



RODRIGO TEIXEIRA DE CARVALHO BOTELHO

**PRE-EMERGENT HERBICIDES IN THE INITIAL
DEVELOPMENT OF SOYBEAN AND THE IMPACT ON THE
PRODUCTION SYSTEM**

**LAVRAS - MG
2023**

RODRIGO TEIXEIRA DE CARVALHO BOTELHO

**PRE-EMERGENT HERBICIDES IN THE INITIAL DEVELOPMENT OF SOYBEAN
AND THE IMPACT ON THE PRODUCTION SYSTEM**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira
Orientador

**LAVRAS – MG
2023**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Botelho, Rodrigo Teixeira de Carvalho.

Pre-emergent herbicides in the initial development of soybean
and the impact on the production system / Rodrigo Teixeira de
Carvalho Botelho. - 2022.

53 p. : il.

Orientador(a): Silvino Guimarães Moreira.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2022.
Bibliografia.

1. *Glycine max*. 2. Fitotoxicidade de herbicidas residuais. 3.
Sustentabilidade agrícola. I. Moreira, Silvino Guimarães. II. Título.

RODRIGO TEIXEIRA DE CARVALHO BOTELHO

**PRE-EMERGENT HERBICIDES IN THE INITIAL DEVELOPMENT OF SOYBEAN
AND THE IMPACT ON THE PRODUCTION SYSTEM**

**HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DA SOJA
E O IMPACTO NO SISTEMA DE PRODUÇÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 27 de outubro de 2022.

Dra. Christiane Augusta Diniz Melo	UFLA
Dr. Diego Belapart	Sabri - Sabedoria Agrícola
Dra. Flávia Carvalho Santos	Rehagro Pesquisa
Dr. Regis Pereira Venturin	EPAMIG

Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira
Orientador

**LAVRAS - MG
2023**

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Flávia, meu suporte nas horas difíceis, e as minhas filhas, Júlia e Valentina, razão de todo meu esforço.

À Universidade Federal de Lavras por ter me dado base para construção da minha vida profissional. E a todos seus funcionários, docentes e servidores.

Ao Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras – DAG/UFLA e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela disponibilização de bolsa de estudos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

A Universidade de Arkansas, em Fayetteville – Arkansas – EUA, Departamento de Ciências de Cultivos, Solos e Meio Ambiente, Programa de Melhoramento Genético de Soja, onde o experimento foi realizado.

RESUMO

A soja está sujeita a uma série de fatores que interferem no seu desenvolvimento, dentre eles, está a interferência com plantas daninhas pelos recursos de crescimento. O qual pode causar problemas relacionados ao decréscimo da área foliar, massa seca e peso dos grãos, reduzindo significativamente o potencial produtivo da soja. Tendo em vista a dificuldade de controle químico de algumas espécies, o manejo com produtos que possuem efeito residual é bastante promissor, pois proporciona supressão inicial sobre as primeiras camadas de sementes, diminui a pressão da infestação e pode, também, melhorar a eficácia do pós-emergente. No entanto, as doses utilizadas, as características físico-químicas do solo e das moléculas e condições ambientais interferem na absorção, translocação ou metabolismo desses herbicidas, podendo influenciar o comportamento dessas moléculas e, como consequência, sua eficácia e seletividade às culturas. Assim, a realização de um estudo sobre o emprego dos herbicidas pré-emergentes constitui-se uma importante ferramenta em programas de manejo e prevenção da resistência de plantas daninhas, diminuindo os impactos ambientais e os custos de produção para os agricultores. Assim, objetivou-se com o primeiro artigo apresentar uma revisão de literatura, abordando informações importantes sobre o manejo de plantas daninhas, com ênfase no controle químico pré-emergente e seus impactos no sistema de produção. De acordo com as discussões apresentadas, conclui-se que o emprego de herbicidas residuais no controle de plantas daninhas na cultura da soja tem auxiliado, tanto no manejo da lavoura, como na manutenção de um sistema de produção eficiente. Porém, mesmo com um número relevante de herbicidas pré-emergentes recomendados para a cultura da soja, o emprego destes deve ser realizado considerando a sustentabilidade do sistema de produção. Posicionados erroneamente podem gerar sintomas de fitotoxicidade nas plantas e efeito *carryover* na cultura sensível em sucessão. Esses efeitos estão diretamente relacionados com inúmeros fatores ambientais e genéticos, como as características físico-químicas dos herbicidas, atributos do solo, condições de umidade e temperatura e variabilidade genética das cultivares utilizadas. No segundo artigo, visando estudar o comportamento de moléculas herbicidas pré-emergentes no desenvolvimento inicial de linhagens de soja, avaliou-se cinco genótipos de soja (R08-4004; R13-14635RR; R14-10150; R16-45 e UA KIRKSEY) tratados com cinco herbicidas pré-emergentes (Classic®, Fierce®, Fierce XLT®, Valor EZ® e Zidua®), mais a testemunha controle (sem aplicação), em duas doses (recomendada e dose dupla), com três repetições. Após avaliação de xxxx e interpretação dos dados, pode-se concluir que, para a maioria dos caracteres avaliados, quando se aplicou duas vezes a dose recomendada do herbicida pré-emergente nas linhagens, gerou maiores estimativas de fitotoxicidade. O herbicida Valor EZ®, apresentou menor efeito de fitotoxicidade, afetando menos o crescimento inicial das plantas de soja. Resultado contrário observou-se para os herbicidas Classic® e Zidua®, cujas estimativas comprovaram um alto teor residual nas plantas, inibindo um adequado desenvolvimento agrônômico, quando aplicado em pré-emergência. As linhagens R08-4004 e UA KIRKSEY apresentaram menores danos nas características avaliadas em relação às demais variedades, resultados que permitem inferir que,

