

UniRV- UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

**COMPACTAÇÃO DO SOLO: INTERAÇÕES NA SELETIVIDADE DE
HERBICIDAS PARA A CULTURA DA SOJA**

BRUNO CÉSAR SILVA PEREIRA
Magister Scientiae

RIO VERDE
GOIÁS – BRASIL
2023

BRUNO CÉSAR SILVA PEREIRA

**COMPACTAÇÃO DO SOLO: INTERAÇÕES NA SELETIVIDADE DE HERBICIDAS
PARA A CULTURA DA SOJA**

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para à obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**RIO VERDE
GOIÁS - BRASIL**

2023

Universidade de Rio Verde
Biblioteca Luiza Carlinda de Oliveira
Bibliotecário: Juatan Tiago da Silva – CRB 1/3158
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – (CIP)

Pereira, Bruno César Silva

Compactação do solo: Interações na seletividade de herbicidas para a cultura da soja. / Bruno César Silva Pereira. – 2023.
59 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Braga Pereira Braz.

Coorientadora: Profa. Dra. Camila Jorge Bernabé Ferreira

Dissertação (Mestrado) — Universidade de Rio Verde - UniRV, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, 2023.

1. Controle químico. 2. dinâmica de herbicidas. 3. física do solo. 4. *Glycine max*. 5. seletividade. I. Braz, Guilherme Braga Pereira. II. Título.

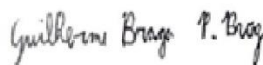
CDD:

BRUNO CÉSAR SILVA PEREIRA

**COMPACTAÇÃO DO SOLO: INTERAÇÕES NA SELETIVIDADE DE
HERBICIDAS PARA A CULTURA DA SOJA**

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

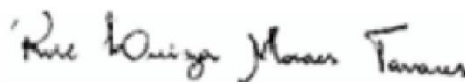
APROVAÇÃO: 31 de janeiro de 2023



Prof. Dr. Guilherme Braga Pereira Braz
Presidente da Banca Examinadora
Membro – FA/UniRV



Prof. Dr. Márcio Rosa
Membro - FA/UniRV



Profª. Dra. Rose Luiza Moraes Tavares
Membro – FA/UniRV

FELLIPE GOULART
MACHADO:04041227100

Assinado de forma digital por FELLIPE
GOULART MACHADO:04041227100
Dados: 2023.01.31 16:20:54 -03'00'

Dr. Fellipe Goulart Machado
Membro – Pesquisa/CentroAgro

DEDICATÓRIA

Aos meus pais: Maria das Graças Silva de Jesus Pereira e Luís Eduardo de Jesus Pereira, por todo o apoio dedicado, durante este período e à Viviane Lovatto, pelo companheirismo no percurso até aqui.

EPÍGRAFE

“Tudo tem seu tempo e até certas manifestações mais vigorosas e originais entram em voga ou saem de moda. Mas a sabedoria tem uma vantagem: é eterna!”

Baltasar Gracián.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder todas as bênçãos necessárias, me garantindo os melhores percursos em minha vida.

Aos meus pais: Maria das Graças Silva de Jesus Pereira e Luís Eduardo de Jesus Pereira, pelo apoio incondicional na busca de meus objetivos.

À Viviane Lovatto, por me incentivar, apoiar e (re)energizar, sempre com muito amor e carinho.

Ao meu irmão Aldo Luís, pelas boas conversas, sempre oportunas.

Ao meu orientador Prof. Dr. Guilherme Braga Pereira Braz, a quem dedico total respeito pelo profissionalismo e competência. Aqui agradeço por todo conhecimento compartilhado e pronto entendimento e atendimento às mudanças/ajustes e atrasos no percurso deste trabalho. Além do mais, gratidão eterna por ter se apresentado como esta grande pessoa e que nos trajetos da nossa convivência orientador/orientado, hoje resumo em um grande amigo!

Aos Professores da Universidade de Rio Verde (UniRV), Profa. Dra. Camila Jorge Bernabé Ferreira e Prof. Dr. Matheus de Freitas Souza, pelo apoio incondicional na condução deste trabalho.

Aos Bolsistas de Iniciação Científica: Gabriel Henrique Vian e Ana Paula Sousa Silva, pela condução dedicada e comprometida das atividades realizadas ao decorrer deste projeto.

À Campos Pesquisa Agrícola, pela oportunidade de desenvolvimento profissional. Agradecimento especial, ao Prof. Dr. Hercules Diniz Campos, por sempre acreditar e investir em meu potencial pessoal/profissional.

À Rizzia Ribeiro Arantes, secretária do PPGPV/UniRV, por toda a preocupação e pronto socorro nas demandas burocráticas do programa. Sua presteza e amizade é sempre carinhosamente lembrada!

À UniRV e ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal (PPGPV) pela oportunidade de realização do curso de Mestrado.

A todos os professores do PPGPV/UniRV, pelos muitos ensinamentos conferidos.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de taxa durante o período de realização do Mestrado.

Aos amigos de trabalho: Lorena, Fernando (Ferruginha) e Rose, pelo companheirismo de sempre.

Aos estagiários da Campos Pesquisa Agrícola, pelo apoio na condução das atividades.

Aos amigos, com quem tive convivência na UniRV, durante o período de realização do Mestrado.

Aos amigos das farras, os quais sempre foram necessários nos momentos de descontração.

E a quem de alguma forma carregou-me de boas energias na condução desta titulação.

BIOGRAFIA

BRUNO CÉSAR SILVA PEREIRA, filho de Maria das Graças Silva de Jesus Pereira e Luís Eduardo de Jesus Pereira, natural de Viçosa, Minas Gerais, nasceu em 08 de dezembro de 1986.

Graduado em Engenharia Florestal, pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) em julho de 2011, trabalhou pelo período de 7 anos em empresa privada do setor de projetos de licenciamento ambiental e exploração de recursos naturais nos Estados: Maranhão, Pará, Piauí, Tocantins, Rio Grande do Norte e Pernambuco, findando o seu vínculo empregatício em julho de 2018.

Ingressou no curso de Agronomia em agosto de 2018, na Universidade de Rio Verde (UniRV), no Estado de Goiás, tendo desenvolvido trabalhos de Iniciação Científica sob a orientação do Prof. Dr. Guilherme Braga Pereira Braz. Durante este período, conduziu trabalhos a campo, sendo inclusive agraciado com a premiação do melhor trabalho de IC, para Ciências Agrárias, no XIV Congresso de Iniciação Científica da UniRV (2020). Atuou durante todo o período de graduação como estagiário de pesquisa no Grupo Associado de Pesquisa do Sudoeste Goiano (GAPES), desenvolvendo atividades de suporte à experimentação agrícola. Em julho de 2020, bacharelou-se em Agronomia pela UniRV.

Em agosto de 2020, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PPGPV) da UniRV, em nível de Mestrado (*Stricto sensu*) na área de concentração Proteção de Plantas, sob à orientação do Prof. Dr. Guilherme Braga Pereira Braz e coorientação da Profa. Dra. Camila Jorge Bernabé Ferreira. Atualmente é um dos responsáveis pelo desenvolvimento de pesquisas agrícolas na Campos Pesquisa Agrícola Ltda situada em Rio Verde, Goiás, empresa que realiza experimentos voltados para área de Proteção de Plantas, em especial, na área de fitopatologia.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
RESUMO GERAL.....	x
GENERAL ABSTRACT.....	xi
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	2
REFERÊNCIAS.....	7
CAPÍTULO I - INTERAÇÃO ENTRE COMPACTAÇÃO DO SOLO E HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES NO APARATO FISIOLÓGICO E DESENVOLVIMENTO INICIAL DA SOJA.....	11
RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	12
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
4 CONCLUSÃO.....	24
REFERÊNCIAS.....	25
CAPÍTULO II - SELETIVIDADE DE HERBICIDAS APLICADOS EM PRÉ- EMERGÊNCIA DA SOJA CULTIVADA EM SOLO COMPACTADO.....	28
RESUMO.....	28
ABSTRACT.....	29
1 INTRODUÇÃO.....	30
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4 CONCLUSÕES.....	40
REFERÊNCIAS.....	40
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
ANEXO.....	44

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Relação de herbicidas, doses e mecanismos de ação avaliados em aplicações em pré-emergência na cultura da soja. Rio Verde (GO), 2021/2022.....	16
TABELA 2	Notas de fitointoxicação aos 7, 14 e 28 DAE da soja em função da condição física do solo e aplicação de herbicidas em pré-emergência. Rio Verde (GO), 2021/202.....	18
TABELA 3	Resumo ANOVA ($F_{\text{Calculado}} + CV$) para as avaliações de altura de plantas (AP), índice relativo de clorofila a (IRCa) e b (IRCb), taxa de assimilação de carbono (A), taxa transpiratória (E), massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR) da soja em função da condição física do solo e aplicação de herbicidas em pré-emergência. Rio Verde (GO), 2021/2022.....	20
TABELA 4	Resultados médios para altura de plantas aos 15 DAE da soja em função da condição física do solo e aplicação de herbicidas em pré-emergência. Rio Verde (GO), 2021/2022.....	21
TABELA 5	Resultados médios para índice relativo de clorofila a e b em plantas de soja em função da condição física do solo e aplicação de herbicidas em pré-emergência. Rio Verde (GO), 2021/2022.....	21
TABELA 6	Resultados médios para taxa de assimilação de carbono (A) e taxa transpiratória (E) em plantas de soja em função da condição física do solo e aplicação de herbicidas em pré-emergência. Rio Verde (GO), 2021/2022.....	22
TABELA 7	Resultados médios para massa seca de parte aérea e massa seca de raiz em plantas de soja em função da condição física do solo e aplicação de herbicidas em pré-emergência. Rio Verde (GO), 2021/2022.....	23
TABELA 8	Notas de fitointoxicação aos 7, 14 e 28 DAE da soja em função da condição física do solo e aplicação de herbicidas em pré-emergência da cultura. Rio Verde (GO), 2021/2022.....	36

TABELA 9	Resumo ANOVA ($F_{\text{Calculado}} + CV$) para as avaliações de estande de plantas (EP), altura de plantas (AP), número de vagens por planta (NVG) peso de mil grãos (PMG) e produtividade (PROD) das plantas de soja, em função das aplicações a campo de herbicidas em pré-emergência em solo compactado e não compactado. Rio Verde (GO), 2021/2022.....	37
TABELA 10	Resultados médios para as avaliações de estande de plantas (EP), altura de plantas (AP), número de vagens por planta (NVG), peso de mil grãos (PMG) e produtividade (PROD) da soja em função da condição física do solo e aplicações de herbicidas em pré-emergência da cultura da soja. Rio Verde (GO), 2021/2022.....	38
TABELA 11	Análise do solo (profundidade 00-20 cm) amostrado em função da condição física (compactado e não compactado) após o término de condução do experimento. Rio Verde (GO), 2021/2022.....	39

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Aspecto visual das plantas aos 28 DAE da soja em função da condição física do solo e aplicação de herbicidas em pré-emergência. Rio Verde (GO), 2021/2022.....	19
FIGURA 2	Aspecto visual do sistema radicular das plantas aos 50 DAE da soja em função da condição física do solo e aplicação de herbicidas em pré-emergência. Rio Verde (GO), 2021/2022.....	23
FIGURA 3	Temperaturas máxima e mínima e precipitações observadas durante o período de condução a campo do experimento realizado com soja submetida ao cultivo em solo compactado e aplicação de herbicidas em pré-emergência. Rio Verde (GO), 2021/2022.....	32
FIGURA 4	Valores de resistência a penetração após a realização do processo de compactação do solo por meio de tráfego repetido e continuado de máquina pesada e registro do tráfego da máquina durante o processo de compactação. Rio Verde (GO), 2021/2022.....	34

RESUMO GERAL

PEREIRA, B.C.S. M.S., UniRV – Universidade de Rio Verde, janeiro de 2023. **Compactação do solo: interações na seletividade de herbicidas para a cultura da soja.** Orientador: Prof. Dr. Guilherme Braga Pereira Braz. Coorientadora: Profa. Dra. Camila Jorge Bernabé Ferreira.

Solos compactados podem afetar negativamente a seletividade de herbicidas aplicados em pré-emergência, na cultura da soja, já que a dinâmica destes agroquímicos sofre influência direta de um ambiente fisicamente desequilibrado. Desta forma, estabelece-se a hipótese de existirem interações nas aplicações de herbicidas com solos compactados. Sendo assim, o presente trabalho objetivou avaliar a interação entre a compactação do solo e a seletividade de herbicidas aplicados em pré-emergência da soja, aferindo-se os efeitos em parâmetros fisiológicos e agrônômicos desta cultura. Para tanto, foram conduzidos dois ensaios, um em casa-de-vegetação e outro sob condições de campo. Em casa-de-vegetação o estudo foi realizado em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x8, com 5 repetições, ao passo que a campo, o delineamento utilizado foi o de blocos casualizado, estando os tratamentos dispostos em esquema de parcelas subdivididas (2x8), com 6 repetições. Em ambos os experimentos o primeiro fator/parcela correspondeu a condição física do solo: ausência e presença da compactação, ao passo que o segundo fator/subparcela foi constituído pela aplicação de herbicidas em pré-emergência: clomazone, diclosulam, flumioxazin, S-metolachlor, [imazethapyr + flumioxazin], [pyroxasulfone + flumioxazin], [sulfentrazone + diuron], além de uma testemunha sem herbicida. Para o estudo em casa-de-vegetação, houve interação entre a compactação do solo e os herbicidas aplicados em pré-emergência para índice relativo de clorofila *b* e massa seca de raiz. Ademais, o fator herbicidas isolado não promoveu alterações em nenhuma das variáveis morfofisiológicas avaliadas. A compactação de forma isolada impactou negativamente as variáveis *í* de clorofila *b*, fotossíntese líquida e crescimento de raiz, havendo reduções nos valores destas variáveis quando a soja foi submetida ao crescimento em solo compactado. Para o experimento conduzido a campo, não houveram interações entre os fatores (condição física do solo *versus* herbicidas) para nenhuma das variáveis analisadas, nem tampouco efeito dos herbicidas de forma isolada. O fator compactação do solo isolado impactou negativamente o estande de plantas e peso de mil grãos da soja, visualizando-se reduções nos valores deste parâmetro quando a soja foi cultivada em solo compactado.

Palavras-chave: controle químico, dinâmica de herbicidas, física do solo, *Glycine max*, seletividade.

GENERAL ABSTRACT

PEREIRA, B.C.S. M.S., UniRV - University of Rio Verde, January 2023. Soil compaction: interactions in the selectivity of herbicides for the soybean crop. Advisor: Prof. Dr. Guilherme Braga Pereira Braz. Co-advisor: Prof. Dr. Camila Jorge Bernabé Ferreira.

Compacted soils may be negatively affecting the selectivity of herbicides applied in pre-emergence in the soybean crop since the dynamics of these agrochemicals are directly influenced by a physically unbalanced environment. In this way, the hypothesis is established that there are interactions in the application of herbicides with compacted soils. Therefore, the present work aimed to investigate possible negative effects on the morpho-physiological characteristics of soybean plants, as well as on the agronomic and yield performance of this crop. For this purpose, two trials were carried out, one in a greenhouse and the other under field conditions. In a greenhouse, the study was carried out in a completely randomized design in a 2x8 factorial scheme, with 5 replications, while in the field, the design used was randomized blocks, with the treatments arranged in a split-plot scheme (2x8), with 6 repetitions. In both experiments, the first factor/plot corresponded to the physical condition of the soil: absence and presence of compaction, while in the second factor/subplot, it was constituted by the application of pre-emergence herbicides: clomazone, diclosulam, flumioxazin, S-metolachlor, [imazethapyr + flumioxazin], [pyroxasulfone + flumioxazin], [sulfentrazone + diuron], in addition to control without herbicide. For the greenhouse study, there was a significant interaction between soil compaction and herbicides applied in pre-emergence for a relative index of chlorophyll b and root dry mass. Furthermore, the isolated herbicide factor did not promote significant changes in any of the morphophysiological variables evaluated. Compaction alone had a negative impact on the variables relative index of chlorophyll a and carbon assimilation rate, with reductions in the values of these variables when the soybean was submitted to growth in compacted soil. For the experiment conducted in the field, there were no significant interactions between the factors (physical condition of the soil versus herbicides) for any of the analyzed variables, nor the effect of herbicides alone. The isolated soil compaction factor negatively impacted the plant stand and the thousand-grain mass of the soybean, showing reductions in the values of this parameter when the soybean was grown in compacted soil.

