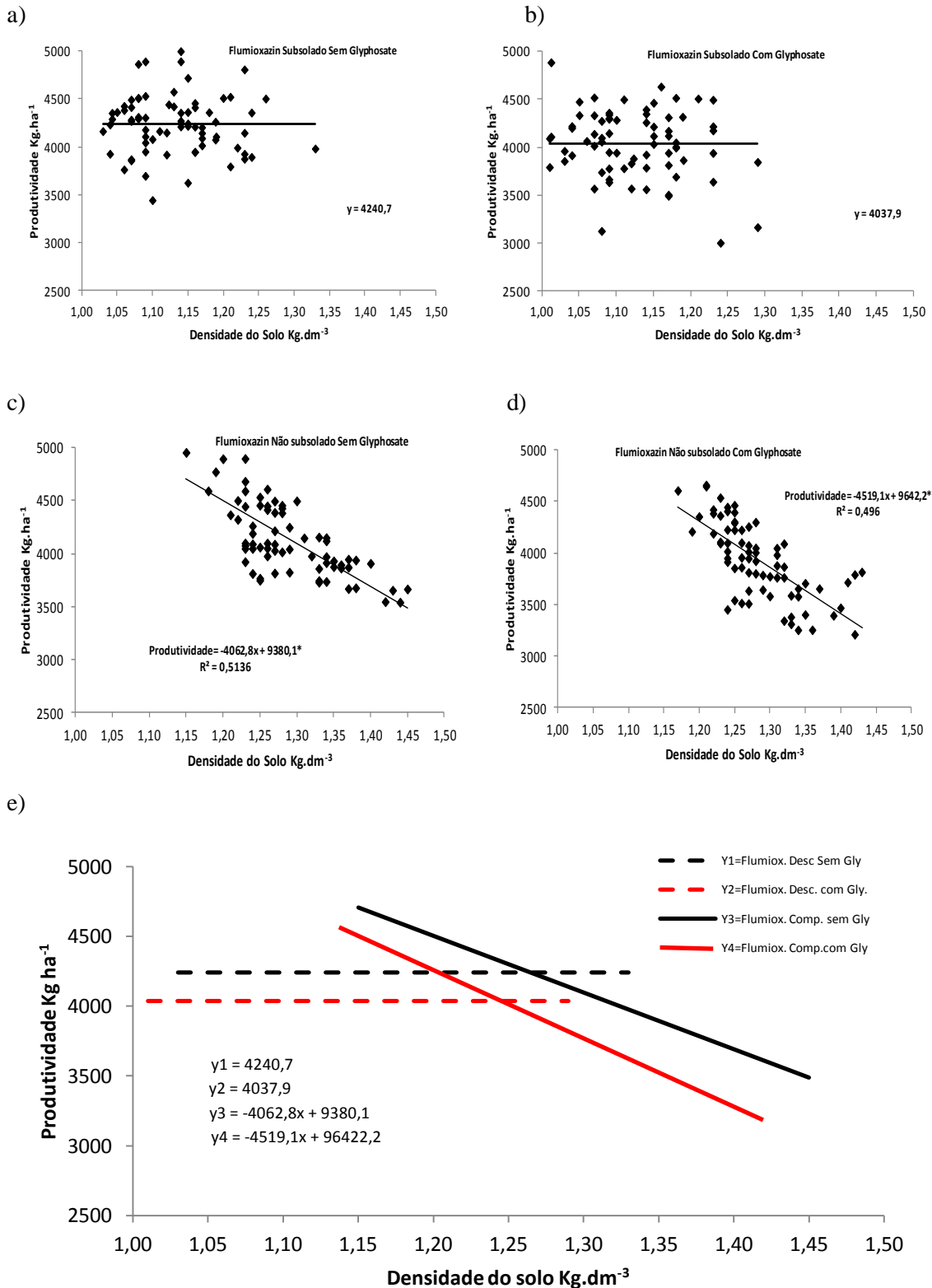


Figura 7: Produtividade de grãos de soja em relação a diferentes densidades de solo. a) Flumioxazin no solo subsolado sem herbicida; b) Flumioxazin no solo subsolado com glyphosate em pós emergência; c) Flumioxazin no solo não subsolado sem herbicida; d) Flumioxazin no solo não subsolado com glyphosate em pós emergência; e) Comparativos entre as retas ajustadas.