provavelmente esses genótipos têm maior capacidade de metabolização das moléculas do ativo absorvida pela planta.

Palavras chaves: *Glycine max*. Fitotoxicidade de herbicidas residuais. Sustentabilidade agrícola.

ABSTRACT

Soybean is exposed to a series of factors that interfere its development, among them is the competition with weeds for the resources of the environment. Weed interference can cause problems as decrease in leaf area, dry mass, and grain weight, reducing the productive potential of soybean. Management with products that have a residual effect is quite promising, as it provides an initial suppression on the first layers of weed seeds, reduces the pressure of infestation, and improve the efficiency of post-emergent. However, the rates used, the physicochemical characteristics and the environmental conditions interfere in the absorption, translocation, or metabolism of these herbicides, being able to influence the behavior of these molecules and their efficiency and selectivity to crops. Thus, a study on the use of pre-emergent herbicides constitutes an important tool in programs for the management and prevention of weed resistance. The objective of the first article was to present a literature review, covering important information on weed management, with emphasis on pre-emergent chemical control and its impacts on the production system. According to the discussions presented, it is concluded that the use of residual herbicides in the control of weeds in the soybean crop has greatly helped, both in the management of the crop and, mainly, in the maintenance of an efficient production system. However, even with a relevant number of pre-emergent herbicides recommended for soybean, their use must be carried out considering numerous questions aimed at the sustainability of the production system. If wrongly positioned, they can generate symptoms of phytotoxicity in plants and *carryover* effect in the crop in succession, which happens when the pre-emergent herbicide shows residual activity greater than the interval between crops. These effects are directly related to numerous environmental and genetic factors, such as the characteristics of the herbicides, the physicochemical properties of the soil, humidity and temperature conditions, as well as the genetic variability of the cultivars used. In the second article, aiming to study the behavior of pre-emergent herbicides molecules in the initial development of soybean lines, five soybean genotypes were evaluated (R08-4004; R13-40635RR; R14-1450; R16-1450 and KIRKSE45RR) treated with five pre-emergent herbicides (Classic®, Fierce®, Fierce XLT®, Valor EZ® and Zidua®), plus the control (without application), in two rates (recommended and rate), with three replications. After interpreting the data, it can be concluded that, for most of the evaluated characters, when the recommended rate of the pre-emergent herbicide was applied twice in the lines, they reacted negatively to the phenotypic performance, generating higher phytotoxicity estimates. The herbicide ValorEZ® showed a lower phytotoxicity effect, affecting less the development and initial growth of soybean seedlings, in addition to presenting an effective active principle in the control of weeds that affect the crop, according to the literature. The R08-4004 and UA KIRKSEY lines showed less damage to the characteristics evaluated in relation to the other varieties, results that allow us to infer that, probably, these genotypes have the greatest capacity to metabolize the entire active molecule absorbed by the plant.