Keywords: chemical control, herbicide fate, soil physics, Glycine max, selectivity.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A manutenção da competitividade da produção agrícola da soja depende, entre vários fatores, das práticas relacionadas à proteção das plantas e da construção de um sistema produtivo equilibrado, sobretudo, otimizando as condições: químicas, físicas e biológicas do solo agricultável. No tocante ao controle de plantas daninhas, pragas e doenças, objetiva-se a mitigação dos possíveis danos que a ocorrência dos ataques ou infestações podem causar aos cultivos, é fundamental para que o estabelecimento de determinado sistema produtivo atinja níveis ótimos de rendimento e economicidade. Da mesma forma, a produtividade em ambientes com limitações inerentes ao sistema edáfico, a exemplo da compactação do solo, tem contribuído para obtenção de níveis inferiores de produtividade em relação ao real potencial produtivo da soja, fato que acaba por reduzindo a rentabilidade do agricultor.

O uso das práticas de proteção de plantas tem como objetivo reduzir os danos causados por problemas fitossanitários às culturas, que estão estimados em níveis superiores aos 30% da produção agrícola. Neste cenário, o controle químico de plantas daninhas, por meio da aplicação de herbicidas, se destaca como a principal estratégia utilizada para o manejo da comunidade infestante em convivência nas lavouras de soja exploradas no Brasil. Melhores resultados de manejo químico de plantas daninhas, principalmente nas fases iniciais de desenvolvimento da cultura, têm sido obtidos com a aplicação de herbicidas em pré-emergência, que visam o controle residual das espécies presentes no banco de sementes.

Os herbicidas utilizados na modalidade em pré-emergência são posicionados em aplicações diretas ao solo/palhada, antes que ocorra a emergência da cultura e das plantas daninhas. Sendo assim, a eficácia e seletividade destas moléculas estão intrinsicamente ligadas com as condições do ambiente edáfico, uma vez que qualquer desarranjo pode afetar a interação entre o herbicida e sua dinâmica no solo. Processos relacionados a lixiviação do herbicida, solubilidade na solução, capacidade adsortiva poderão influenciar diretamente na dinâmica destes produtos no solo. Neste sentido, a compactação do solo se constitui em um fator negativo adicional, que terá influência na dinâmica dos herbicidas no solo, uma vez que esta restrição física afeta as relações no sistema água, solo e planta.

Apesar de aparentemente os temas supracitados não terem conexão direta, estima-se que perdas na produção de soja são maximizadas pela menor seletividade dos herbicidas utilizados na soja quando esta cultura se desenvolve em solo compactado. Há evidências de que exista uma forte correlação de perdas em eficácia e seletividade quando aplicações de herbicidas se

dão em ambientes desarranjados do ponto de vista físico, em especial, em função da compactação de camadas no perfil do solo, uma vez que, como já mencionado, poderá haver prejuízos a dinâmica natural dos pesticidas aplicados no solo.

Os trabalhos abordando a interação entre compactação do solo e seletividade de herbicidas aplicados em pré-emergência ainda são escassos na literatura, fato que abre a necessidade de que estudos sejam direcionados a esta linha de pesquisa, no intuito de gerar informações consistentes a respeito do tema. Neste contexto, o desenvolvimento deste trabalho relacionou-se à temática mencionada, em que foram almejadas contribuições para o entendimento da interação entre estes fatores, criando a possibilidade de busca por alternativas para o controle de plantas daninhas na soja, entendendo a dinâmica de produtos no sistema solo e planta sob condições de compactação do solo.

Desta forma, ao realizar o presente estudo, objetivou-se avaliar a interação entre a compactação do solo e a seletividade de herbicidas aplicados em pré-emergência da soja, aferindo-se os efeitos em parâmetros fisiológicos e agronômicos desta cultura.

2 REVISÃO DE LITERATURA

a) A cultura da soja: representatividade no cenário agrícola e possíveis limitações no sistema produtivo

A agricultura brasileira apresenta papel de destaque na sustentabilidade econômica nacional, estando o país listado entre os maiores produtores de alimentos do mundo e sendo rotineiramente apontado como o celeiro mundial da produção de alimentos, para as próximas gerações. Para que o país saísse do status de grande importador de alimentos em meados do século XX e se tornasse um dos maiores exportadores mundiais no século XXI, o investimento em ciência, por meio da criação de empresas nacionais de pesquisa e fortalecimento das universidades foi fundamental.

Prova disso refere-se ao patamar atingido para a cultura da soja na safra 2021/2022, obtendo uma produção superior aos 125 milhões de toneladas da oleaginosa (CONAB, 2022). Este fato merece destaque, especialmente, quando se leva em consideração o centro de origem da espécie, que se localiza no continente asiático, e em menos de meio século, o Brasil se tornou um dos expoentes mundiais na produção de soja. Toda essa discussão reforça a necessidade de investimentos contínuos em pesquisa na área de Ciências Agrárias, para a qual o país apresenta grande aptidão.

Neste sentido, nas últimas safras de soja alguns fatores têm sido comumente apontados como limitantes para a obtenção de maiores produtividades desta cultura, destacando-se: a ocorrência de solos compactados e a interferência de plantas daninhas nesta cultura. A compactação é resultado da diminuição do volume de sólidos do solo quando uma pressão externa é aplicada, fato que causa redução na porosidade total e aeração do solo, além de aumento na densidade do solo (FERREIRA et al., 2020). Como consequências deste processo, ocorrem: a limitação física do crescimento do sistema radicular, diminuição da taxa de infiltração de água no solo, menor disponibilidade de oxigênio para as raízes e redução na acessibilidade de água e nutrientes para as plantas que desencadeiam restrições fisiológicas, ao seu crescimento (YADAV et al., 2019).

De maneira análoga aos prejuízos provocados pela compactação do solo, as plantas daninhas vêm causando uma série de prejuízos nos sistemas de produção de soja, especialmente quando apresentam biótipos com resistência a herbicidas. Atualmente, considerando apenas o sistema de produção de soja, estima-se que o custo médio anual da resistência de plantas no Brasil seja da ordem de R\$ 4.918.820.000,00, sendo que este valor pode atingir o total de R\$ 9 bilhões ao ano, se forem acrescidas as perdas ocasionadas no rendimento da cultura devido à interferência da comunidade infestante (ADEGAS et al., 2017).

Sobre a intensidade das perdas de produtividade na cultura da soja provocadas pela interferência das plantas daninhas, considera-se duas das principais espécies no Brasil, que são constituídas pela buva (*Conyza* sp.) e o capim-amargoso (*Digitaria insularis*), as reduções podem chegar a 63 e 80%, respectivamente (BRAZ et al., 2017 e 2021). Este fato se torna ainda mais problemático, quando se considera que tanto a buva como o capim-amargoso já se encontram disseminados em todas as regiões geográficas do país, sendo comum a ocorrência de infestações simultâneas de ambas com biótipos apresentando resistência ao glyphosate (OVEJERO et al., 2017; MENDES et al., 2020).

Diante de toda a problemática relacionada a interferência das plantas daninhas na soja, torna-se evidente a necessidade de adotar o manejo integrado da comunidade infestante com o intuito de assegurar o potencial produtivo da cultura (PETTER et al., 2015). Neste sentido, o método químico é amplamente utilizado para o controle de plantas daninhas na soja, dadas as suas características de: rápida execução, baixa dependência de mão-de-obra e boa relação custo-benefício (CONTIERO et al., 2019). No controle químico de plantas daninhas na soja, os herbicidas podem ser utilizados em três modalidades de aplicação em relação ao ciclo da cultura, sendo estas: a dessecação pré-semeadura (manejo), pré-emergência e pós-emergência (TROXLER et al., 2002).

Nos últimos anos, devido à intensificação de registros acerca da resistência das plantas daninhas, o uso de herbicidas em pré-emergência na cultura da soja voltou a ser amplamente disseminado, visto que nesta modalidade, as plantas apresentam maior suscetibilidade a ação tóxica dos ingredientes ativos (CORADIN et al., 2019). Os herbicidas aplicados em pré-emergência se caracterizam por apresentar atividade residual no solo, sendo este comportamento influenciado pelas propriedades físico-químicas, tanto das moléculas herbicidas, como pelas do solo (INOUE et al., 2003).

Ademais, a dinâmica dos herbicidas utilizados em pré-emergência pode variar também, em função da condição física do solo, uma vez que o comportamento dos processos hídricos influenciará de maneira direta na persistência da molécula no ambiente edáfico (ZOBIOLE et al., 2007). O conhecimento das características e dinâmica dos produtos aplicados ao solo, visando à eliminação de plantas infestantes, é de suma importância para o sucesso do controle químico de plantas daninhas, especialmente em relação à disponibilidade ou retenção do produto no solo (OLIVEIRA JR.; CONSTANTIN, 2001), isto, associado ao entendimento de como a compactação pode interferir nos processos existentes na relação produto x solo x planta e substancialmente na assertividade do controle de plantas daninhas em diferentes ambientes de produção.

b) Compactação do solo: limitações produtivas em um ambiente desarranjado fisicamente

As atividades agropecuárias por meio da praticabilidade por cultivos sucessivos, podem ser originadoras de condições de aumento da: compactação, erosão e baixa taxa de acréscimo da matéria orgânica no solo (LANDERS et al., 2013; BONETTI, 2018). Tais ocorrências reduzem a capacidade produtiva do sistema, além de aumentarem os custos de produção reduzindo assim, a liquidez da atividade agrícola (FREITAS; LANDERS, 2014; BONETTI, 2018).

Perdas oriundas de cultivos agrícolas em solos compactados são estimadas entre 12 a 37% na produtividade da soja (BEULTER; CENTURION, 2004; FERREIRA et al., 2020). Estas perdas relacionam-se ao déficit hídrico e ao impedimento mecânico para o crescimento do sistema radicular das plantas, como também, naqueles com período de excesso hídrico, fato que ocasiona redução da disponibilidade de oxigênio para as plantas devido a menor taxa de infiltração de água no solo em ambientes com presença de compactação (GODWIN; SPOOR, 2015; SCARABELI et al., 2018).

Mesmo que no contexto amplo o sistema de plantio direto tende a reduzir a circulação de máquinas no campo, o tráfego concentrado de maquinário pesado para principais práticas

agrícolas em proximidade às linhas de cultivo, tem o potencial de aumentar a ocorrência dos problemas de compactação do solo (SIVARAJAN et al., 2018; FERREIRA et al., 2020). Adicionalmente, em camadas mais superficiais do solo, ocorre rearranjo natural das partículas do solo e ao preparo restrito à linha de semeadura (SILVA et al., 2018).

Avaliando a diminuição do potencial produtivo de plantas, Colombo et al. (2017), relataram efeitos interativos entre a resistência do solo à penetração, a arquitetura da raiz e a água disponível afetando diretamente o desenvolvimento de plantas de milho. Diagnosticou-se que o crescimento da raiz fica restrito as camadas mais superficiais em resposta ao aumento da resistência do solo à penetração. Como consequência ao baixo índice de crescimento da raiz em camadas mais profundas do solo, a captação de água do subsolo é restrita, diminuindo o crescimento da planta e a sua produtividade, especialmente, em safras em que há restrições hídricas. Portanto, mesmo diante dos benefícios que o plantio direto proporciona ao solo e ao ambiente de produção, pesquisadores vêm observando aspectos negligenciados ao uso correto desta prática, fato que tem contribuído na formação de camadas subsuperficiais compactadas prejudiciais ao desenvolvimento radicular das culturas que, inclusive, podem interagir negativamente na dinâmica de herbicidas no solo.

c) Como os herbicidas aplicados em pré-emergência interagem no sistema solo x planta?

O comportamento dos herbicidas no solo apresenta grande variabilidade e imprevisibilidade, uma vez que as características físicas e químicas de determinada molécula tendem a interagir com as propriedades intrínsecas ao solo. Neste sentido, textura, pH, matéria orgânica e umidade do solo afetam grandemente a dinâmica dos herbicidas no solo, o que cria interação na disponibilidade destas moléculas no ambiente edáfico (ROMAN et al., 2007), podendo haver alterações tanto na eficácia de controle das plantas daninhas, como na própria seletividade para a cultura de interesse.

No contexto das principais propriedades físico-químicas das moléculas herbicidas: a solubilidade em água (S), pressão de vapor (Pv), coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}), constante de equilíbrio de ionização ácido (pKa) ou básico (pKb), reatividade ou meia vida ($t_{1/2}$), e a constante de sorção normalizada para o teor de carbono orgânico (K_{oc}) também afetam a dinâmica dos herbicidas no solo (OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2011; MONQUERO; SILVA, 2021). A seguir será apresentado de forma simplificada as principais propriedades físico-químicas das moléculas herbicidas e como estas influenciam na dinâmica destes produtos no solo.

A solubilidade das moléculas em água mensurada em mg L^{-1} (ppm), à temperatura de 20 ou r das mesmas. Em termos práticos, a solubilidade diz sobre a disponibilização das moléculas para: absorção, lixiviação e volatilização, quando aplicadas ao solo. De maneira semelhante, a capacidade de as moléculas se desprenderem sob a forma gasosa para a atmosfera é determinada pela sua pressão de vapor, propriedade mensurada em mPa, que indica a perda da substância por meio da volatilização em função das condições edafoclimáticas (KARAM, 2005; CHRISTOFFOLETI et al., 2008; PACHECO, 2018).

Outra propriedade capaz de interferir na dinâmica das moléculas herbicidas aplicadas no solo é a polaridade (ou coeficiente de distribuição octanol/água - K_{ow}) que mensura a lipofilicidade de determinada molécula, representando a sua capacidade de migração de um solvente apolar (octanol) para um solvente polar (água). Em termos práticos, quanto maior o K_{ow} , maior a hidrofobia da molécula, reduzindo a sua disponibilidade na solução do solo. Tal situação proporciona maior aderência do herbicida à fração mineral do solo e, conseqüentemente, aumenta a persistência desta molécula no ambiente aplicado (SILVA; SILVA, 2007, SANTOS, 2019).

Adicionalmente, os herbicidas podem ainda serem caracterizados por sua capacidade de dissociação iônica, dada pelas propriedades pK_a e pK_b , que representam qual nível de pH o herbicida estará em metades iguais de partição molecular ou iônica. Esta propriedade caracteriza um herbicida ácido fraco ou básico fraco (CHRISTOFFOLETI et al., 2008; OLIVEIRA JR; REGITANO, 2009; PACHECO, 2018). Exemplificando, para os herbicidas ácidos, havendo condições de igualdade de pH do meio e o pK_a da substância, existirão partes iguais de ânions e íons neutros, ao passo que a maior acidez do solo, contribuirá para que as moléculas herbicidas permaneçam em sua forma molecular. A elevação do pH, neste sentido, promoverá maior dissociação e o ingrediente ativo do herbicida permanecerá em sua forma aniônica, promovendo a doação de elétrons. Contrariamente, para herbicidas básicos a diminuição do pH promoverá maior dissociação e disponibilização destes em forma catiônica (OLIVEIRA; CONSTANTIN, 2001; CHRISTOFFOLETI et al., 2008; PACHECO, 2018).

Outra propriedade determinante no comportamento dos herbicidas no solo é o tempo de meia vida, característica que indica o tempo necessário para que ocorra a degradação da molécula no ambiente, dada por fatores bióticos ou abióticos (SAMGHANI; HOSSEINFATEMI, 2016). Mesmo sendo uma propriedade intrínseca à molécula, destaca-se que a meia vida não determina a persistência dessas no solo, já que há dependência dos fatores: solo, atividade microbiana, condições ambientais e práticas culturais (CHRISTOFFOLETI et al., 2008, PACHECO, 2018)

A sorção dos herbicidas na fração orgânica do solo é mensurada pelo K_{oc} de cada molécula. Esta variável corresponde à capacidade dos produtos estarem adsorvidos na fração orgânica (carbono orgânico) do solo. Em resumo, a sorção do herbicida controla a quantidade de moléculas disponíveis na solução do solo e determina: a persistência, a lixiviação, a mobilidade e a biodisponibilidade do herbicida no ambiente (ARSEGO, 2009, PACHECO, 2018). As moléculas do herbicida sorvidas aos coloides podem retornar, naturalmente, para a solução do solo, pelo processo denominado de dessorção, influenciando a lixiviação ou disponibilidade destas moléculas no solo (PACHECO, 2018).