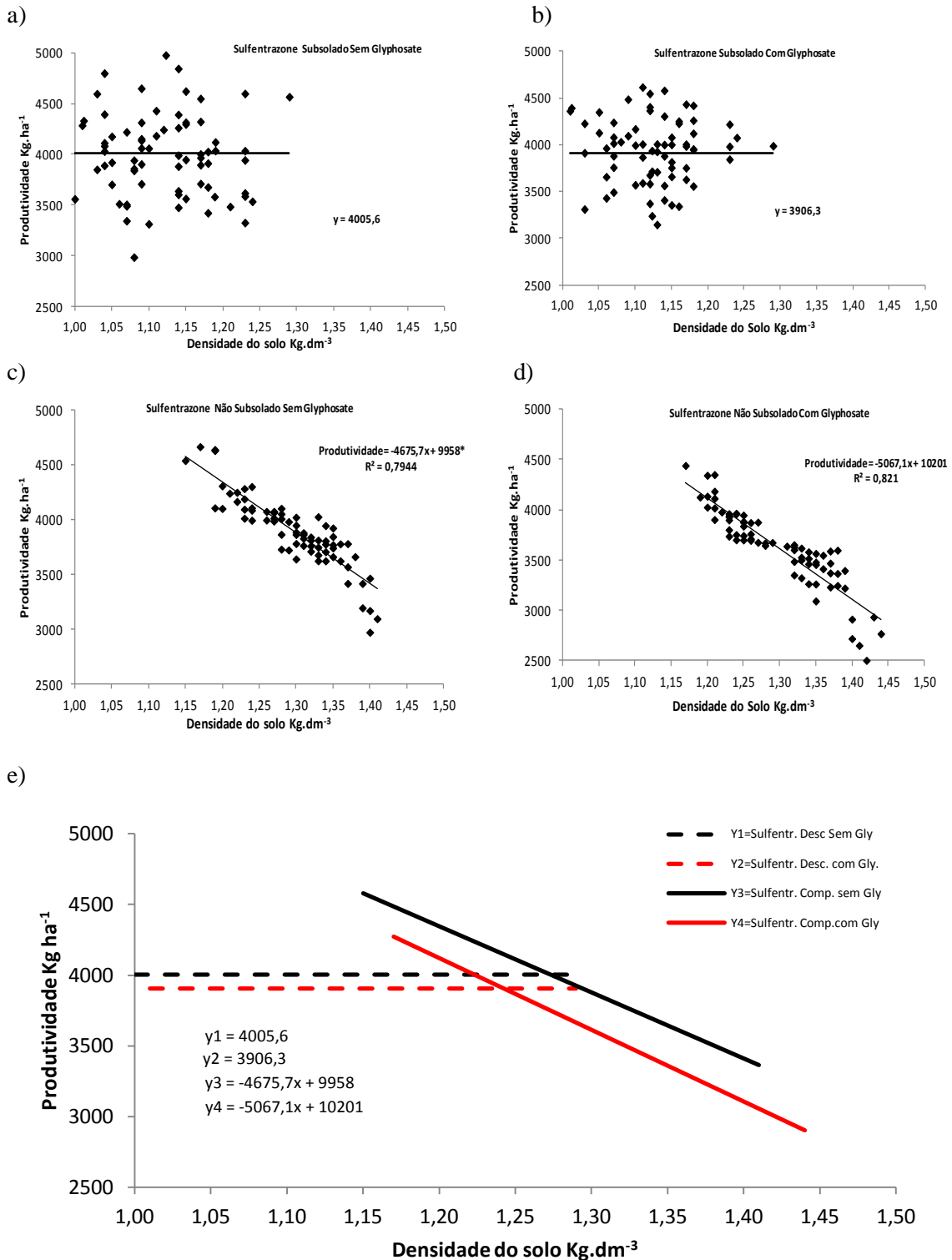


Figura 8: Produtividade de grãos de soja em relação a diferentes densidades de solo. a) Sulfentrazone no solo subsolado sem herbicida; b) Sulfentrazone no solo subsolado com glyphosate em pós emergência; c) Sulfentrazone no solo não subsolado sem herbicida; d) Sulfentrazone no solo não subsolado com glyphosate em pós emergência; e) Comparativos entre as retas ajustadas.