Keywords: *Glycine max*. Phytotoxicity of residual herbicides. Agricultural sustainability.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	9
1 INTRODUÇÃO.....	10
REFERÊNCIAS	10
CAPÍTULO 2 HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES E OS EFEITOS NA CULTURA DA SOJA E SISTEMA DE PRODUÇÃO: ARTIGO DE REVISÃO ..	13
1 INTRODUÇÃO.....	14
2 HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES E RECOMENDADOS À SOJA.....	15
3 FITOTOXIDEZ E SEUS EFEITOS NA CULTURA DA SOJA.....	21
4 PERSISTÊNCIA NO SOLO, CARRYOVER E SELETIVIDADE DE HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES NO SISTEMA DE PRODUÇÃO	23
5 CONCLUSÃO.....	26
REFERÊNCIAS.....	27
CAPÍTULO 3 PRE-EMERGENT HERBICIDES ON THE INITIAL AGRONOMIC DEVELOPMENT OF SOYBEAN LINES	32
1 INTRODUCTION	34
2 MATERIAL AND METHODS	36
2.1 Local.....	36
2.2 Germplasms	36
2.3 Conducting the experiments	36
2.4 Evaluated traits.....	37
2.5 Data Analysis.....	38
3 RESULTS	39
4 DISCUSSION	47
5 CONCLUSIONS	51
REFERENCES.....	51

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

A soja se destaca como a cultura com maior participação no mercado de agrotóxicos no Brasil, seguida do milho, frutas cítricas, cana-de-açúcar e algodão, com maior percentual destinado ao controle de plantas daninhas, com uso de herbicidas (RAMALHO et al, 2021).

Herbicidas pré-emergentes em sua maioria apresentam residual prolongado no solo, sendo uma alternativa para reduzir a infestação de plantas daninhas ao longo do ciclo da cultura de interesse (PATEL, 2018). Eles podem ser usados antes ou depois da semeadura, mas antes do surgimento da cultura ou das ervas daninhas. Normalmente, sua eficácia é altamente dependente da umidade do solo, precipitação, temperatura, tipo de solo, entre outros diversos fatores (MATTE, 2018).

A utilização de herbicidas pré-emergentes possibilita a aplicação de moléculas de diferentes mecanismos de ação no manejo de plantas daninhas dentro dos diversos sistemas de produção com soja (ARSENIJEVIC et al., 2022). Contudo, vários são os fatores que influenciam na escolha de um herbicida pré-emergente na cultura da soja, dentre eles pode-se se destacar: efeito residual prolongado, protegendo a lavoura por um longo período; fatores ambientais no momento de aplicação que propiciem a maior absorção do produto pelas daninhas, alta seletividade e espectro de controle do herbicida, controlando apenas as invasoras, sem comprometer o desenvolvimento da soja e eficiente no combate às diversas espécies de plantas daninhas (SILVA et al., 2021).

O sistema de produção empregado, atualmente, na maioria das lavouras brasileiras baseia-se em um cultivo de soja em primeira safra, seguido por um cultivo em sucessão com outras culturas. Considerando que a competição com plantas daninhas no sistema interferem sobremaneira no desempenho da lavoura, o manejo integrado de daninhas é essencial para alcançar elevadas produtividades de grãos. Dentro deste cenário, o uso de herbicidas na soja com longo efeito residual no solo pode acarretar problemas aos cultivos subsequentes, por meio dos resíduos que venham a permanecer no solo.

A persistência de um herbicida no solo pode ser definida como a habilidade em manter a integridade de sua molécula e características físicas, químicas e biocidas no ambiente (MENDES et al., 2022). Esta persistência pode provocar o efeito conhecido como “carryover”, que acontece após a aplicação de herbicidas com atividade residual maior que o intervalo entre cultivos. A presença de resíduos em concentração suficiente para provocar injúrias pode proporcionar impactos negativos nas culturas empregadas na sucessão, sejam pelas próprias

moléculas dos herbicidas aplicados ou seus metabólitos (CONCENÇO et al., 2022). Tal efeito residual duradouro de alguns herbicidas, também, dependerá das características do solo e das moléculas, entretanto, a bioatividade do herbicida pode causar danos nas culturas em rotação/sucessão