Em virtude de existir forte conexão entre as características do solo e dos herbicidas aplicados em pré-emergência, é imprescindível que se tenha clareza sobre a interação destes fatores. A dinâmica de moléculas herbicidas no ambiente está vinculada às boas condições do ambiente, uma vez que características do solo além de alterarem a persistência das moléculas na solução do solo, acabam por interferir na eficácia e na seletividade do ingrediente ativo em culturas de interesse econômico (BLANCO, 1979; GAZOLA et al., 2016).

REFERÊNCIAS

ADEGAS, F.S.; VARGAS, L.; GAZZIERO, D.L.P.; KARAM, D.; SILVA, A.F.; AGOSTINETTO, D. **Impacto econômico da resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil**. Londrina: EMBRAPA SOJA, 2017. 11 p. (Circular Técnica 123).

ARSEGO, I. B. **Sorção dos herbicidas diuron e hexazinone em solos de texturas contrastantes**. 2009. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) - Faculdade Ciências Agronomia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

BEULTER, A.N.; CENTURION, J.F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.6, p.581-588, 2004.

BLANCO, H. G. Destino, comportamento e resíduos dos herbicidas no solo. **O Biológico**, v. 45, n. 11, p. 225-248, 1979.

BONETTI, J.A.; PAULINO, H.B.; SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C., CAETANO, J.O. Soil physical and biological properties in an integrated crop-livestock system in the Brazilian Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.53, p.1239-1247, 2018.

BRAZ, G.B.P. CRUVINEL, A.G.; CANEPPELE, A.B.; TAKANO, H.K.; SILVA, A.G.; OLIVEIRA JR., R.S. Sourgrass interference in soybean crop cultivated in Brazilian *Cerrado*. **Revista Caatinga**, 2021.

BRAZ, G.B.P.; OLIVEIRA JR., R.S.; ZOBIOLE, L.H.S.; RUBIN, R.S.; VOGLEWEDE, C.; CONSTANTIN, J.; TAKANO, H.K. Sumatran Fleabane (*Conyza sumatrensis*) control in no-tillage soybean with diclosulam plus halauxifen-methyl. **Weed Technology**, v.31, p.184-92, 2017.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; OVEJERO, R. F. L.; DAMIN, V.; CARVALHO, S. J. P.; NICOLAI, M. **Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Os autores, 2008. 85 p

COLOMBO, G. A.; LOPES, M. B. S.; DOTTO, M. C.; CAMPESTRINI, R.; LIMA, S. DE O. Atributos físicos de um latossolo vermelho-amarelo distrófico sob diferentes sistemas de manejo no cerrado tocantinense. **Campo Digital**, v.12, p. 21–29, 2017

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim de monitoramento agrícola**. v.11, n.7, p. 1-18, jul. 2022.

CONTIERO, R.L.; RIOS, F.A.; BIFFE, D.F.; BRAZ, G.B.P.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., R.S.; GHENO, E.A.; LUCIO, F.R. Effect of day time climatic conditions associated with different 2,4-D formulations on spray deposition and weed control. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v.54, n.10, p.1-7, 2019.

CORADIN, J.; BRAZ, G.B.P.; MACHADO, F.G.; SILVA, A.G.; SOUSA, J. V. A. Herbicidas aplicados em pré-emergência para o controle de milho voluntário e capim-amargoso. **Revista Científica Rural**, v.21, n.3, p.28-38, 2019.

FERREIRA, C.J.B.; TORMENA, C.A.; SEVERIANO, E.C.; ZOTARELLI, L.; BETIOLI JUNIOR, E. Soil compaction influences soil physical quality and soybean yield under long-term no-tillage. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v.66, n.2, p.1-14, 2020.

FREITAS, P.L.; LANDERS, J.N. The transformation of agriculture in Brazil through development and adoption of zero tillage conservation agriculture. **International Soil and Water Conservation Research**, v.2, p.35-46, 2014.

GAZOLA, T.; DIAS, M.; BELAPART, D.; CASTRO, E.; BIANCHI, L. Efeitos do diclosulam na soja cultivada em solos de diferentes classes texturais. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n. 4, 353-361, 2016.

GODWIN, R.J.; SPOOR, G. **Choosing and evaluating soil improvements by subsoiling and compaction control**. In: Visual Soil Evaluation, p.66-85, 2015.

INOUE, M.H.; OLIVEIRA JR., R.S.; REGITANO, J.B.; TORMENA, C.A.; TORNISIELO, V.L.; CONSTANTIN, J. Critérios para avaliação do potencial de lixiviação dos herbicidas comercializados no Estado do Paraná. **Planta Daninha**, v.21, n.2, p.313-323, 2003.

KARAM, D. Efeito residual dos herbicidas aplicados na cultura da soja no milho safrinha em sucessão. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 8., 2005, Assis. **Anais...** Campinas: Instituto Agrônomo, 2005. p. 175-180.

LANDERS, J.N.; RASS, G.; FREITAS, P.L. de; BASCH, G.; GONZÁLEZ SANCHEZ, E.J.; TABAGLIO, V.; KASSAN, A.; DERPSCH, R.; FRIEDRICH, T. Effects of zero tillage (no-till) conservation agriculture on soil physical and biological properties and their contributions to sustainability. **Geophysical Research Abstracts**, v.15, 2013.

MENDES, R.R.; TAKANO, H.K.; GONÇALVES NETTO, A.; PICOLI JUNIOR, G.J.; CAVENAGHI, A.L.; SILVA, V.F.V.; NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; OLIVEIRA JR., R.S.; MELO, M.S.C.; OVEJERO, R.F.L. Survey of glyphosate-resistant and susceptible *Conyza sp.* populations in Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, no prelo, 2020.

MONQUERO, P.A.; SILVA, P.V. Comportamento de herbicidas no meio ambiente. In: BARROSO, A.A.M.; MURATA, A.T. (org.). **Matologia: estudo sobre plantas daninhas**. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 2021, p. 253-294. Disponível em: https://www.matologia.com/_files/ugd/1a54d2_3829fc6f7e9145f8bbdc7a2eeca4d4d3.pdf#page=253. Acesso em: 15/11/2022.

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

OLIVEIRA JR., R.S.; REGITANO, J.B. Dinâmica de pesticidas no solo. In: MELO V.F.; ALLEONI, L.R.F. (Ed.). **Química e mineralogia do solo: parte II, aplicações**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 187-248.

OLIVEIRA, M.F.; BRIGHENTI, A.M. Comportamento dos herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. (Eds.). **Biologia e Manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Ompipax, 2011, p.263-304

OVEJERO, R.F.L.; TAKANO, H.K.; NICOLAI, M.; FERREIRA, ANTONIO.; MELO, M.S.C.; CAVENAGHI, A.L.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; OLIVEIRA JR., R.S. Frequency and dispersal of glyphosate-resistant sourgrass (*Digitaria insularis*) populations across Brazilian agricultural production areas. **Weed Science**, v.65, n.2, p.285-294, 2017.

PACHECO, L.C.P.S. **Atividade de herbicidas pré-emergentes em solos do Cerrado, na presença e ausência de resíduos orgânicos**. 2017. 101F. Tese (Doutorado em agronomia). Universidade Federal de Goiás. Goiânia/GO, 2017.

PETTER, F.A.; SULZBACH, A.M.; SILVA, A.F.; FIORINI, I.V.A.; MORAIS, L.A.; PACHECO, L.P. Uso de plantas de cobertura como ferramenta na estratégia de manejo de capim-amargoso. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.14, n.3, p.200-209, 2015.

ROMAN, E.S.; VARGAS, L., RIZZARDI, M.A., HALL, L., BECKIE, H., WOLF, T.M. **Como funcionam os herbicidas – da biologia a aplicação**. Berthier: Passo Fundo, 2007.

SAMGHANI, K.; HOSSEINFATEMI, M. Developing a support vector machine based QSPR model for prediction of half-life of some herbicides. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 129, p. 10-15, 2016.

SANTOS, I.T. **Método para estudar a dinâmica de herbicidas em palha**. 2019. 69f. Dissertação (Mestrado em agronomia). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Botucatu, SP. 2019.

SCARABELI, I.G.R.; TORMENA, C.A.; FAVILLA, H.S.; FIGUEIREDO, G.C. Field-saturated hydraulic conductivity measured by two techniques and at different sampling positions relative to maize-crop rows and interrows. **Semina: Ciências Agrárias**, v.39, n.1, p.403-410, 2018.

SILVA, F.R.; ALBUQUERQUE, J. A.; BORTOLINI, D.; COSTA, A.; FONTOURA S.M. Semeadura direta com diferentes mecanismos sulcadores: alterações em propriedades em Latossolo Bruno e produtividades das culturas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.17, n.3, p.428-434, 2018.

SIVARAJAN, S.; MAHARLOOEI, M.; BAJWA, S.G.; NOWATZKI J. Impact of soil compaction due to wheel traffic on corn and soybean growth, development and yield. **Soil Tillage Research**, v.175, p.234-243, 2018.

TROXLER, S.C.; ASKEW, S.D.; WILCUT, J.W.; SMITH, W.D.; PAULSGROVE, M.D. Clomazone, fomesafen, and bromoxynil systems for bromoxynil-resistant cotton (*Gossypium hirsutum*). **Weed Technology**, v.16, n.4, p.838-844, 2002.

YADAV, G.S.; LAL, R; MEENA, R. S.; RIMAL, B. Long-term effects of different passages of vehicular traffic on soil properties and carbon storage of a Crosby silt loam in USA. **Pedosphere**, v.29, n.2, p.150-160, 2019.

CAPÍTULO I

INTERAÇÃO ENTRE COMPACTAÇÃO DO SOLO E HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES NO APARATO FISIOLÓGICO E DESENVOLVIMENTO INICIAL DA SOJA

RESUMO

A compactação impacta negativamente nas funções: físicas, químicas e microbiológicas do solo com reflexos na fisiologia e desenvolvimento das culturas. Herbicidas aplicados em pré-emergência apresentam alteração em sua dinâmica de acordo com as propriedades físico-químicas do solo, fato que pode estar sendo potencializado em função de condições de solos compactados. Desta maneira, estabeleceu-se a hipótese: a interação entre a compactação do solo e a aplicação de herbicidas em pré-emergência pode impactar características morfofisiológicas da soja? Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da compactação do solo e aplicação de herbicidas em pré-emergência da soja nas características morfofisiológicas no período de desenvolvimento inicial da cultura. O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, com 5 repetições. Foi adotado o esquema fatorial 2x8, sendo o primeiro fator relacionado à condição física do solo: compactado e não compactado, e o segundo composto pela aplicação de herbicidas em pré-emergência: clomazone (800 g ha^{-1}), diclosulam ($29,4 \text{ g ha}^{-1}$), flumioxazin (60 g ha^{-1}), S-metolachlor (1.440 g ha^{-1}), [imazethapyr + flumioxazin] ($[106 + 50 \text{ g ha}^{-1}]$), [pyroxasulfone + flumioxazin] ($[90 + 60 \text{ g ha}^{-1}]$), [sulfentrazone + diuron] ($[210 + 420 \text{ g ha}^{-1}]$), além de uma testemunha sem herbicida. As variáveis analisadas para aferir o efeito dos tratamentos na soja foram: fitointoxicação, altura de plantas, índice relativo de clorofila (*a* e *b*), taxa de assimilação de carbono, taxa transpiratória e massa seca de parte aérea e de raiz. Não houveram interações entre a compactação do solo e os herbicidas pré-emergentes pelo teste F para altura inicial de plantas, índice relativo de clorofila *a* e *b* taxa de assimilação de carbono taxa transpiratória e massa seca de parte aérea. O fator isolado a aplicação dos herbicidas não promoveu alterações nas características morfofisiológicas avaliadas. A compactação de forma isolada impactou negativamente nas variáveis índice relativo de clorofila *b*, fotossíntese líquida e crescimento de raiz. A interação entre os fatores herbicidas aplicados em pré-emergência e a compactação do solo influenciou apenas a massa seca de raiz, cenário em que quantidade de raiz de soja com a aplicação da associação entre [pyroxasulfone + flumioxazin] não foi afetada pela compactação do solo.

Palavras-chave: controle químico, dinâmica de herbicidas, física do solo, *Glycine max*, seletividade.

INTERACTION BETWEEN SOIL COMPACTION AND PRE-EMERGENCE HERBICIDES ON THE PHYSIOLOGICAL APPARATUS AND INITIAL DEVELOPMENT OF SOYBEAN

ABSTRACT

Compaction negatively impacts soil physical functions with repercussions on crop physiology and development. Pre-emergence herbicides show alteration in their dynamics according to the soil physicochemical properties, a fact that may be potentiated due to conditions of compacted soils. Thus, the hypothesis is established: can the interaction between soil compaction and pre-emergence herbicide application impact soybean morphophysiological characteristics? In this sense, the objective of this work was to evaluate the influence of soil compaction and herbicide application in the pre-emergence of soybean on the morphophysiological characteristics in the period of the initial development of the crop. The experiment was conducted in a greenhouse, in a completely randomized design, with 5 replications. A 2x8 factorial scheme was adopted, with the first factor related to the physical condition of the soil: compacted and non-compacted, and the second composed by the application of herbicides in pre-emergence: clomazone (800 g ha⁻¹), diclosulam (29.4 g ha⁻¹), flumioxazin (60 g ha⁻¹), S-metolachlor (1,440 g ha⁻¹), [imazethapyr + flumioxazin] ([106 + 50 g ha⁻¹]), [pyroxasulfone + flumioxazin] ([90 + 60 g ha⁻¹]), [sulfentrazone + diuron] ([210 + 420 g ha⁻¹]), in addition to controlling without herbicide. The variables analyzed to assess the effect of treatments on soybeans were: phytointoxication, plant height, relative chlorophyll index (a and b), carbon assimilation rate, transpiration rate, and shoot and root dry mass. There were no interactions between soil compaction and pre-emergent herbicides by the F test for initial plant height, relative chlorophyll a and b index, carbon assimilation rate, transpiration rate, and shoot dry mass. As an isolated factor, the application of herbicides did not change the morphophysiological characteristics evaluated. Compaction in isolation negatively impacted the variables relative index of chlorophyll b, net photosynthesis, and root growth. The interaction between the herbicide factors applied in pre-emergence and soil compaction influenced only root dry mass, a scenario in which the amount of soybean root with the application of the association between [pyroxasulfone + flumioxazin] was not affected by soil compaction.

Keywords: chemical control, fate of herbicide, soil physics, *Glycine max*, selectivity.

1 INTRODUÇÃO

A soja apresenta importante papel nas exportações do mercado brasileiro, fato que fez com que essa cultura se tornasse uma das principais commodities agrícolas no cenário nacional. Prova disso é o frequente crescimento da produção da oleaginosa no país, que para a safra 2021/2022 registrou produção superior aos 125 milhões de toneladas do grão, contribuindo substancialmente para o fortalecimento da economia nacional (CONAB, 2022).

Toda essa potencialidade de expansão do cultivo de soja se tornou possível graças à mecanização dos sistemas de produção em que a cultura é explorada. Nestes ambientes, faz-se o uso de implementos agrícolas durante todo o estabelecimento e condução da cultura, fato que quando empregados de maneira excessiva ou inadequada, acarretam em compactação do solo, modificando as propriedades físicas em função do tráfego intensivo de máquinas (BELANGER et al., 2017; BONINI et al., 2018). As alterações das propriedades físicas do solo, em especial na densidade e porosidade, podem gerar o processo de compactação, sendo que já foi relatado na literatura que as perdas de produtividade da soja cultivada em solos compactados podem variar de 12 a 37% (BEULTER; CENTURION, 2004; BEUTLER et al., 2006; FERREIRA et al., 2020).