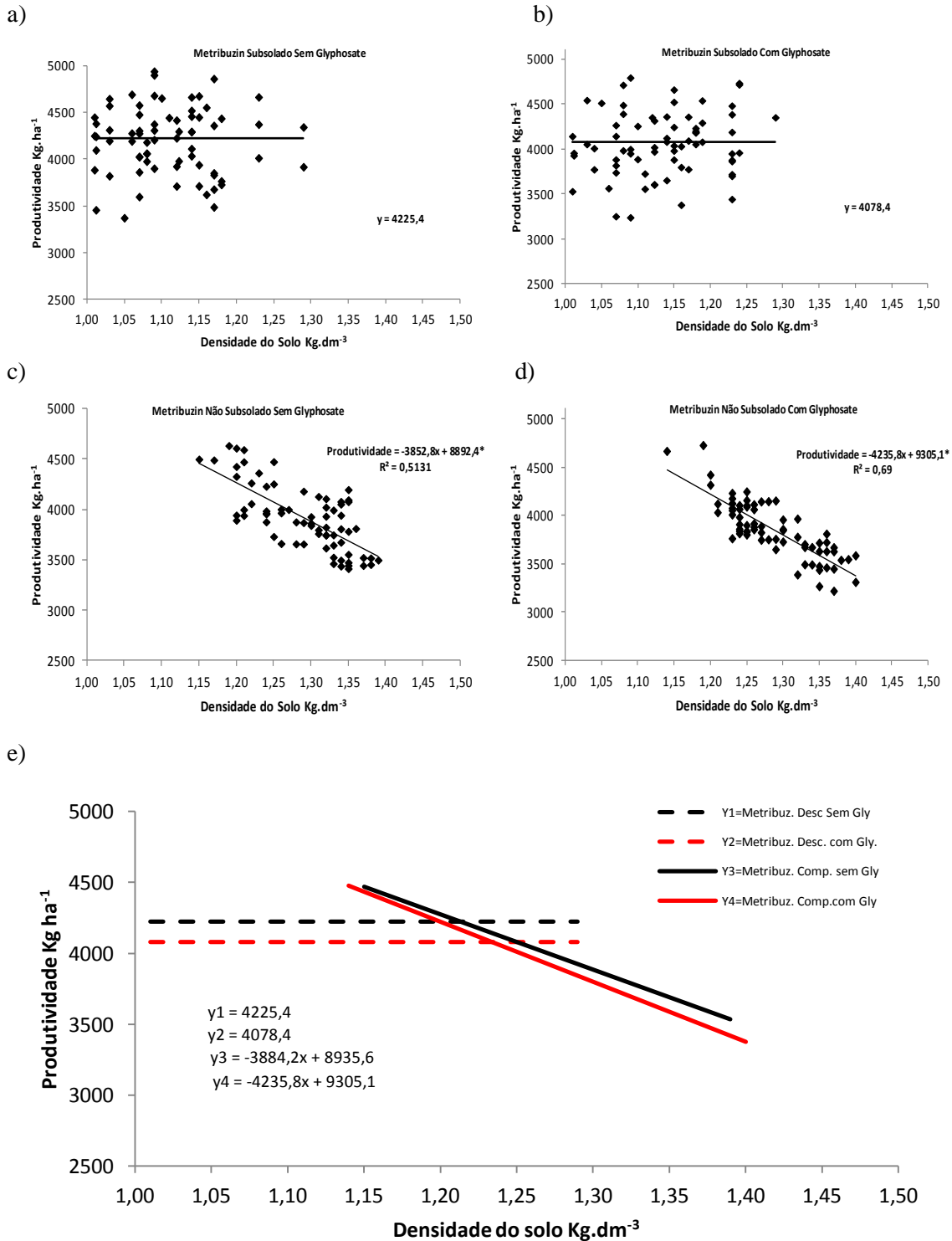


Figura 9: Produtividade de grãos de soja em relação a diferentes densidades de solo. a) Metribuzin no solo subsulado sem herbicida; b) Metribuzin no solo subsulado com glyphosate em pós emergência; c) Metribuzin no solo não subsulado sem herbicida; d) Metribuzin no solo não subsulado com glyphosate em pós emergência; e) Comparativos entre as retas ajustadas.