O emprego de herbicidas residuais no controle de plantas daninhas na cultura da soja tem auxiliado sobremaneira, tanto, no manejo da lavoura, como na manutenção de um sistema de produção eficiente. Porém, mesmo com um número relevante de herbicidas pré-emergentes recomendados para a cultura da soja, o emprego dos mesmos deve ser realizado considerando questões com o intuito de manter a sustentabilidade do sistema de produção. Pois, se posicionados erroneamente podem gerar sinais de fitotoxicidade nas plantas e efeito carryover na cultura em sucessão, que acontece, quando, o herbicida pré-emergente apresenta atividade residual maior que o intervalo entre cultivos. Esses efeitos estão diretamente relacionados com inúmeros fatores ambientais e genéticos, como as características dos herbicidas, as propriedades físico-químicas do solo, condições de umidade e temperatura, bem como da variabilidade genética das cultivares utilizadas.

Basicamente, todos os herbicidas devem ser aplicados em um determinado momento para maximizar seus efeitos. Portanto, conhecer os produtos bem como a seletividade para a cultura é essencial para o uso adequado e racional do controle químico. Assim, objetivou-se avaliar o efeito de diferentes herbicidas pré-emergentes no desenvolvimento agrônomo inicial de linhagens de soja.

REFERÊNCIAS

ARSENIJEVIC, N. et al. Influence of integrated agronomic and weed management practices on soybean canopy development and yield. **Weed Technology**, v. 36, n.1, p. 1-6, 2022.

CONCENÇO, G. et al. Carryover de [imazapic+ imazapyr] sob diferentes sistemas de produção em terras baixas com arroz tolerante a ALS. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 17, n. 3, p. e2127-e2127, 2022.

DAMIN, V.; CARRIJO, B. da S.; COSTA, N. A. Residual activity of sulfentrazone and its impacts on microbial activity and biomass of Brazilian Savanna soils. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 51, 2022.

MATTE, W. D. et al. Eficácia de [atrazine+ mesotrione] para o controle de plantas daninhas na cultura do milho. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 17, n. 2, p. 587-1-15), 2018.

MENDES, K. F.; IONOUE, M. H.; TORNISIELO, V. L. Herbicidas no ambiente: Comportamento e destino. **Editora UFV**, 2022.

PATEL, B. D. et al. Weed dynamics and production potential of kharif maize (*Zea mays* L.) as influenced by new generation herbicides. **Crop Research** v. 53, n. 5and6, p. 209-214, 2018.

RAMALHO, T. C.; SOUSA JUNIOR, E. D. S. de; JUNQUEIRA, A. M. R. Manejo sustentável de plantas daninhas na cultura da soja. **In Anais do VIII ECOPET-Encontro Centro-Oeste dos Grupos PET**, 2021.

SILVA, M. DE S. DA et al. Weed control and selectivity of different pre-emergence active ingredients in a soybean crop. **Agronomía Colombiana**, v. 39 n.3, p. 392-404, 2021.

CAPÍTULO 2 HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES E OS EFEITOS NA CULTURA DA SOJA E SISTEMA DE PRODUÇÃO: ARTIGO DE REVISÃO

RESUMO

A soja é a principal oleaginosa em termos de produção e consumo mundial e isso se justifica pela sua importância para a alimentação animal e humana. Entre os principais fatores que concorrem para o comprometimento da produtividade de grãos dessa cultura pode-se citar as plantas daninhas. Assim, a realização de um estudo sobre o correto emprego dos herbicidas pré-emergentes constitui-se uma importante ferramenta em programas de manejo e prevenção da resistência de plantas daninhas a herbicidas, visando diminuir os impactos ambientais e os custos de produção para os agricultores. Dessa forma, o objetivo desse artigo é apresentar uma revisão de literatura, abordando informações importantes sobre o manejo de plantas daninhas no desenvolvimento da cultura da soja, com ênfase no controle químico pré-emergente e seus impactos no sistema de produção. De acordo com as discussões apresentadas, verifica-se que o emprego de herbicidas residuais no controle de plantas daninhas na cultura da soja tem auxiliado sobremaneira, tanto no manejo da lavoura, como, principalmente, na manutenção de um sistema de produção eficiente. Porém, mesmo com um número relevante de herbicidas pré-emergentes recomendados para a cultura da soja, o emprego destes deve ser realizado considerando inúmeras questões visando à sustentabilidade do sistema de produção. Tais herbicidas são responsáveis por reduzir o banco de sementes e a interferência das plantas daninhas em estádios de desenvolvimento importantes para a obtenção de elevadas produtividades de grãos. Contudo, se posicionados erroneamente podem gerar efeitos de fitotoxicidade nas plantas e efeito *carryover* na cultura sensível em sucessão, que acontece quando o herbicida pré-emergente apresenta atividade residual maior que o intervalo entre cultivos. Esses efeitos estão diretamente relacionados com inúmeros fatores ambientais e genéticos, como as propriedades físico-químicas dos herbicidas, os atributos do solo, condições de umidade e temperatura, bem como da variabilidade genética das cultivares utilizadas.