Além da redução dada pela perda de qualidade física do ambiente edáfico, prejuízos à rentabilidade do agricultor podem aumentar pela presença de plantas daninhas, as quais interferem no desenvolvimento da cultura devido à competição por: água, nutrientes, luz e espaço, além de apresentar a capacidade de inibição do desenvolvimento das plantas por meio da alelopatia. Anualmente, estima-se que por meio da interferência imposta pela comunidade infestante tem sido visualizados prejuízos financeiros da ordem de 9 bilhões de reais apenas na cultura da soja (ADEGAS et al., 2017). Mensurandas estas reduções Braz et al. (2017) e Braz et al. (2021), estimaram perdas na ordem de 63 e 80% para duas das principais plantas daninhas nas lavouras brasileiras, buva (*Conyza* sp.) e capim-amargoso (*Digitaria insularis*), respectivamente.

O método químico consiste no mais amplamente utilizado para o controle de plantas daninhas na soja, devido as características de rápida execução, baixa dependência de mão-de-obra e boa relação custo-benefício (CONTIERO et al., 2019). Nos últimos anos com a problemática da seleção de plantas daninhas resistentes ao glyphosate, o manejo com a aplicação de herbicidas em pré-emergência tem ganhado cada vez mais espaço. Principalmente por ser uma das melhores alternativas para o manejo da comunidade infestante, visto que

propicia o controle residual por um período maior, em que a planta daninha não apresenta desenvolvimento ou seja, não produz sementes, reduzindo o banco de semente da comunidade infestante do solo. Contudo, é oportuno destacar que a depender das circunstâncias no momento da utilização, a aplicação de herbicidas apresenta potencial fator de risco para a cultura de interesse econômico, já que se constituem em moléculas capazes de causar desarranjos morfofisiológicos em plantas não alvo.

Para que se obtenha o máximo de eficácia no controle de plantas daninhas com o uso dos herbicidas aplicados em pré-emergência é fundamental levar em consideração a interação entre as propriedades físico-químicas do solo e dos herbicidas e como esta poderá impactar na dinâmica de cada molécula, uma vez que existem evidências de perda de eficácia e seletividade para plantas cultivadas a depender desta relação (BLANCO, 1979; GAZOLA et al., 2016). Mesmo em plantas com tolerância ou resistência à aplicação de determinada molécula, pode se esperar a ocorrência do estresse oxidativo, originando as chamadas espécies reativas de oxigênio (EROs) levando a alteração do sistema enzimático prejudicando todo o aparato fisiológico, especialmente a fotossíntese, ao levar a planta a determinado nível de intoxicação (KÖKSAL et al., 2018).

As respostas morfofisiológicas em função da intoxicação por herbicidas nas plantas estão ligadas a vários fatores, destacando-se: o perfil químico da molécula, volume de pulverização, condições climáticas, a microbiota, a umidade e as propriedades físico-químicas do solo (textura, pH, matéria orgânica, entre outras) (SHARMA et al., 2019). Ferri et al. (2000), relataram que as características físico-químicas das moléculas e solo bem como, as condições do ambiente de produção afetam a dinâmica do herbicida aplicado em pré-emergência no solo, o que é potencializado em condições de compactação. Exemplificando, em lavouras de soja, a combinação entre compactação do solo e utilização de herbicidas afeta a seletividade destes para a cultura, havendo elevadas reduções de produtividade pois a presença da compactação do solo faz com que aumente o tempo de permanência dos herbicidas na solução do solo (BIFFE, 2012).

A correlação entre os temas distúrbios morfofisiológicos oriundos da compactação do solo interagindo ao efeito dos herbicidas no metabolismo vegetal, abre premissas para a investigação sobre o quanto maior estão sendo os níveis de intoxicação das plantas sob condições de compactação do solo. Nesta perspectiva o objetivo desse trabalho foi avaliar o impacto da interação entre condição física do solo (compactação) e utilização de herbicidas em pré-emergência nos caracteres fisiológicos da soja, bem como, no crescimento e desenvolvimento inicial da cultura.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação localizada na Universidade de Rio Verde - UniRV, situada no município de Rio Verde, (Goiás), especificamente nas coordenadas geográficas de latitude 17°47'14,11"S e longitude 50°57'53,81"O. O experimento foi conduzido no período de 09/11/2021 até 04/01/2022.

Para a composição das unidades experimentais, foram utilizados vasos plásticos rígidos tipos PAD (propileno de alta densidade) com volume equivalente a 4,0 dm³. Para o preenchimento dos vasos, foi coletado solo em área agricultável nas dependências da UniRV, sendo que o material coletado foi oriundo de área em que o mesmo fora classificado como Latossolo Vermelho distrófico (SANTOS et al., 2018). Após a coleta do solo foi realizada análise físico-química, a qual apresentou os seguintes valores para as diferentes propriedades analisadas: pH (CaCl₂) = 5,30; M.O. = 19,84 g dm⁻³; P = 20,42 mg dm⁻³; K = 365,00 mg dm⁻³; CTC efetiva = 7,01 cmol dm⁻³; argila = 48,7%; silte = 7,4%; e areia = 43,9% (textura argilosa).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, sendo os tratamentos dispostos em esquema fatorial (2x8), totalizando 16 tratamentos com 5 repetições. Os níveis do primeiro fator foram relacionados à condição física do solo: compactado e não compactado. Os níveis do segundo fator foram constituídos de herbicidas aplicados em pré-emergência da soja, acrescido de uma testemunha sem aplicação (Tabela 1). É oportuno destacar que todas as doses dos herbicidas avaliados foram posicionadas dentro do intervalo de registro para a soja de acordo com a bula de cada produto comercial.

Para perfazer os tratamentos com a condição física do solo de compactação, após o preenchimento, os vasos foram levados ao laboratório de Engenharia Mecânica da UniRV. Neste local, o solo contido nas unidades experimentais passou por processo de compressão até que se obtivesse um contraste de compactação entre as duas condições físicas propostas para o experimento. Nas unidades experimentais sem compactação utilizou-se quantidade de solo necessária para chegar à densidade do solo de 1,28 Mg m⁻³, ao passo que naquelas unidades experimentais com compactação, foi adotada quantidade de solo necessária para alcançar a densidade equivalente à 1,65 Mg m⁻³. Assim, para todos os vasos cuja condição seria a compactação realizou-se o umedecimento do solo até que fosse atingida a capacidade de campo do mesmo. Estes valores foram selecionados a partir do trabalho desenvolvido por Guimarães et al. (2013), que realizaram estudo com solo da área experimental para mensurar as curvas para

obtenção da densidade máxima do solo. Para ser possível compactar o solo utilizou-se uma prensa automática (Modelo Instron Emic 23-300) e a força de compactação aplicadas no vaso foi de 5,8 kN, equivalente a 2 kgf cm⁻².

No dia 09 de novembro de 2021, foram semeadas quatro sementes de soja da cultivar CZ36B86 I2X[®] por unidade experimental. Esta cultivar é pertencente ao portfólio da Credenz e se caracteriza por apresentar hábito de crescimento indeterminado, de ciclo precoce, com grupo de maturação de 6.9 para a região em estudo (BASF, 2023). Após a emergência das plântulas de soja, procedeu-se ao desbaste para que fossem mantidas duas plantas por unidade experimental. Na ocasião da semeadura, não foi realizada a prática de adubação, visto que os níveis de fertilidade se encontravam satisfatórios tendo em vista, o tempo total de duração, que o estudo seria conduzido. Foi realizado apenas inoculação das sementes de soja previamente a semeadura para assegurar o êxito do processo de fixação biológica de nitrogênio.

A aplicação dos tratamentos herbicidas em pré-emergência foi realizada na modalidade plante e aplique, sendo as aplicações realizadas imediatamente após a semeadura da soja e o solo das unidades experimentais encontrava-se úmido. Para tanto, foi utilizado pulverizador costal a base de CO₂, munido de 4 pontas XR110.02, espaçadas em 0,50 m, reguladas a pressão de 38 lb pol⁻². Estas condições de aplicação proporcionaram o equivalente a 200 L ha⁻¹ de calda.

Os produtos comerciais utilizados no experimento à base dos ingredientes ativos avaliados foram: clomazone (Gamit[®], 500 g L⁻¹, EC, FMC), diclosulam (Spider[®], 840 g kg⁻¹, WG, Corteva AgriScience), flumioxazin (Flumyzin[®], 500 g L⁻¹, SC, Sumitomo Chemical), S-metolachlor (Dual Gold[®], 960 g L⁻¹, EC, Syngenta), [imazethapyr + flumioxazin] (ZethaMaxx[®], 312 g L⁻¹, SC, Sumitomo Chemical), [pyroxasulfone + flumioxazin] (Kyojin[®], 500 g L⁻¹, SC, Iharabras) e [sulfentrazone + diuron] (Stone[®], 525 g L⁻¹, SC, FMC) (Tabela 1). No Anexo 1 estão apresentadas as principais propriedades físico-químicas dos herbicidas avaliados no presente experimento.

Tabela 1 - Relação de herbicidas, doses e mecanismos de ação avaliados em aplicações em pré-emergência na cultura da soja. Rio Verde (GO), 2021/2022.

Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)	Mecanismo de ação
Testemunha capinada	-	-
Clomazone	800	Inibidor da síntese de carotenoides
Diclosulam	29,4	Inibidor da ALS
Flumioxazin	60	Inibidor da PROTOX
S-metolachlor	1.440	Inibidor da divisão celular
[Imazethapyr + flumioxazin]	[106 + 50]	[Inibidor da ALS + Inibidor da PROTOX]
[Pyroxasulfone + flumioxazin]	[90 + 60]	[Inibidor da divisão celular + Inibidor da PROTOX]
[Sulfentrazone + diuron]	[210 + 420]	[Inibidor da PROTOX + Inibidor do FSII]

Ao longo do experimento os vasos foram mantidos em casa-de-vegetação com volumes e turnos de irrigação programados em função das necessidades do desenvolvimento das plantas de soja. Além disso, não foram necessárias a realização de aplicações de inseticidas e fungicidas, uma vez que por estar em ambiente protegido, não houve a incidência de pragas e patógenos nas plantas de soja.

Para mensurar os efeitos dos tratamentos sobre a soja foram realizadas avaliações de: fitointoxicação, altura de plantas, índice relativo de clorofila *a* e *b*, taxa de assimilação de carbono e taxa transpiratória, além da massa seca de parte aérea e raiz. Na avaliação de fitointoxicação, foi utilizada escala visual qualitativa proposta pela EWRC (1964), com notas variando de 1 a 9, em que 1 significa ausência de sintomas e 9 morte total da planta. Estas avaliações foram realizadas aos 7, 14 e 28 dias após a emergência (DAE) da soja. A avaliação de altura de plantas foi realizada aos 15 DAE, quando a soja estava no estágio fenológico V2 (RITCHIE et al., 1994). Para tanto, procedeu-se a medição, com auxílio de régua graduada, da distância da superfície do solo, até o meristema apical das plantas.

Os índices relativos de clorofila *a* e *b* foram mensurados utilizando o aparelho ClorofiLOG[®] fabricado pela empresa Falker[®] (FALKER, Brasil). Para medir os valores de clorofila *a* e *b* a avaliação foi realizada na segunda folha trifoliada completamente expandida do ápice para a base das plantas de soja, sendo a medição realizada no folíolo central. Também foram mensuradas as taxas de assimilação de carbono (*A*) e taxa transpiratória (*E*), sendo estas avaliações realizadas no período da manhã (entre 9 e 12 h), tomando-se as medidas na terceira folha completamente expandida, com densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) de 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, com um analisador portátil de gases por infravermelho (IRGA), modelo CI-340 (CID Biosciences, USA). As avaliações de índice relativo de clorofila e as relacionadas ao aparato fisiológico das plantas foram realizadas aos 28 DAE.

Por fim, para determinar a massa seca de parte aérea e das raízes, aos 50 DAE as plantas foram retiradas cuidadosamente dos vasos e a parte aérea separada do sistema radicular, sendo posteriormente os materiais coletados acondicionados em sacos de papel tipo Kraft, e levados para estufa de circulação forçada de ar, na qual as amostras permaneceram durante o período de 72 horas, em temperatura média de 65°C. Após este período, o material foi pesado em balança analítica de precisão.

Para os dados das avaliações de fitointoxicação, não foi realizada análise estatística pelo fato de ter sido utilizada escala com notas baseada, em parâmetros qualitativos, optando-se por apresentar apenas a média dos valores das repetições por cada tratamento. Após o término do experimento, a análise dos dados foi realizada por meio do software SISVAR (FERREIRA,

2011). Inicialmente os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F ($p \leq 0,05$) e quando foram observados efeitos significativos entre os fatores testados (condição física do solo e herbicidas pré-emergentes) ou entre os níveis de cada fator, aplicou-se o teste LSD-Fisher ($p \leq 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados das avaliações de fitointoxicação da soja em função da aplicação em pré-emergência dos diferentes tratamentos herbicidas. De maneira geral, os sintomas observados em decorrência das injúrias provocadas pelos herbicidas foram classificados como de leve intensidade, não ultrapassando a nota dois em nenhuma das avaliações, independentemente da condição física do solo. As injúrias visualizadas na soja em decorrência da aplicação dos herbicidas em pré-emergência se caracterizaram por leve clorose e/ou ligeira redução no porte das plantas.

Tabela 2 - Notas de fitointoxicação aos 7, 14 e 28 dias após a emergência (DAE) da soja em função da condição física do solo e aplicação de herbicidas em pré-emergência. Rio Verde (GO), 2021/202.

Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)	Fitointoxicação					
		Compactado			Não compactado		
		7 DAE	14 DAE	28 DAE	7 DAE	14 DAE	28 DAE
Testemunha capinada		1	1	1	1	1	1
Clomazone	800	2	2	1	2	2	1
Diclosulam	29,4	2	2	1	2	2	1
Flumioxazin	60	2	1	1	2	1	1
S-metolachlor	1.440	2	1	1	2	1	1
[Imazethapyr + flumioxazin]	[106 + 50]	2	2	1	2	2	1
[Pyroxasulfone + flumioxazin]	[90 + 60]	2	1	1	2	1	1
[Sulfentrazone + diuron]	[210 + 420]	2	2	1	2	2	1

Os resultados visualizados no presente trabalho não corroboram com outros descritos na literatura, nos quais foram constatados sintomas pronunciados de injúrias, em função da aplicação de herbicidas em pré-emergência da soja, tanto em solo compactado, como em solo sem ocorrência desta restrição física no ambiente edáfico (BIFFE, 2012; OSIPE et al., 2014). Possivelmente, a ausência de visualização de injúrias mais pronunciadas nas plantas de soja neste experimento está relacionada a diferenças existentes nas propriedades físico-químicas do solo no presente estudo comparados àqueles solos em que os trabalhos supracitados foram realizados, uma vez que já fora mencionado que estas características do ambiente edáfico regem

os processos de sorção e dessorção dos herbicidas, deixando estes mais disponíveis na solução do solo.

Outra possibilidade refere-se a tolerância diferencial entre as cultivares de soja utilizadas neste experimento comparadas àquelas utilizadas no estudo mencionados, para os herbicidas que foram aplicados em pré-emergência, uma vez que há materiais de soja que apresentam menor sensibilidade a ação fitotóxica das moléculas herbicidas (GUADGNIN, 2022). Na Figura 1 apresenta-se o aspecto visual das plantas de soja aos 28 DAE, sendo que na ocasião não foram constatados sintomas de intoxicação.