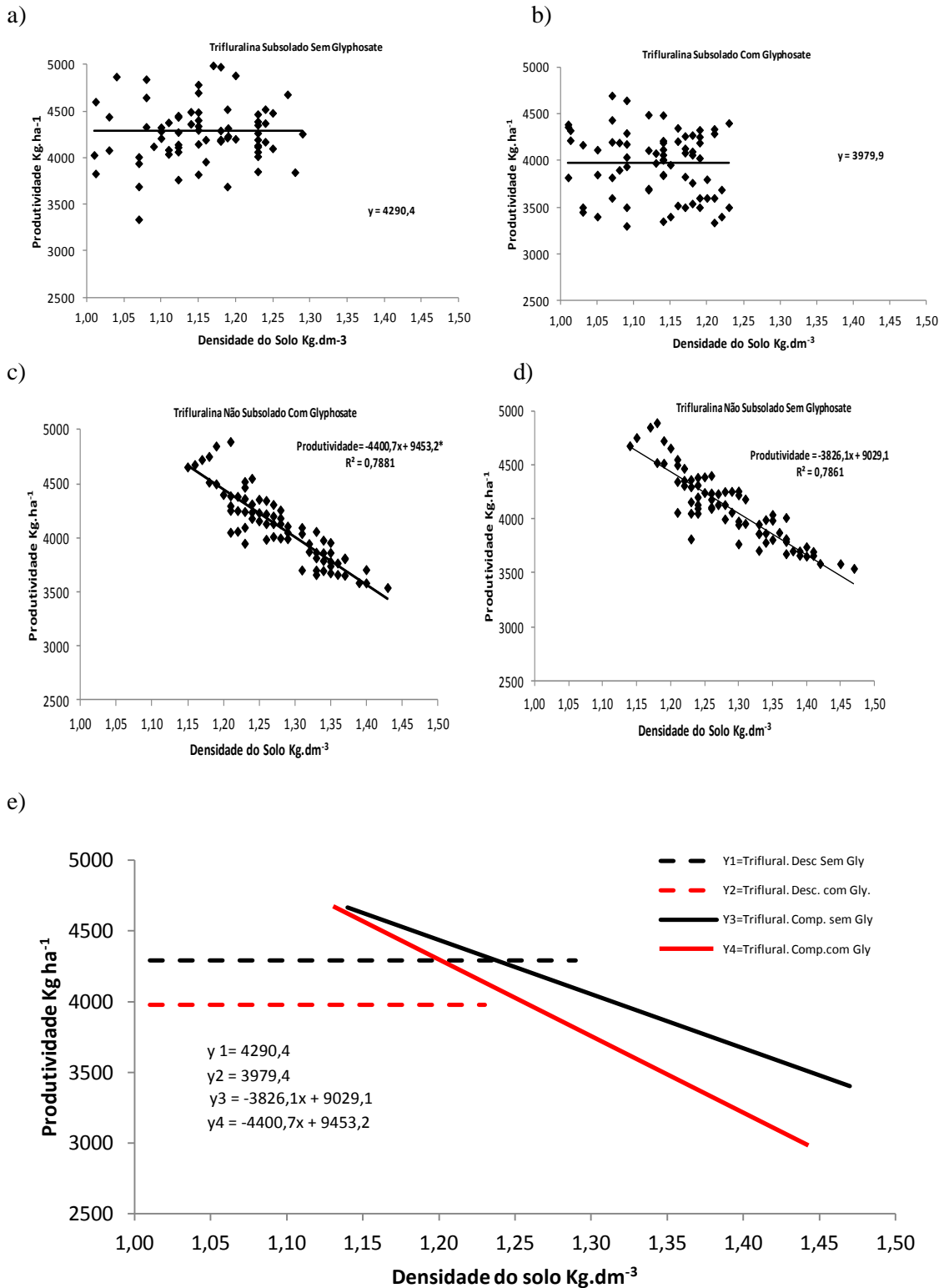


Figura 10: Produtividade de grãos de soja em relação a diferentes densidades de solo. a) Trifluralin no solo subsulado sem herbicida; b) Trifluralin no solo subsulado com glyphosate em pós emergência; c) Trifluralin no solo não subsulado sem herbicida; d) Trifluralin no solo não subsulado com glyphosate em pós emergência; e) Comparativos entre as retas ajustadas.