Palavras-chaves: *Glycine max*. Sustentabilidade agrícola. Herbicidas residuais

1 INTRODUÇÃO

A soja, considerada cultura de destaque no cenário mundial de grãos, representa um dos principais produtos da pauta brasileira de exportações. O grande potencial do mercado externo e sua excelente adaptação às diferentes condições edafoclimáticas do Brasil, impulsionam o seu cultivo em todas as regiões do país (SILVA et al., 2022).

O cultivo dessa leguminosa nas diferentes condições edafoclimáticas brasileira exige práticas de manejo cada vez mais eficientes, visando minimizar os efeitos dos estresses bióticos e abióticos na produtividade de grãos. Entre os estresses que interferem no desenvolvimento e crescimento das plantas de soja, destaca-se a presença de plantas daninhas.

As plantas daninhas competem com a cultura da soja por inúmeros recursos, como a luz, água, nutriente e espaço. Além disso, podem liberar substâncias alelopáticas, hospedar insetos e patógenos, conseqüentemente, ocasionando perdas na produtividade e qualidade dos grãos colhidos (GALON et al., 2021). Quanto mais precoce ocorrer essa interferência, maior será o reflexo na perda de produtividade, que pode ser superior a 80% ou até mesmo inviabilizar a colheita (SONG et al., 2017).

O manejo de plantas daninhas na cultura da soja ainda é muito dependente da utilização de herbicidas, devido à alta eficácia (OSTERHOLT et al., 2019). No entanto, o uso intensivo e inadequado de herbicidas levou a um aumento nos casos de plantas daninhas resistentes nos últimos anos (ZHU et al., 2018).

Com o aumento contínuo da resistência e a limitação do desenvolvimento de novas moléculas, existe a tendência no mercado de se aumentar o uso de herbicidas pré-emergentes. Herbicidas pré-emergentes podem ser definidos como herbicidas residuais que, após serem aplicados no solo, têm capacidade de permanecer ativos em determinadas concentrações por algum tempo. Em geral, aplicados antes da emergência das plantas daninhas, afetam processos-chave durante a germinação de sementes e/ou emergência de plântulas que se encontram nas camadas superficiais do solo (ROSA et al., 2021). Desse modo, herbicidas pré-emergentes controlam plantas daninhas em estádios iniciais (AWAN et al., 2016). No entanto, as doses utilizadas, as características do herbicida e do solo e as condições ambientais influenciam na absorção, translocação ou metabolismo desses, podendo influenciar o comportamento no solo e, eficácia de controle e risco de fitointoxicação e *carryover* (CHAUHAN; JOHNSON, 2011; CHRISTOFFOLETI; OVEJERO, 2005).

Considerando a problemática do controle de plantas daninhas na cultura da soja no Brasil, associado ao fato que, o controle efetivo das plantas daninhas consiste em suprimir o

desenvolvimento e/ou diminuir o número de plantas daninhas por área, até um nível aceitável de convivência entre as espécies envolvidas, foi realizado o presente estudo. O objetivo é apresentar uma revisão de literatura, abordando informações importantes sobre o manejo de plantas daninhas nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura da soja, com ênfase no controle químico pré-emergente e seus impactos no sistema de produção.

2 HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES E RECOMENDADOS À SOJA

O método químico, com o emprego de herbicidas é o mais utilizado para o manejo de plantas daninhas na cultura da soja. Mundialmente, os produtores consomem, em média, US\$ 10,5 bilhões em defensivos fitossanitários, sendo 33% do valor com herbicidas (MONQUERO, 2021). Especificamente no Brasil, houve um aumento de 238% nas vendas de herbicidas entre os anos 2000 e 2018 (IBAMA, 2021), estimativa que demonstra um amplo e extensivo uso dessas moléculas na agricultura brasileira.