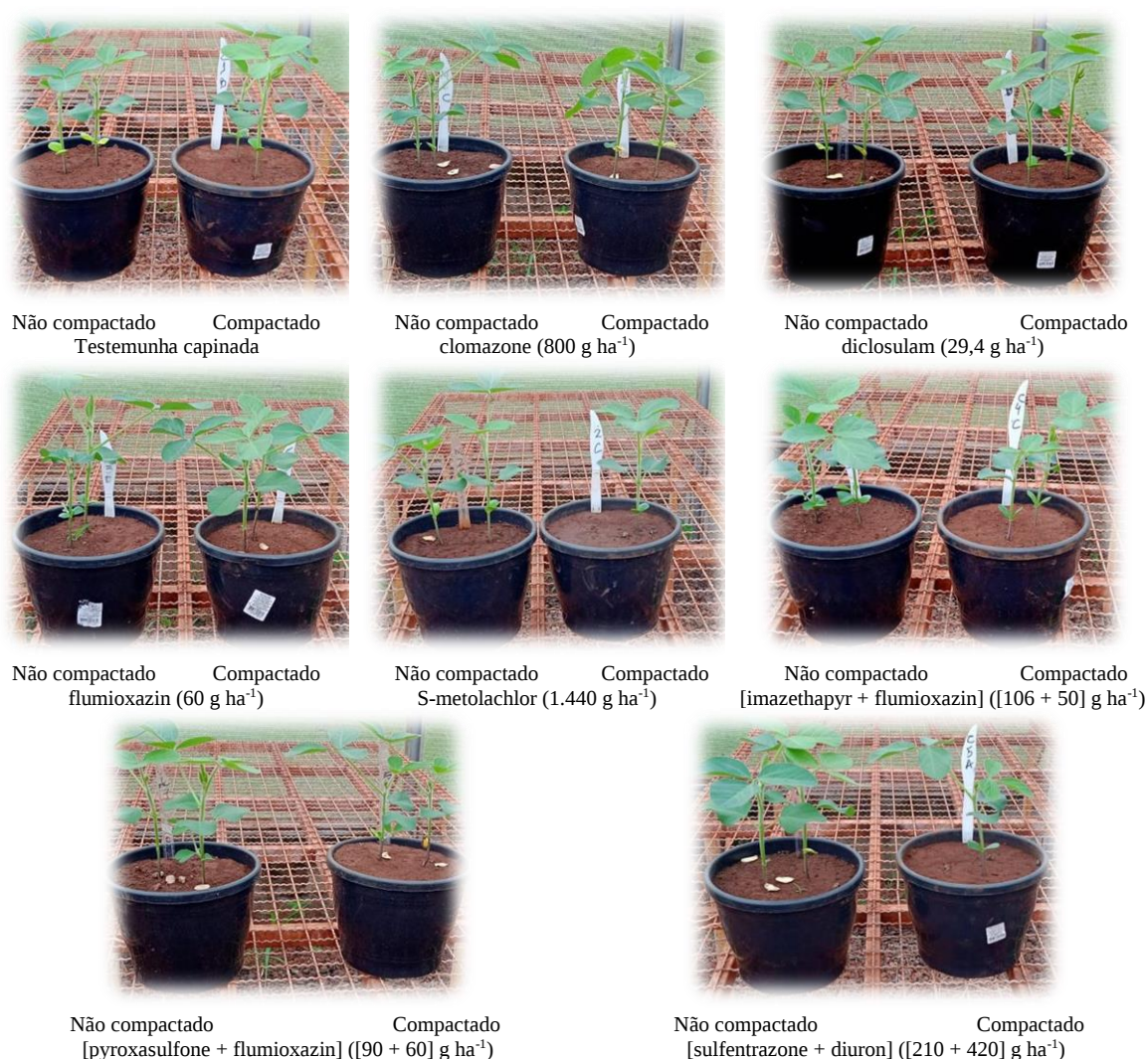


Figura 1 - Aspecto visual das plantas aos 28 DAE da soja em função da condição física do solo e aplicação de herbicidas em pré-emergência. Rio Verde (GO), 2021/2022.

O resumo da análise de variância das variáveis-respostas que foram mensurados no presente experimento está apresentado na Tabela 3. Para as variáveis: altura de plantas (AP), taxa transpiratória (E) e massa seca de parte aérea (MSPA), não foi observado efeito

significativo para a interação entre os fatores estudados (condição física do solo e herbicidas), nem tampouco para estes fatores isolados (Tabela 3). Por outro lado, visualizou-se o efeito da interação entre os fatores para as variáveis índice relativo de clorofila *b* (IRCb) e massa seca de raiz (MSR). Para os fatores isolados, constatou-se efeito significativo da condição física do solo influenciando o índice relativo de clorofila *a* (IRCa) e *b* e a taxa de assimilação de carbono (A) e massa seca de raiz.

Tabela 3 - Resumo ANOVA ($F_{\text{Calculado}} + CV$) para as avaliações de altura de plantas (AP), índice relativo de clorofila *a* (IRCa) e *b* (IRCb), taxa de assimilação de carbono (A), taxa transpiratória (E), massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR) da soja em função da condição física do solo e aplicação de herbicidas em pré-emergência. Rio Verde (GO), 2021/2022.

Fonte de variação	Grau de liberdade	$F_{\text{Calculado}}$						
		AP	IRCa	IRCb	A	E	MSPA	MSR
Condição física do solo (C)	1	1,23 ^{ns}	6,48*	3,88*	6,04*	1,03 ^{ns}	0,13 ^{ns}	54,96*
Herbicida (H)	7	0,60 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,83 ^{ns}	1,86 ^{ns}
C versus H	7	0,91 ^{ns}	1,31 ^{ns}	2,69*	0,44 ^{ns}	0,74 ^{ns}	1,18 ^{ns}	3,44*
Média	-	7,52	28,84	6,50	21,37	2,99	11,53	2,74
CV (%)	-	21,88	19,16	17,64	23,75	23,50	12,55	60,46

^{ns} e * Não significativo e significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$), respectivamente.

Tabela 4 - Resultados médios para altura de plantas aos 15 dias após a emergência (DAE) da soja em função da condição física do solo e aplicação de herbicidas em pré-emergência. Rio Verde (GO), 2021/2022.

Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)	Altura de plantas (cm) ^{ns}	
		Compactado	Não compactado
Testemunha capinada	-	7,98	8,14
Clomazone	800	7,66	6,76
Diclosulam	29,4	7,10	7,44
Flumioxazin	60	8,64	8,10
S-metolachlor	1.440	6,26	8,10
[Imazethapyr + flumioxazin]	[106 + 50]	7,44	6,02
[Pyroxasulfone + flumioxazin]	[90 + 60]	7,08	7,48
[Sulfentrazone + diuron]	[210 + 420]	7,96	8,30
Média		7,52	7,54

^{ns} Não significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$).

Possivelmente, esta ausência de efeito dos tratamentos na altura de plantas pode relacionar-se com a época em que a avaliação foi realizada, uma vez que durante as primeiras semanas após a emergência, a soja apresenta sistema radicular de menor porte (MÜLLER et al., 2021), fato que propicia baixo crescimento em profundidade, além de estas plântulas possuírem grande dependência das reservas contidas nos cotilédones. Nestas condições, o efeito da compactação pode atenuar-se em função de a zona de crescimento da raiz, não ter atingido

a camada compactada presente no solo. Além disso, pelo fato de todos os herbicidas avaliados apresentarem registro para a cultura, infere-se que o efeito sob a altura de plantas no desenvolvimento inicial da soja reduziu, conforme o visualizado no presente trabalho.

Para a avaliação de índice relativo de clorofila *a* observou-se maiores valores desta variável para as plantas que se desenvolveram em solo não compactado em relação ao solo compactado (Tabela 5). Esse aumento nos valores relativos de clorofila *a* pode associar-se a uma condição de solo mais favorável para o desenvolvimento da planta. De maneira análoga, para o índice relativo de clorofila *b*, as plantas de soja também obtiveram maior valor no solo não compactado, fato que evidencia também, uma capacidade fotossintética superior das plantas desenvolvidas em solo sem restrições físicas em função da presença de maiores quantidades deste pigmento fotossintetizante.

Tabela 5 - Resultados médios para índice relativo de clorofila *a* e *b* em plantas de soja em função da condição física do solo e aplicação de herbicidas em pré-emergência. Rio Verde (GO), 2021/2022.

Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)	Índice relativo de clorofila <i>a</i>		Índice relativo de clorofila <i>b</i>	
		Compactado	Não compactado	Compactado	Não compactado
Testemunha capinada	-	28,20	32,46	6,60 Aa	6,56 Aa
Clomazone	800	30,42	29,08	6,62 Aa	6,58 Aa
Diclosulam	29,4	27,96	30,54	6,02 Aab	6,66 Aa
Flumioxazin	60	26,54	29,26	6,66 Aa	6,32 Aa
S-metolachlor	1.440	21,40	32,10	5,16 Bb	6,94 Aa
[Imazethapyr + flumioxazin]	[106 + 50]	28,02	31,30	6,46 Aab	7,60 Aa
[Pyroxasulfone + flumioxazin]	[90 + 60]	28,58	26,74	6,98 Aa	6,70 Aa
[Sulfentrazone + diuron]	[210 + 420]	29,06	31,86	5,98 Aab	6,66 Aa
Média		27,27 B	30,41 A	6,25 B	6,75 A

^{ns} Não significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem, significativamente, entre si pelo teste LSD-Fisher ($p \leq 0,05$).

Em relação ao efeito dos herbicidas na produção de clorofila pelas plantas de soja, em solo não compactado, não foram visualizadas diferenças entre os ingredientes ativos aplicados em pré-emergência da soja para o índice relativo de clorofila *b* (Tabela 4). No entanto, na condição física de solo com compactação, a testemunha sem herbicida, e os tratamentos contendo aplicação de flumioxazin, clomazone, [pyroxasulfone + flumioxazin], apresentaram maiores valores de índice relativo de clorofila *b* comparado com o S-metolachlor.

Em relação à taxa de assimilação de carbono (fotossíntese líquida), houve diferença apenas entre solo não compactado e compactado, sendo que no primeiro verificou-se maior fotossíntese, mostrando um melhor desenvolvimento da planta (Tabela 6). Essa maior fotossíntese pode relacionar-se aos maiores índices relativos de clorofila *a* e *b* presentes nas plantas, que se desenvolveram em solo sem restrições físicas (não compactado). Os resultados

do presente estudo corroboram com os obtidos por Grzesiak et al. (2013), que também constataram redução expressiva da fotossíntese nas culturas milho e triticales cultivados, em solo compactado.

A diminuição da taxa fotossintética é resultado da queda na condutância estomática atribuída a uma mensagem química, principalmente ácido abscísico (ABA), produzida nas raízes estressadas conduzido para a parte aérea através do xilema (TUBEILEH et al., 2003). Para a variável taxa transpiratória, conforme já mencionado, não foi observado efeito da condição física do solo e/ou aplicação de herbicidas em pré-emergência da soja.

Tabela 6 - Resultados médios para taxa de assimilação de carbono (A) e taxa transpiratória (E) em plantas de soja em função da condição física do solo e aplicação de herbicidas em pré-emergência. Rio Verde (GO), 2021/2022.

Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)	A (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)		E (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹) ^{ns}	
		Compactado	Não compactado	Compactado	Não compactado
Testemunha capinada	-	21,74	22,18	3,10	2,84
Clomazone	800	17,22	23,04	2,72	2,94
Diclosulam	29,4	19,04	24,14	2,76	2,96
Flumioxazin	60	21,90	23,92	2,86	3,26
S-metolachlor	1.440	20,46	20,02	3,22	2,88
[Imazethapyr + flumioxazin]	[106 + 50]	20,70	24,48	3,00	3,34
[Pyroxasulfone + flumioxazin]	[90 + 60]	19,08	21,74	2,50	3,32
[Sulfentrazone + diuron]	[210 + 420]	19,70	22,64	3,18	3,08
Média		19,98 B	22,77 A	2,91	3,08

^{ns} Não significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem, significativamente, entre si pelo teste LSD-Fisher ($p \leq 0,05$).

A massa seca de parte aérea não foi influenciada pelos diferentes tratamentos, enquanto que na massa seca de raiz houve cerca de 3 vezes maior produção de raiz na soja cultivada em solo não compactado comparado ao solo compactado (Tabela 7). Tal fato ocorre porque em condição de solo compactado, o primeiro efeito na planta é no sistema radicular, que por sua vez induz as modificações morfofisiológicas, em toda a planta (TARDIEU, 2013).

Em relação ao efeito dos tratamentos na massa seca de raiz, foi verificado que excluindo-se o tratamento composto pela associação entre [pyroxasulfone + flumioxazin], em todos os demais, houve maior acréscimo de massa seca no sistema radicular das plantas de soja quando estes se desenvolveram em solo não compactado comparado ao com presença de compactação (Figura 2). Além disso, no solo não compactado, o tratamento composto pela testemunha sem herbicida constituiu-se naquele com o maior acúmulo de massa seca de raiz, não diferindo-se apenas do composto pela aplicação de diclosulam (Tabela 7).

Tabela 7 - Resultados médios para massa seca de parte aérea e massa seca de raiz em plantas de soja em função da condição física do solo e aplicação de herbicidas em pré-emergência. Rio Verde (GO), 2021/2022.

Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)	Massa seca de parte aérea (g) ^{ns}		Massa seca de raiz (g)	
		Compactado	Não compactado	Compactado	Não compactado
Testemunha capinada	-	11,75	11,85	2,59 Ba	6,19 Aa
Clomazone	800	11,43	11,82	1,15 Ba	3,70 Ab
Diclosulam	29,4	11,74	11,68	1,48 Ba	4,42 Aab
Flumioxazin	60	11,86	9,34	1,20 Ba	3,97 Ab
S-metolachlor	1.440	11,19	11,67	1,57 Ba	3,81 Ab
[Imazethapyr + flumioxazin]	[106 + 50]	11,38	11,50	0,91 Ba	4,07 Ab
[Pyroxasulfone + flumioxazin]	[90 + 60]	11,77	12,21	1,30 Aa	2,81 Ab
[Sulfentrazone + diuron]	[210 + 420]	11,54	11,66	0,73 Ba	3,95 Ab
Média		11,59	11,50	1,37 B	4,12 A

^{ns} Não significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem, significativamente, entre si a pelo teste LSD-Fisher ($p \leq 0,05$).

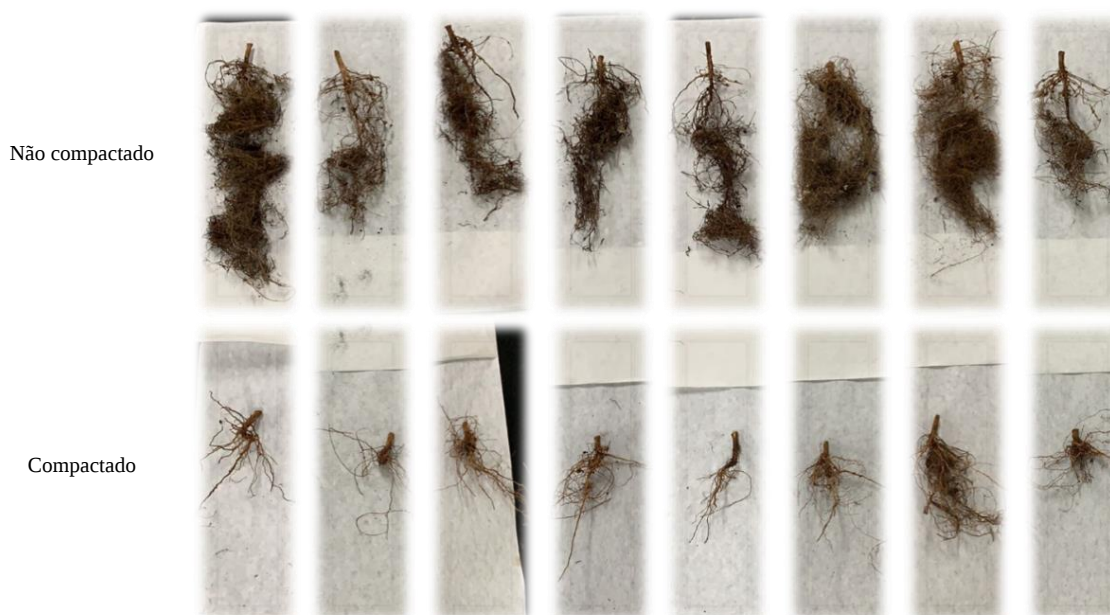


Figura 2 - Aspecto visual do sistema radicular das plantas aos 50 DAE da soja em função da condição física do solo e aplicação de herbicidas em pré-emergência. Rio Verde (GO), 2021/2022. Tratamentos em ordem da esquerda para direita: Testemunha capinada, clomazone (800 g ha⁻¹), diclosulam (29,4 g ha⁻¹), flumioxazin (60 g ha⁻¹), S-metolachlor (1.440 g ha⁻¹), [imazethapyr + flumioxazin] ([106 + 50] g ha⁻¹), [pyroxasulfone + flumioxazin] ([90 + 60] g ha⁻¹) e [sulfentrazone + diuron] ([210 + 420] g ha⁻¹)

Destaca-se que, pelo fato de o presente experimento ser conduzido em ambiente protegido, a oferta hídrica para as plantas foi contínua, não submetendo as mesmas a estresses por excesso ou falta de água. Nestas condições, a planta de soja busca manter o crescimento da

parte aérea para assegurar que o processo fotossintético se mantenha em níveis adequados para continuar o ciclo vegetativo/reprodutivo de maneira normal (MORAES et al., 2020).