A resistência de biótipos de plantas daninhas às moléculas de herbicidas tem contribuído para esta situação. Atualmente, existem 53 relatos de plantas daninhas resistentes aos herbicidas no Brasil (HEAP; DUKE, 2020), que aumentaram significativamente os custos de produção. O custo anual estimado com plantas daninhas resistentes a herbicidas, especificamente, na cultura da soja pode chegar a US\$ 2,7 bilhões, quando consideradas as perdas de produção devido a interferência (ADEGAS et al., 2017).

A rotação de herbicidas com diferentes mecanismos de ação é uma prática que pode preservar a seleção de plantas daninhas resistentes, reduzindo a pressão de seleção na população. Nessa vertente, herbicidas residuais pré-emergentes que, já foram amplamente utilizados, se encaixam nesse sistema e devem ser reintroduzidos (SILVA et al., 2021).

O plantio de soja resistente ao glifosato tem aumentado, desde que foi introduzido em 1998 no Brasil. Isso porque o emprego do glifosato no controle de plantas daninhas fornece amplo espectro e ampla janela de aplicação e baixa fitotoxicidade. No entanto, ao longo do tempo, o aumento da pressão de seleção sobre as populações de plantas daninhas, devido à dependência excessiva do glifosato como único meio de controle (BECKIE, 2019; JOHNSON et al., 2009; YOUNG, 2006) ameaça a longevidade dessa tecnologia, com um aumento na frequência e distribuição geográfica de biótipos de plantas daninhas resistentes ao glifosato (HEAP, 2013; JOHNSON et al., 2009) e aumento da população de plantas daninhas tolerantes.

Ações com o intuito de mitigar a evolução da resistência ao glifosato em plantas daninhas e para instituir um melhor manejo integrado de plantas daninhas foram desenvolvidas, como por exemplo, o posicionamento de herbicidas residuais no pré-plantio ou logo após a semeadura (HEAP; DUKE, 2018). O emprego de herbicidas pré-emergentes pode reduzir a pressão de seleção para biótipos resistentes, alterando o espectro de plantas daninhas emergidas (CORRIGAN; HARVEY, 2000) e diminuindo a necessidade de múltiplas aplicações de glifosato em pós-emergência (LEGLEITER et al., 2009). Dessa forma, moléculas de herbicida pré-emergentes, com atividade residual suficiente, é uma ferramenta eficaz para proteger as culturas da interferência precoce de daninhas e para o manejo da resistência à molécula de glifosato (KNEZEVIC et al., 2018)

O emprego de herbicidas pré-emergentes também possibilita aumentar o período anterior à interferência (PAI), aumentando a vantagem competitiva para as culturas cultivadas no início do desenvolvimento, além de possibilitar a rotação de mecanismos de ação de herbicidas e o controle de plantas daninhas resistentes ao glifosato, ainda no banco de sementes do solo por apresentarem maior espectro de ação (GALON, et al., 2022).

Como os herbicidas pré-emergentes atuam diretamente no banco de sementes, eles necessitam maior contato com o solo. Por isso, a cobertura do solo com palhada abundante pode ser um fator limitante, atuando como barreira física à chegada do produto ao solo, reduzindo sua eficácia de controle (ALMEIDA et al., 2020). Algumas alternativas podem aumentar a eficiência dos pré-emergentes, mesmo na condição de muita palhada. Por exemplo, o emprego de novas formulações “GOLD” (POLLES, 2020), associado à atenção para a existência de umidade do solo ou precipitação após a aplicação.

A umidade é necessária para que o produto alcance a solução do solo e assim controle às plantas daninhas do banco de sementes. Rodrigues, desde o ano de 2000, já enfatizava, pelos resultados das pesquisas, que o comportamento de um herbicida com efeitos residuais no solo com bastante palhada está extremamente ligado às precipitações pluviais. A presença de lâmina de água promove a lixiviação dos herbicidas, além de potencializar a degradação microbiana.

Quando os herbicidas pré-emergentes entram em contato com o solo, eles podem sofrer processos de retenção, transformação e de transporte complexos que tornam sua atividade dependente das características físico-químicas do produto, atributos do solo, condições climáticas, sistema de cultivo e interação entre esses fatores (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2011). Dentre os atributos do solo ligados ao potencial de adsorção do herbicida aos coloides,

destacam-se o teor de argila, a matéria orgânica do solo, a capacidade de troca de cátions (CTC) do solo e o valor de pH.

As características físico-químicas do herbicida são muito utilizadas para estudo do seu comportamento, pois estão relacionadas com sua interação no solo. As principais são: solubilidade em água (S), coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}), coeficiente de sorção normalizado ao teor de carbono orgânico (K_{oc}) e constante de equilíbrio de ionização ácido-base (pK_a) (MANCUSO et al., 2011).

A solubilidade (S) de um herbicida expressa a quantidade máxima com que este é dissolvido em água pura, em determinada temperatura (geralmente 25°), até que ocorra a saturação da solução. As moléculas muito solúveis geralmente possuem facilidade de se dissiparem no ambiente por fluxo de água e apresentam coeficientes de sorção relativamente baixos no solo (KOGAN; PÉREZ, 2003).

O coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}) refere-se ao grau de afinidade da molécula de pesticida pela fase polar (representada pela água) ou apolar (representada pela substância octanol) (OLIVEIRA JR., 2002). A polaridade é muito importante para penetração das moléculas dos herbicidas pela cutícula das folhas e interfere nos processos sortivos com o solo. Geralmente os herbicidas apolares ($K_{ow} > 10.000$) possuem maior potencial de se adsorver à fração orgânica dos coloides do solo. Para os herbicidas polares ($K_{ow} < 10$), sua afinidade é maior em relação à fração mineral do solo (SILVA et al., 2012). Esta propriedade pode ser usada para avaliar a atividade de herbicidas na solução do solo, ou seja, o quanto da molécula de herbicida está livre em água ou associada às substâncias orgânicas.

O coeficiente de sorção (K_{oc}) reflete a tendência de adsorção do herbicida pela matéria orgânica presente no solo (OLIVEIRA JR., 2002). Alguns autores apontam ainda certa relação entre os coeficientes K_{ow} e K_{oc} . Quanto menor for o valor de K_{ow} , maior será o potencial de lixiviação do herbicida. Por sua vez, quanto maior for o valor de K_{oc} , maior será sua sorção ao solo (SILVA et al., 2012).

O potencial de dissociação ácido-base, também conhecido como pK_a , representa o potencial de dissociação da molécula do herbicida. Os valores de pK_a dividem os herbicidas em três classes: herbicidas ácidos fracos, herbicidas bases fracas e os não-iônicos (SILVA et al., 2014). Essa classificação torna-se importante sob o ponto de vista da compreensão da dinâmica dos herbicidas no solo em função do pH do meio.

O primeiro herbicida pré-emergente de grande sucesso e utilizado até hoje no Brasil é a trifluralina, com utilização em larga escala desde a década de 70, no controle de importantes

daninhas mono e eudicotiledôneas na soja. Atualmente, existem diversas opções de herbicidas pré-emergentes para a cultura da soja (Tabela 1), dentre os mais utilizados estão: chlorimuron, imazethapyr, flumioxazina, diclosulam, sulfentrazone, clomazone, metribuzin, S-metolachlor, metsulfuron, trifluralina e pyroxasulfone (SOUSA, 2022).

Para melhor entender a ação das moléculas de herbicidas na cultura da soja e a possível interferência residual dos herbicidas no sistema de produção serão apresentadas a seguir as características, incluindo o mecanismo e modo de ação dos herbicidas pré-emergentes recomendados na soja no Brasil, de acordo com Ribeiro (2018) e Prates (2021):