Os resultados obtidos neste trabalho, conduzido em condições controladas, apresentaram evidências de possíveis alterações morfofisiológicas nas plantas ou na redução da seletividade de herbicidas, sem, contudo, inferir sobre efeitos, em a conformação populacional de plantas ou em rendimento em grãos da cultura. Diante de tais evidências, verificou-se a necessidade de respostas assertivas sobre o comportamento destas alterações, seja em plantas ou na seletividade das moléculas químicas, sob condições de cultivo a campo, na qual sejam conhecidos os efeitos sobre a população de plantas ou nos componentes de produtividade da soja nas condições mencionadas.

Para tanto, o capítulo II deste trabalho versará dessa mesma temática, em um estudo espelhando as hipóteses levantadas no capítulo I, para condições de campo. Dessa forma, na sequência deste trabalho serão apresentados: os efeitos da interação da aplicação dos herbicidas em pré-emergência, em solo sob condições de compactação, sobre caracteres populacionais como estande de plantas e altura, além da avaliação dos componentes de produção da planta como, número de vagens por planta, peso de mil grãos e produtividade final.

4 CONCLUSÃO

Como fator isolado, a aplicação dos herbicidas não promoveu alterações nas características morfofisiológicas avaliadas. A compactação de forma isolada impactou negativamente nas variáveis: índice relativo de clorofila *b*, taxa de assimilação de carbono e crescimento do sistema radicular.

A interação entre os fatores herbicidas aplicados em pré-emergência e a compactação do solo influenciou apenas a massa seca de raiz, demonstrando que todos os tratamentos, com exceção de [Pyroxasulfone + flumioxazin], proporcionaram menores acúmulos de massa seca de raiz em solo compactado, em relação ao solo, sem a presença de compactação.

REFERÊNCIAS

ADEGAS, F.S.; VARGAS, L.; GAZZIERO, D.L.P.; KARAM, D.; SILVA, A.F.; AGOSTINETTO, D. **Impacto econômico da resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil**. Londrina: EMBRAPA SOJA, 2017. 11 p. (Circular Técnica 123).

BASF. **Sementes de Soja – Credenz CZ 36B96 I2X – BASF Agro**. 2023. Disponível em: <<https://agriculture.basf.com/br/pt/protecao-de-cultivos-e-sementes/produtos/credenz/Credenz/CZ-36B96-I2X.html>>. Acesso em: 03/01/2023.

BELANGER, E.; LUCOTTE, M.; MOINGT, M.; PAQUET, S.; OESTREICHER, J.; ROZON, C. Altered nature of terrestrial organic matter transferred to aquatic systems following deforestation in the Amazon. **Applied Geochemistry**, v. 87, p. 136-145, 2017. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2017.10.016

BEULTER, A.N.; CENTURION, J.F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.6, p.581-588, 2004.

BIFFE, D.F. **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**. Programa de Pós-graduação em Agronomia – Universidade Estadual de Maringá (Tese de Doutorado). 88f. 2012.

BLANCO, H. G. Destino, comportamento e resíduos dos herbicidas no solo. **O Biológico**, v. 45, n. 11, p. 225-248, 1979.

BONINI, I.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; MATRICARDI, E.; PHILIPS, O.; PETTER, F.; OLIVEIRA, B.; MARIMON, B. S. Collapse of ecosystem carbon stocks due to forest conversion to soybean plantations at the Amazon-Cerrado transition. **Forest Ecology and Management**, v. 414, p. 64-73, 2018. DOI: 10.1016/j.foreco.2018.01.038.

BRAZ, G.B.P. CRUVINEL, A.G.; CANEPPELE, A.B.; TAKANO, H.K.; SILVA, A.G.; OLIVEIRA JR., R.S. Sourgrass interference in soybean crop cultivated in Brazilian Cerrado. **Revista Caatinga**, 2021.

BRAZ, G.B.P.; OLIVEIRA JR., R.S.; ZOBIOLE, L.H.S.; RUBIN, R.S.; VOGLEWEDE, C.; CONSTANTIN, J.; TAKANO, H.K. Sumatran Fleabane (*Conyza sumatrensis*) control in no-tillage soybean with diclosulam plus halauxifen-methyl. **Weed Technology**, v.31, p.184-92, 2017.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim de monitoramento agrícola**. v.11, n.7, p. 1-18, jul. 2022.

CONTIERO, R.L.; RIOS, F.A.; BIFFE, D.F.; BRAZ, G.B.P.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., R.S.; GHENO, E.A.; LUCIO, F.R. Effect of day time climatic conditions associated with different 2,4-D formulations on spray deposition and weed control. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v.54, n.10, p.1-7, 2019.

CID Bio-Science. **CI-340 handheld photosynthesis system: portable gas exchange measurement for ecology, agronomy & horticulture**. 2023. Disponível em: < <https://cid-inc.com/plant-science-tools/photosynthesis-measurement-plants/ci-340-handheld-photosynthesis-system/>>. Acesso em: 04/01/2023.

EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL – EWRC. Report of 3rd and 4th meetings of EWRC committee of methods in weed research. **Weed Research**, v.4, p.88, 1964.

FALKER. **ClorofiLOG: Medidor eletrônico de teor de clorofila**. 2023. Disponível em: <<https://www.falker.com.br/produto-clorofilog-medidor-clorofila.php>>. Acesso em: 04/01/2023.

FERREIRA, C.J.B.; TORMENA, C.A.; SEVERIANO, E.C.; ZOTARELLI, L.; BETIOLI JUNIOR, E. Soil compaction influences soil physical quality and soybean yield under long-term no-tillage. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v.66, n.2, p.1-14, 2020.

FERREIRA, D.F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Brazilian Journal of Biometrics**, v.37, n.4, p.529-535, 2019.

FERRI, M. V. W.; VIDAL, R. A.; MEROTTO JUNIOR, A.; FLECK, N. G. Atividade dos herbicidas flumetsulam e trifluralim em diferentes valores de pH e densidade do solo. **Ciência Rural**, v. 30, n. 1, p. 11-15, 2000.

GAZOLA, T.; DIAS, M.; BELAPART, D.; CASTRO, E.; BIANCHI, L. Efeitos do diclosulam na soja cultivada em solos de diferentes classes texturais. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n. 4, 353-361, 2016.

GRZESIAK, S., M.T.; GRZESIAK, T.; HURA, I.; MARCINSKA, RZEPKA, A. Changes in root system structure, leaf water potential and gas exchange of maize and triticale seedlings affected by soil compaction. **Environment and Experimental Botany**, v. 88, n.1, p. 2–10, 2013.

GUADGNIN, R.A. **Sensibilidade de cultivares de soja a sulfentrazone + diuron aplicado em solo com e sem palha**. Programa de Pós-graduação em Agronomia – Universidade de Passo Fundo (Dissertação de Mestrado). 71f. 2022.

GUIMARÃES, C.V.; ASSIS, R. L.; SIMON, G. A.; PIRES, F. R.; FERREIRA, R. L.; SANTOS, D. C. Desempenho de cultivares e híbridos de milho em solo submetido a compactação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 11, p. 1188–1194, 2013.

KÖKSAL, Z.; KALIN, R.; GÜLÇİN, I.; OZDEMIR, H. Inhibitory effects of selected pesticides on peroxidases purified by affinity chromatography. **International Journal of Food Properties**. v. 21, p. 385-394. 2018.

MORAES, M.T.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C.; MASTROBERTI, A.A.; LEVIEN, R.; LEITNER, D.; SCHNEP, A. Soil compaction impacts soybean root growth in an Oxisol from subtropical Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.200, p.104611, 2020.

MÜLLER, M.; SCHNEIDER, J.R.; KLEIN, V.A.; SILVA, E.; SILVA JÚNIOR, J.P.; SOUZA, A.M.; CHAVARRIA, G. Soybean root growth in response to chemical, physical, and biological soil variations. **Frontiers in Plant Science**, v.12, p.602569.

OSIPE, J.B.; OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; BIFFE, D.F.; RIOS, F.A.; FRANCHINI, L.H.M.; GHENO, E.A.; RAIMONDI, M.A. Seletividade de aplicações combinadas de herbicidas em pré e pós-emergência para a soja tolerante ao glyphosate. **Bioscience Journal**, v.30, n.3, p.623-631, 2014.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; THOMPSON, H.E.; BENSON, G. O. **How a soybean plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Thechnology, Cooperative Extension Service, 1994. 20p.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 5ª Edição; Embrapa Solos: Rio de Janeiro, Brasil, 2018.

SHARMA, A.; KUMAR, V.; THUKRAL, A.K.; BHARDWAJ, R. Responses of plants to pesticide toxicity: an overview. **Planta Daninha**, v. 37, p. 1-12, 2019

TARDIEU, F. Plant response to environmental conditions: assessing potential production, water demand, and negative effects of water deficit. **Frontiers in Physiology**, v.4, p.2013.00017, 2013.

TUBEILEH, A., V.; GROLEAU-RENAUD, S.; PLANTUREUX, A.; GUCKERT. Effect of soil compaction on photosynthesis and carbon partitioning within a maize-soil system. **Soil and Tillage Research**, v. 71, n. 2, p. 151–161, 2003.

CAPÍTULO II

SELETIVIDADE DE HERBICIDAS APLICADOS EM PRÉ-EMERGÊNCIA DA SOJA CULTIVADA EM SOLO COMPACTADO

RESUMO

A compactação do solo é um dos gargalos para a produção de soja devido a limitação do crescimento do sistema radicular das plantas. Além disso, a seletividade de herbicidas aplicados em pré-emergência pode modificar-se nesta condição, uma vez que, a compactação afeta a percolação e escoamento superficial da água. Desta maneira, estabeleceu-se a hipótese de existir interação entre a compactação do solo e a aplicação de herbicidas em pré-emergência impactam o crescimento e produtividade da soja. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a seletividade de herbicidas aplicados em pré-emergência da soja em condições de solo compactado e não compactado. O experimento foi conduzido a campo, em delineamento blocos casualizados com 6 repetições. Foi adotado o arranjo de parcelas subdivididas (2x8). As parcelas foram constituídas pela condição física do solo: compactado e não compactado. As subparcelas foram compostas pela aplicação dos herbicidas clomazone (800 g ha^{-1}), diclosulam ($29,4 \text{ g ha}^{-1}$), flumioxazin (60 g ha^{-1}), S-metolachlor (1.440 g ha^{-1}), [imazethapyr + flumioxazin] ($[106 + 50 \text{ g ha}^{-1}]$), [pyroxasulfone + flumioxazin] ($[90 + 60 \text{ g ha}^{-1}]$), [sulfentrazone + diuron] ($[210 + 420 \text{ g ha}^{-1}]$), além de uma testemunha sem herbicida. Não houve interação significativa entre os fatores condição física do solo e herbicidas aplicados em pré-emergência para nenhuma das variáveis analisadas. Isoladamente o fator compactação do solo impactou negativamente no estande de plantas e o peso de mil grãos da soja, com reduções de 17,0 e 8,1% de perdas para as respectivas características. Para os fatores herbicidas isolados não foram observadas diferenças entre os tratamentos para as variáveis avaliadas. Devido a elevada intensidade pluviométrica medida na área experimental, indica-se que este fato pode ter contribuído para minimizar alguns dos efeitos da compactação do solo e dos herbicidas sobre a cultura da soja. Desta forma, nas condições em que o experimento foi conduzido, conclui-se que, os herbicidas aplicados em pré-emergência foram seletivos para a cultura da soja.

Palavras-chave: controle químico, dinâmica de herbicidas, física do solo, *Glycine max*, seletividade.

SELECTIVITY OF HERBICIDES APPLIED IN PRE-EMERGENCE OF SOYBEAN CULTIVATED IN COMPACTED SOIL

ABSTRACT

Soil compaction is one of the bottlenecks for soybean production due to the limitation of plant root system growth. In addition, the selectivity of herbicides applied in pre-emergence can change in this condition, since compaction affects percolation and surface runoff of water. In this way, the hypothesis was established that there is an interaction between soil compaction and pre-emergence herbicide application impacting soybean growth and productivity. In this sense, the objective of this work was to evaluate the selectivity of herbicides applied in soybean pre-emergence in conditions of compacted and non-compacted soil. The experiment was conducted in the field, in a randomized block design with 6 replications. The arrangement of a split-plot design (2x8) was adopted. The plots were constituted by the physical condition of the soil: compacted and non-compacted. The subplots were composed by applying the herbicides clomazone (800 g ha⁻¹), diclosulam (29.4 g ha⁻¹), flumioxazin (60 g ha⁻¹), S-metolachlor (1,440 g ha⁻¹), [imazethapyr + flumioxazin] ([106 + 50 g ha⁻¹]), [pyroxasulfone + flumioxazin] ([90 + 60 g ha⁻¹]), [sulfentrazone + diuron] ([210 + 420 g ha⁻¹]), in addition to of control without herbicide. There was no significant interaction between soil physical condition and herbicides applied in pre-emergence for any of the analyzed variables. The soil compaction factor alone harmed the plant stand and the weight of a thousand soybean grains, with reductions of 17.0 and 8.1% of losses for the respective characteristics. For isolated herbicidal factors, no differences were observed between treatments for the evaluated variables. Due to the high rainfall intensity measured in the experimental area, it is indicated that this fact may have contributed to minimizing some of the effects of soil compaction and herbicides on the soybean crop. Thus, under the conditions in which the experiment was conducted, it was concluded that the herbicides applied in pre-emergence were selective for the soybean crop.

Keywords: chemical control, fate of herbicide, soil physics, *Glycine max*, selectivity.

1 INTRODUÇÃO

Dentre os agroquímicos, os herbicidas figuram no topo da lista de ingredientes ativos mais comercializados no Brasil. Segundo dados do IBAMA (2021), obtidos por meio da consolidação de dados fornecidos pelas empresas detentoras de produtos técnicos, agrotóxicos e afins, em atendimento ao art. 41 do Decreto nº 4.074/2002, a comercialização de moléculas herbicidas atingiu 60,35% de todo o volume de pesticidas comercializados no país no ano de 2020.

Do total mencionado, as moléculas de glyphosate, 2,4-D e atrazine superaram 336 toneladas de ingrediente ativo comercializados durante o período da safra de 2020, restando aproximadamente 77 mil toneladas para os demais ingredientes ativos negociados dentro desta classe de uso (IBAMA, 2021). Ressalta-se que, nos últimos anos os herbicidas para aplicações em pré-emergência apresentaram crescimento acentuado em termos de volume de comercialização. Os herbicidas posicionados nesta modalidade de aplicação objetivam a minimização da interferência imposta pelas plantas daninhas durante a fase inicial da cultura (DAN et al., 2010).

A grande vantagem no uso dos herbicidas pré-emergentes relaciona-se com a prevenção da matocompetição inicial, com a espécie cultivada, além do efeito residual dos herbicidas aplicados nesta modalidade, que proporciona controle de diferentes fluxos germinativos dos propágulos de plantas daninhas que estão no banco de sementes (PATEL, 2018). Rockenbach (2018), afirma que as aplicações em pré-emergência da soja devem ocorrer com herbicidas que proporcionem o controle total das espécies e possibilitem ação residual de solo com a finalidade de controlar novos fluxos de emergência. Apesar disto, é importante avaliar a sensibilidade que a cultivar de soja apresenta ao herbicida aplicado em pré-emergência, uma vez que os efeitos negativos derivados da ação fitotóxica destes produtos pode proporcionar redução na produtividade de grãos.

Os herbicidas de modo geral são classificados principalmente, de acordo com: a sua seletividade, quanto a sua translocação nas plantas, quanto à estrutura química, modo de ação e quanto à sua época de aplicação (RIBEIRO, 2018). A seletividade é a capacidade de um determinado herbicida eliminar plantas daninhas que se encontram em convivência com uma determinada cultura sem causar reduções na produtividade e/ou qualidade do produto obtido. É oportuno destacar que a seletividade de um herbicida não pode se determinar apenas pela verificação ou não de sintomas de intoxicação, pois são conhecidos exemplos de herbicidas que

podem reduzir a produtividade das culturas sem produzir-lhes efeitos visualmente detectáveis, bem como, existem herbicidas que provocam injúrias bastante acentuadas, mas que permitem às mesmas, manifestar plenamente seus potenciais produtivos (VELINI et al., 1993; SOUZA et al., 2002).

A seletividade é determinada por características intrínsecas de cada herbicida, como: dose, formulação, por características das plantas, espécie, cultivar, absorção, translocação e metabolismo (OLIVEIRA JÚNIOR.; INOUE, 2001; SILVA, 2020). No caso dos herbicidas aplicados em pré-emergência, há também outras características importantes para definição da seletividade e sua ação residual sobre as plantas. Para os herbicidas aplicados nesta modalidade, cita-se : a CTC, pH, textura do solo e teor de matéria orgânica que apresentam influência na resposta da planta, sendo importante estes estarem em teores adequados para minimizar os efeitos negativos dos herbicidas (BARROS et al., 2005). O processo de compactação dos solos afeta a porosidade do solo, reduzindo a percolação e translocação da solução, aumentando o potencial de solutos na região da rizosfera e condicionando-se a maior disponibilização destes às plantas de interesse econômico (ZOBIOLE et al., 2007).

Em virtude de existir forte conexão entre as características do solo e as características dos herbicidas aplicados em pré-emergência, é imprescindível que se tenha clareza sobre a interação destes fatores. A dinâmica destas moléculas no ambiente vincula-se às boas condições do ambiente, uma vez que características do solo além de alterarem a persistência das moléculas na solução do solo, acabam por interferir na eficácia e na seletividade do ingrediente ativo frente às culturas de interesse econômico (BLANCO, 1979; GAZOLA et al., 2016). Nesta perspectiva o objetivo desse trabalho foi avaliar o impacto da interação entre condição física do solo e aplicação de herbicidas em pré-emergência no desempenho agrônômico da soja.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no campus da Universidade de Rio Verde, situado em Rio Verde (GO), especificamente instalado nas coordenadas latitude 17°47'01,46"S e longitude 50°57'49,74"O. O experimento foi conduzido durante a safra de 2021/2022, no período compreendido entre 19/11/2021 (plantio) até 04/03/2022 (colheita).

O clima do município de Rio Verde é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, o qual é denominado de “tropical com estação seca”, caracterizado por apresentar chuvas mais

intensas no verão em comparação ao inverno (KÖPPEN; GEIGER, 1928). Na Figura 3 encontram-se os dados climatológicos relacionados a temperatura máxima e mínima do ar e precipitações durante o período de condução do experimento. É oportuno destacar que durante o período de condução do experimento houve um acumulado de precipitação de 760,40 mm.

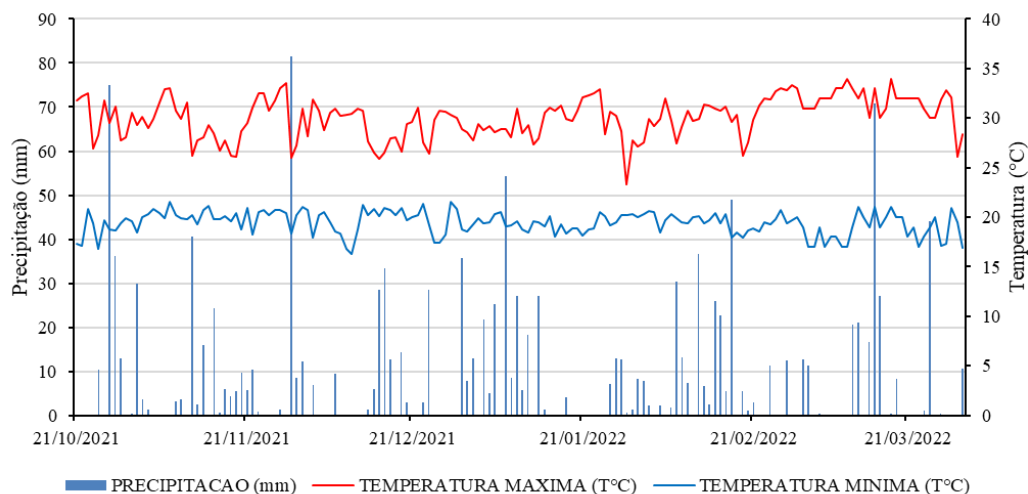


Figura 3 - Temperaturas máxima e mínima e precipitações observadas durante o período de condução a campo do experimento realizado com soja submetida ao cultivo em solo compactado e aplicação de herbicidas em pré-emergência. Rio Verde (GO), 2021/2022.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (SANTOS et al., 2018), sendo a área explorada em sistema de plantio direto tendo como cultura antecessora a soja. Uma amostra de solo foi coletada da profundidade de 0-20 cm. Nesta ocasião, o solo da área experimental apresentava pH em CaCl_2 de 5,5; 25,85 mg dm^{-3} de P; 425,82 mg dm^{-3} de K; 21,70 g dm^{-3} de M.O.; 580 g kg^{-1} de argila, 80 g kg^{-1} de silte, 340 g kg^{-1} de areia (textura argilosa).

A cultivar escolhida para condução do experimento foi a CZ36B86 I2X (Credenz). A semeadura da soja foi realizada na data de 19/11/2021, em espaçamento entrelinhas de 0,5 m, adotando-se densidade de sementes para a população recomendada para a cultivar, de 18 plantas por metro. A adubação foi realizada conforme a análise de solo e necessidade da cultura, sendo adicionados 400 kg ha^{-1} em pré-semeadura da formulação 02-20-18.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, estando os tratamentos dispostos em esquema de parcela subdivididas (2x8), totalizando 16 tratamentos com 6 repetições. A parcela principal, foi alocada a condição física do solo, consistindo em solo compactado e não compactado. Nas sub-parcelas, foram alocados os herbicidas aplicados em

pré-emergência da soja. Os herbicidas testados foram: clomazone (800 g ha^{-1}), diclosulam ($29,4 \text{ g ha}^{-1}$), flumioxazin (60 g ha^{-1}), S-metolachlor (1.440 g ha^{-1}), [imazethapyr + flumioxazin] ($[106 + 50 \text{ g ha}^{-1}]$), [pyroxasulfone + flumioxazin] ($[90 + 60 \text{ g ha}^{-1}]$), [sulfentrazone + diuron] ($[210 + 420 \text{ g ha}^{-1}]$), além de uma testemunha sem herbicida.

A compactação do solo nos tratamentos sob essa condição ocorreu após um longo período de chuvas, que assegurasse a saturação do perfil do solo, e na data de 18/11/2021, realizou-se o tráfego de uma retroescavadeira (modelo CASE 580N, com peso operacional de 7.858 kg) acoplada de lastros, resultando em uma carga total de $8,5 \text{ t}$, em percurso repetido e continuado por 10 vezes, sobre as parcelas, resultando em um contraste de compactação entre as parcelas. Para caracterização da condição física do solo, antes da semeadura da soja, realizou-se uma avaliação de resistência à penetração a campo utilizando penetrômetro da marca Falker® modelo PLG 1020 (FALKER, 2023), em que os dados de RP foram obtidos a cada $0,01 \text{ m}$ até $0,40 \text{ m}$ de profundidade. As medidas foram realizadas dois dias após a ocorrência de chuva de modo que o conteúdo de água do solo estivesse próximo a capacidade de campo. A operação de compactação do solo previamente ao plantio e o gradiente resultante do processo, estão apresentados na Figura 4.

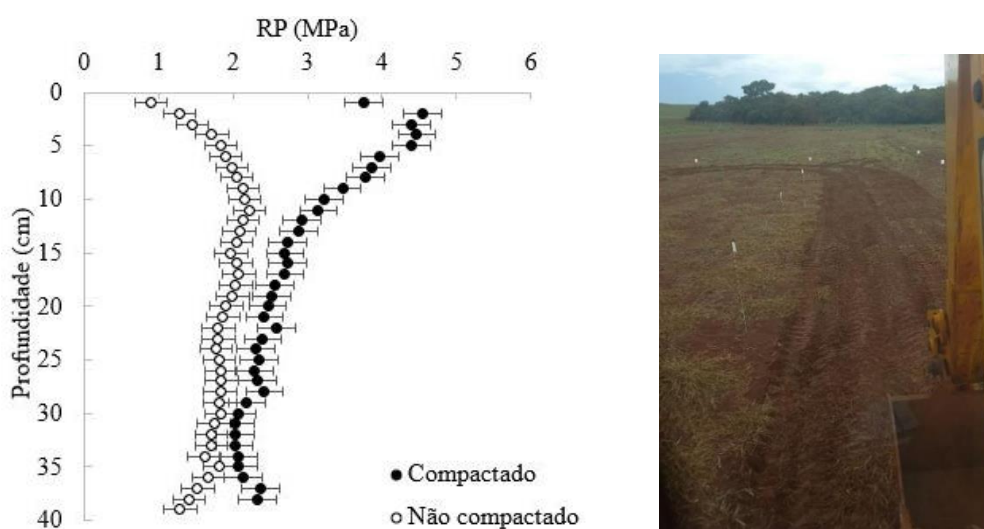


Figura 4 - Valores de resistência a penetração após a realização do processo de compactação do solo por meio de tráfego repetido e continuado de máquina pesada e registro do tráfego da máquina durante o processo de compactação. Rio Verde (GO), 2021/2022.

Todas as unidades experimentais foram capinadas ao longo do ciclo de desenvolvimento da soja, com o intuito de eliminar o efeito da interferência das plantas daninhas sobre a cultura,

deixando as plantas expostas apenas ao efeito dos tratamentos (condição física do solo e herbicidas aplicados pré-emergência). Durante o desenvolvimento da soja, todos os tratos culturais foram realizados de acordo com os recomendados, procedendo ao controle de pragas e doenças sem deixar que estes influenciassem no desenvolvimento da cultura (SEIXAS, 2020). Todas as aplicações de manutenção foram realizadas por meio de pulverizador costal elétrico, adotando-se volume de calda aplicada equivalente a 150 L ha⁻¹.

A primeira das avaliações realizadas para determinação dos aspectos de sensibilidade da cultivar foi a fitointoxicação, avaliada por nota percentual (EWRC, 1964) aos 7, 14 e 28 dias após a emergência (DAE), que coincidiu com o momento em que as plantas de soja se encontravam nos estádios fenológicos V1, V2 e V5 (RITCHIE et al., 1994). Na ocasião da colheita, realizada em 04/03/2022 (estádio fenológico R8) realizou-se avaliações de altura de plantas, com auxílio de régua graduada, procedendo a medição da distância da superfície do solo até o meristema apical das plantas, sendo realizada a amostragem em 5 plantas por unidade experimental. Nesta mesma data, foi realizada avaliação do estande final, procedendo a contagem do número de plantas presentes em 3 m, cujos resultados estão apresentados em percentual de plantas emergidas, relativa à densidade de semeadura adotada por metro.

Ainda na ocasião da colheita da soja, foi realizada avaliação de número de vagens por planta e peso de mil grãos. Para a avaliação do número de vagens por planta, foi realizada a contagem de vagens presentes por planta, realizando tal amostragem em 5 plantas por unidade experimental. Na avaliação de massa de mil grãos, procedeu-se a contagem de mil grãos, os quais foram posteriormente pesados em balança de precisão, realizando a correção de umidade para 13,0%. Para determinação da produtividade, foi realizada a colheita manual de todas as plantas presentes na área útil de cada unidade experimental, onde posteriormente este material foi submetido aos processos de trilha, embalagem, identificação e pesagem, e a umidade dos grãos foi corrigida para 13,0% em todos os tratamentos.

Os dados de fitointoxicação foram apresentados pela média dos valores das repetições por tratamento, visto que a escala adotada para esta avaliação se baseia em notas considerando parâmetros qualitativos. Após o término do experimento, a análise dos dados foi realizada por meio do software SISVAR (FERREIRA, 2011). Inicialmente os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F ($p \leq 0,05$) e observados efeitos significativos entre os fatores testados (condição física do solo e herbicidas pré-emergentes) ou entre os níveis de cada fator, aplicou-se o teste LSD-Fisher ($p \leq 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o aspecto de sensibilidade da cultura da soja, analisado visualmente pela fitotoxicidade dos produtos em solo sem compactação, os herbicidas S-metolachlor, flumioxazin se demonstraram seletivos durante todo o período avaliado, sem que fossem observados sintomas visuais de intoxicação das plantas, até os 28 DAE (Tabela 8). Sob esta mesma condição física do solo, não se registrou sintomas de fitointoxicação que ultrapassassem pequenas alterações visuais em algumas plantas (nota 2), até os 14 DAE das plantas, para os demais produtos avaliados. Neste cenário, as aplicações das associações [sulfentrazone + diuron], [imazethapyr + flumioxazin], além de aplicação isolada de diclosulam, apresentaram sintomas visuais até os 14 DAE, enquanto que a aplicação isolada de clomazone promoveu efeito fitotóxico somente aos 7 DAE. Aos 28 DAE não foram registrados sintomas visuais de injúrias provocadas pelos herbicidas aplicados em pré-emergência.

Tabela 8 - Notas de fitointoxicação aos 7, 14 e 28 dias após a emergência (DAE) da soja em função da condição física do solo e aplicação de herbicidas em pré-emergência da cultura. Rio Verde (GO), 2021/2022.

Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)	Fitointoxicação					
		Compactado			Não compactado		
		7 DAE	14 DAE	28 DAE	7 DAE	14 DAE	28 DAE
Testemunha capinada		1	1	1	1	1	1
Clomazone	800	2	1	1	2	1	1
Diclosulam	29,4	3	2	1	2	2	1
Flumioxazin	60	1	1	1	1	1	1
S-metolachlor	1.440	1	1	1	1	1	1
[Imazethapyr + flumioxazin]	[106 + 50]	2	2	1	2	2	1
[Pyroxasulfone + flumioxazin]	[90 + 60]	2	1	1	1	1	1
[Sulfentrazone + diuron]	[210 + 420]	3	2	1	2	2	1

Sob a condição da ausência da compactação do solo, as aplicações em pré-emergência de [sulfentrazone + diuron], [imazethapyr + flumioxazin] e diclosulam, apontaram para comportamentos semelhantes quanto a fitotoxidez apresentada, em que os sintomas visuais classificam-se como pequenas alterações (EWRC, 1964), para as quais espera-se recuperação metabólica da planta, reduzindo perdas em produtividade (Tabela 8).

Sob condições de compactação, destaca-se que as aplicações de [sulfentrazone + diuron] assim como a de diclosulam apresentaram maiores níveis de injúria aos 7 DAE. Para a associação [sulfentrazone + diuron]. Zobiole et al. (2007), afirmaram que este princípio ativo pode promover a redução de área foliar, bem como a nodulação, reduzindo aportes de nitrogênio no

ciclo da cultura. Da mesma forma como observado em solo sem condição de compactação, as notas observadas para as demais aplicações foram consideradas apenas como pequenas alterações em poucas plantas submetidas ao ambiente compactado (Tabela 8).

Por suas características (anexo 1), os produtos avaliados neste estudo apresentam boa solubilidade e mobilidade no perfil do solo. Para esses produtos com maior solubilidade, sintomas de intoxicação costumam ser mais severos em solos arenosos e com baixo teor de matéria orgânica (KARPINSKI et al., 2014), condição contrária observada na área experimental deste estudo, conforme análise de solo apresentada anteriormente.

Estudos demonstram que ambientes de produção com condições de baixos teores de matéria orgânica e alto teor de areia, apresentam menor capacidade de sorção nas partículas do solo e, conseqüentemente, maior é a disponibilidade das moléculas de herbicidas na solução do solo, as quais serão prontamente absorvidas pelas plantas (JURSÍK et al., 2015; SILVA, 2020). Esse comportamento pode indicar, que a boa solubilização e mobilização das moléculas, em qualquer das condições físicas estudadas, reduziu a intensidade das notas de fitointoxicação observadas neste trabalho.

O resumo da análise de variância ($F_{\text{Calculado}}$ + coeficiente de variação) das variáveis-respostas analisadas no experimento está na Tabela 9. Em relação ao efeito da condição física do solo, verificou-se efeito significativo para estande de plantas (EP) e peso de mil grãos (PMG), ao passo que para o fator herbicidas, não foram constatadas diferenças para nenhuma das variáveis-respostas analisadas. Em relação ao efeito da interação entre os fatores condição física do solo e aplicação de herbicidas em pré-emergência da soja, nenhuma das variáveis analisadas apresentaram efeito significativo.

Tabela 9 - Resumo ANOVA ($F_{\text{Calculado}}$ + CV) para as avaliações de estande de plantas (EP), altura de plantas (AP), número de vagens por planta (NVG) peso de mil grãos (PMG) e produtividade (PROD) das plantas de soja, em função das aplicações a campo de herbicidas em pré-emergência em solo compactado e não compactado. Rio Verde (GO), 2021/2022.

Fonte de variação	Grau de liberdade	$F_{\text{Calculado}}$				
		EP	AP	NVG	PMG	PROD
Bloco	5	0,23 ^{ns}	5,37*	2,114 ^{ns}	1,09 ^{ns}	0,77 ^{ns}
Condição física do solo (C)	1	10,46*	0,74 ^{ns}	0,01 ^{ns}	49,30*	4,91 ^{ns}
Herbicidas (H)	7	1,96 ^{ns}	1,30 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,68 ^{ns}	1,06 ^{ns}
C versus H	7	0,84 ^{ns}	1,74 ^{ns}	1,49 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,17 ^{ns}
CV 1 (%)		30,5	16,9	37,9	6,0	39,5
CV 2 (%)		13,6	9,8	33,0	4,9	14,8

^{ns} e * Não significativo e significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$), respectivamente.

Para o estande de plantas, verificou-se uma menor emergência da soja na condição de solo compactado, em detrimento daquelas plântulas que se desenvolveram em ambiente edáfico sem restrições de ordem física (solo descompactado) (Tabela 10). De maneira geral, solos com restrições físicas (compactados) acabam por limitar o desenvolvimento adequado do sistema radicular das plantas, o que pode resultar em uma maior mortalidade da soja durante o período de estabelecimento e desenvolvimento da cultura (FERREIRA et al., 2020). A condição física do solo não compactado apresentou um percentual de estande de plantas cerca de 17% superior ao verificado no solo compactado.

Tabela 10 - Resultados médios para as avaliações de estande de plantas (EP), altura de plantas (AP), número de vagens por planta (NVG), peso de mil grãos (PMG) e produtividade (PROD) da soja em função da condição física do solo e aplicações de herbicidas em pré-emergência da cultura da soja. Rio Verde (GO), 2021/2022.

Condição física do solo		EP (%)	AP (cm)	NVG (un.)	PMG (g)	PROD (kg ha ⁻¹)
Compactado		75,16 b	84,5 ^{ns}	36,4 ^{ns}	147,4 b	3240,2 ^{ns}
Não compactado		92,0 a	87,1	36,2	160,7 a	3876,9
Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)					
Testemunha capinada		76,9 ^{ns}	87,1 ^{ns}	35,8 ^{ns}	153,1 ^{ns}	3775,4 ^{ns}
Clomazone	800	78,5	86,4	35,3	152,7	3732,7
Diclosulam	29,4	84,4	88,9	37,2	153,8	3421,5
Flumioxazin	60	85,3	81,4	33	156,1	3377,9
S-metolachlor	1.440	89,9	81,7	38,5	156,9	3653,8
[Imazethapyr + flumioxazin]	[106 + 50]	87,5	87,4	39,4	152	3564,6
[Pyroxasulfone + flumioxazin]	[90 + 60]	79,8	87,8	36	155,2	3573,2
[Sulfentrazone + diuron]	[210 + 420]	86,1	85,7	35,2	152,7	3369,2

^{ns} Não significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem, significativamente, entre si a pelo teste LSD-Fisher ($p \leq 0,05$).

Além do estande de plantas, outra variável-resposta que também apresentou efeito da condição física do solo foi o peso de mil grãos (Tabela 10). Na comparação entre solo compactado e não compactado, observou-se uma diminuição de aproximadamente 8,1% no acúmulo de massa nos grãos de soja quando as plantas se desenvolveram em ambiente com restrições físicas ao crescimento das raízes. Conforme já abordado na Tabela 9, para todas as demais variáveis-respostas não foram observados efeitos dos tratamentos, independentemente se estes estiveram relacionados a condição física do solo ou aos herbicidas aplicados em pré-emergência da cultura.

Os resultados diferem dos observados por Biffe (2012), nos quais o autor verificou a menor seletividade de herbicidas aplicados em pré-emergência para a soja quando os mesmos foram utilizados em solo com problemas de compactação. Um fato que pode justificar a não observância dos efeitos destes tratamentos sobre o desenvolvimento da soja relaciona-se a boa

pluviometria observada durante o período de condução do experimento (Figura 3), fato que pode ter contribuído para um melhor desenvolvimento da cultura em decorrência dos efeitos negativos proporcionados pela compactação e pelos herbicidas aplicados em pré-emergência. Ademais, a nutrição adequada da cultura, mediante as práticas de inoculação, visando suprimento de nitrogênio, e adubação, podem contribuir para uma maior tolerância da soja aos fatores avaliados no presente estudo.

Apenas para fins de contextualização, após o término do experimento a campo foi realizada coleta de análise de solo na área com o objetivo de compreender o efeito da condição física do mesmo na absorção de nutrientes pelas plantas de soja, estando os resultados apresentados na Tabela 11. Um fato que chama a atenção é que, apesar de não haver subsídio estatístico, na amostra composta coletada nas unidades experimentais que estavam alocadas na condição física de compactação, houve maiores teores de fósforo, potássio e CTC_{Efetiva}. Apesar de não ser possível traçar uma conclusão científica sobre esta visualização de resultados, infere-se que nas unidades experimentais em solo compactado houve uma menor absorção de nutrientes pelo fato de o sistema radicular das plantas de soja apresentar-se mais superficial.

Tabela 11 - Análise do solo (profundidade 00-20 cm) amostrado em função da condição física (compactado e não compactado) após o término de condução do experimento. Rio Verde (GO), 2021/2022.

Condição física do solo	pH _{CaCl2} (unidade)	Matéria orgânica (g dm ⁻³)	Fósforo (mg dm ⁻³)	Potássio	CTC _{Efetiva} (cmol dm ⁻³)
Compactado	5,50	20,00	24,04	420,00	7,55
Não compactado	5,40	20,00	21,88	380,00	6,94

Nas condições registradas neste estudo, observou-se em grande parte ausência de efeitos diretos sobre a cultura, já que os resultados apontam em geral para a ausência de diferença significativas entre tratamentos. Contudo, entende-se também que a safra de 2021/2022 foi uma safra excepcional em termos de volume de chuvas e de sua distribuição temporal durante o ciclo fenológico das culturas implantadas no período. Tal fato dificultou repetidamente o registro de diferenças que atingissem a um patamar estatístico de diferenciação.

Neste contexto, diante de evidências e registros na literatura acerca das alterações de ordem morfofisiológicas e em componentes de composição populacional e/ou de rendimento da cultura da soja, pela interação dos fatores estudados neste trabalho, são perceptíveis as lacunas no entendimento da dinâmica de moléculas herbicidas aplicadas em solos compactados. É fato que alterações serão observadas a cada novo estudo, contudo, fatores externos a esta interação podem minimizar ou potencializar este efeito, em função das condições observadas

em diferentes anos agrícolas. Serão necessários estudos recorrentes sobre a temática, de forma a abastecer a literatura com respostas assertivas, para que sejam apresentados os melhores manejos ao produtor rural, a cada nova safra.

4 CONCLUSÕES

Nas condições deste trabalho, registrou-se que os sintomas visuais de fitointoxicação observados foram considerados de baixa intensidade (leves). Conclui-se também, que a compactação do solo impacta negativamente no estande de plantas e o peso de mil grãos da soja, com reduções na ordem de 17,0 e 8,1% de perdas para as respectivas características. Ademais, todos os tratamentos herbicidas aplicados em pré-emergência da cultura são seletivos nas doses em que foram avaliados.

REFERÊNCIAS

BIFFE, D.F. **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**. Programa de Pós-graduação em Agronomia – Universidade Estadual de Maringá (Tese de Doutorado). 88f. 2012.

BLANCO, H. G. Destino, comportamento e resíduos dos herbicidas no solo. **O Biológico**, v. 45, n. 11, p. 225-248, 1979.

DAN, H.A.; DAN, L.G.M.; BARROSO, A.L.L.; PROCÓPIO, S.O.; OLIVEIRA JR., R.S.; SILVA, A.G.; LIMA, M.D.B. Residual activity of herbicides used in soybean agriculture on grain sorghum crop succession. **Planta Daninha**, v.28, n.5, p.1087-1095, 2010.

EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL – EWRC. Report of 3rd and 4th meetings of EWRC committee of methods in weed research. **Weed Research**, v.4, p.88, 1964.

FALKER. **PenetroLOG: Medidor digital de compactação do solo**. 2023. Disponível em: <<https://www.falker.com.br/br/penetrolog>>. Acesso em: 04/01/2023.

FERREIRA, C.J.B.; TORMENA, C.A.; SEVERIANO, E.C.; ZOTARELLI, L.; BETIOLI JUNIOR, E. Soil compaction influences soil physical quality and soybean yield under long-term no-tillage. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v.66, n.2, p.1-14, 2020.

FERREIRA, D.F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Brazilian Journal of Biometrics**, v.37, n.4, p.529-535, 2019.

GAZOLA, T.; DIAS, M.; BELAPART, D.; CASTRO, E.; BIANCHI, L. Efeitos do diclosulam na soja cultivada em solos de diferentes classes texturais. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n. 4, 353-361, 2016.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Boletins Anuais de Produção, Importação, Exportação e Vendas de Agrotóxicos no Brasil**. Ago, 2021.

JURSIK, M.; SOUKUP, J.; HOLEC, J.; ANDR, J.; HAMOUZOVA, K. Efficacy and Selectivity of Preemergent Sunflower Herbicides under Different Soil Moisture Conditions. **Plant Protect. Sci.**, v. 51, p. 214-222. 2015.

KARPINSKI, R.A.K.; OLIVEIRA NETO, A.M.; GUERRA, N.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., R.S.; MACIEL, C.D.G.; SILVA, A.A.P. Influência da textura do solo na seletividade do herbicida fomesafen aplicado em pré-emergência do algodoeiro. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.13, n.2, p.125-133, 2014.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.

OLIVEIRA JR., R.S.; INOUE, M.H. Seletividade de herbicidas para culturas e plantas daninhas. In: OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. (Ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2001, p.243-262

PATEL, F. **Eficiência agrônômica e persistência de herbicidas pré-emergentes na cultura da soja**. 2018. 157f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco. 2018.

RIBEIRO, S.R.S. **Efeito residual de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura da soja sobre o milho e o algodão cultivados em sucessão**. 2018. 82f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica/RJ. 2018.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; THOMPSON, H.E.; BENSON, G. O. **How a soybean plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Thechnology, Cooperative Extension Service, 1994. 20p.

ROCKENBACH, A.P. **A competição com plantas daninhas altera a morfologia, a bioquímica e o rendimento de grãos da soja**. 2018. 99 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo/RS, 2018.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 5ª Edição; Embrapa Solos: Rio de Janeiro, Brasil, 2018.

SEIXAS, C.D.S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; KRZYZANOWSKI, F.C.; LEITE, R.M.V.B.C. **Tecnologias de produção de soja: região Central do Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 347 p.

SILVA, W.L. **Herbicidas residuais no controle de Eleusine indica e na seletividade da cultura da soja**. 2020. 62f. Dissertação (Mestrado profissional em proteção de plantas). Instituto Federal Goiano. Urutaí/GO. 2020.

SOUZA, R.T.; CONSTANTIN, J., VELINI, E.D., MONTÓRIO, G.A.; MACIEL, C.D.G. Seletividade de combinações de herbicidas latifolicidas com lactofen para cultura da soja. **Scientia Agrícola**, v.1, n.1, p.99-106, 2002.

VELINI, E.D.; FREDERICO, L.A.M.; MORELLI, J.L.; MARUBAUYASHI, O.M. Avaliação dos efeitos do herbicida clomazone, aplicado em pós emergência inicial, sobre o crescimento e produtividade de soqueira de cana de açúcar (*Saccharum officinarum* cv. SP 71-1406). **Sociedade dos técnicos açucareiros e alcooleiros do Brasil**, v.12, n.2, p.30-36, 1993.

ZOBIOLE, L.H.S.; OLIVEIRA JR., R.S.; TORMENA, C.A.; CONSTANTIN, J.; CAVALIERI, S.D.; ALONSO, D.G.; BRIGHENTI, 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**, v.25, n.3, p.537-545, 2007.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se após o estudo realizado, com a elaboração do presente trabalho, que a interação entre a compactação de solo e a seletividade de herbicidas pré-emergentes para a cultura da soja, ampliou o entendimento da relação solo x planta x produto, que atualmente devido ao alto nível tecnológico, com intenso fluxo de máquinas e implementos agrícolas no cultivo das principais cultura no Brasil tem se tornado comum a compactação do solo.

Condições externas à essa interação têm a capacidade de minimizar ou maximizar efeitos do comportamento das moléculas no solo e, conseqüentemente, sobre uma cultura agrícola. No referido trabalho houve intensidade e distribuição de chuvas uniformes, que pode ter influenciado para a minimização dos efeitos fitotóxicos dos herbicidas nos diferentes ambientes analisados. Desta forma, a alta pluviosidade 760mm com intervalo máximo de 120 dias, proporcionou condições edafoclimáticas favoráveis para o pleno desenvolvimento da cultura da soja, não havendo períodos de estresse hídricos e atenuando os possíveis efeitos tóxicos que os herbicidas podem exercer em plantas cultivadas.

Depreende-se que, é possível afirmar nas condições em que os experimentos foram realizados, que o uso dos diferentes herbicidas nos variados ambientes de cultivo (compactado e sem compactação) apesar de alterarem algumas características morfofisiológicas da planta não modificaram o desenvolvimento e produtividade da cultura quando as condições climáticas são favoráveis ao desenvolvimento da mesma.

ANEXO

Anexo 1 - Ingrediente ativo, mecanismo de ação e grupo químico dos herbicidas avaliados no experimento.^{1/}

Herbicida	Mecanismo de ação	Grupo químico	t _{1/2}	K _{oc}	pK _a	Solubilidade em água
			(dias)	(mL g ⁻¹)	(unidade)	(mg L ⁻¹)
Clomazone	Inibidor da síntese de carotenoides	Isoxazolidinona	24	300	nd ^{2/}	1100
Diclosulam	Inibidor da ALS	Sulfonanilida triazolopirimidina	540	90	4,09	124
Imazethapyr		Imidazolinona	75	22	2,1 e 3,9	1400
Flumioxazin	Inibidor da PROTOX	N-feniltalimidas	11,9-17,5	889	nd	1,79
Sulfentrazone		Triazolona	180 a 250	17,5 a 43	6,56	110
S-metolachlor	Inibidor da divisão celular	cloroacetamidas	15 a 50	200	nd	488
Pyroxasulfone		Pirazol isoxazolina	16 a 26	223	nd	3,49
Diuron	Inibidor do Fotossistema II	Ureia	90	480	nd	42

^{1/}Fonte dos dados: Vencill (2002); Oliveira Júnior. e Regitano (2009); Rodrigues e Almeida (2011). ^{2/} nd = Não dissociável.

REFERÊNCIAS

OLIVEIRA JÚNIOR., R.S.; REGITANO, J.B. Dinâmica de pesticidas no solo. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. **Química e mineralogia do solo**. Viçosa: SBCS, 2009. p.187-248.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. Londrina: Ed. dos autores, 2011. 697 p.

VENCILL, W.K. **Herbicide handbook**. 8th ed. Lawrence, KS: Weed Science Society of America.: p.235–237, 2002.