- a) Clomazone: $\{2-[(2\text{-clorobenzil})-4,4\text{-dimetil-1,2-oxazolidin-3-ona}]\}$, pertence ao grupo químico das isoxazolidinonas, atuando indiretamente no processo da fotossíntese, inibindo a enzima deoxixilulose fosfato sintase (DXP sintase), é absorvido pelas raízes e move-se no xilema até as folhas das plantas. Esse herbicida inibe a biossíntese de carotenoide, causando uma aparência descorada em espécies suscetíveis, ocasionando plantas brancas, amarelas ou verde-claro (DUKE & PAUL, 1986). É utilizado em culturas como a soja, mandioca, cana-de-açúcar e algodão. Apresenta solubilidade em água de 1100 mg L^{-1} (25°C) e pressão de vapor de 19.2 mPa (25°C). A meia-vida do clomazone no solo é de 24 dias, mas esse período pode variar com o tipo do solo e as circunstâncias ambientais (VENCILL, 2002).
- b) Diclosulam: $[\text{N-(2,6-diclorofenil)-5-etoxi-7-fluor-(1,2,4)triazolo(1,5-c)pirimidina-2-sulfonamida}]$, pertencente ao grupo químico das sulfonamida triazolopirimidina, atuando na planta como um inibidor da enzima aceto lactato sintase (ALS), impedindo a síntese de aminoácidos essenciais de valina, leucina e isoleucina (RIBEIRO et al., 2019). Recomendado na cultura da soja para o controle de eudicotiledôneas (folhas largas) em pré-plantio ou pré-emergência, podendo também suprimir o crescimento de algumas gramíneas (MARTINS, 2005). O mesmo é indicado para o controle de plantas daninhas no plantio direto, pois apresenta boa mobilidade mesmo quando aplicado sobre palhada (COBUCCI et al., 2004). Segundo Rodrigues e Almeida (2011), a dose recomendada de diclosulam é considerada baixa, em comparação a outros herbicidas de pré-emergência, e varia de 25 a 35 g ha^{-1} . O tempo de meia-vida deste herbicida no solo é de 60 a 90 dias, a solubilidade em água é dependente do pH, podendo variar de 117 mg L^{-1} em pH 5,0 até 4.290 mg L^{-1} em pH 9,0 (RODRIGUES & ALMEIDA, 2011), demonstrando potencial de movimentação vertical facilitada pela solubilidade em água. O pKa da molécula é de 4,09 a 20°C , indicando sua predominância na forma aniônica em valores de pH característicos de solos agricultáveis (KUYA et al., 2016).

- c) Diuron: [3-(3,4-dichlorophenyl)-1,1-dimethylurea)], pertence ao grupo químico das ureias, atua no fotossistema II. É usado para o controle de mono e dicotiledôneas em pré e pós-emergência possuindo registro no MAPA para as culturas da soja, algodão, alfafa, abacaxi, banana, cacau, cana-de-açúcar, citros, seringueira e videira. Apresenta uma baixa solubilidade em água 42 mg L^{-1} a 25°C , pKa igual a 0 e Kow de 589 (CABRERA et al., 2010). Em experimentos desenvolvidos por Rocha et al. (2013), em três tipos de Latossolo apresentou tempo de meia-vida variando de 40 a 91 dias.
- d) Flumioxazina: [N-(7-fluoro-3,4-dihydro-3-oxo-4-prop-2-ynyl-2H-1,4-benzoxazin-6-yl)cyclohex-1-ene-1,2-dicarboxamide], é um herbicida de uso em pré-emergência para o controle de plantas daninhas monocotiledôneas e dicotiledôneas, em diversas culturas entre elas a soja (FAO, 2015). Pertence ao grupo químico das ftalamidas, possuindo ação sobre a rota de síntese da clorofila, especificamente acumulando porfirinas. O mecanismo de ação é inibição da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX). Segundo Ferrell et al. (2005) é uma molécula de baixa solubilidade em água $1,79 \text{ mg L}^{-1}$, baixa pressão de vapor: $2,4 \times 10^{-6} \text{ mm Hg}$. Possui tempo de meia-vida médio de 11,8 a 34,7 dias (PPDB, 2021).
- e) Imidazolinonas: compreendem imazaquin, imazapir, imazamox, imazapic e imazethapyr (IM) (XIE et al., 2018). Possuem características residuais e persistentes, relativamente solúveis na solução do solo e degradadas lentamente (DOVALA & MONTEIRO, 2013). Outra característica importante dos herbicidas do grupo das imidazolinonas é a sua mobilidade no solo. Estudos mostram que a imidazolinona têm pouca mobilidade horizontal no solo, entretanto, 80 a 90% do herbicida aplicado pode concentrar-se na camada vertical do solo, entre 10-20 cm do perfil, permanecendo durante longos períodos (BUNDT et al., 2015). Os valores de pka dos herbicidas do grupo das imidazolinonas variam entre 1,3 e 3,9, sendo o valor de pka do imazapir (3,6 e 1,9) e Kow, 3 (KRIEGER & KRIEGER, 2007). A degradação microbiana é o principal meio de dissipação de imazapir no solo e seu tempo de meia-vida varia de 25-142 dias dependendo das características do solo e das condições do meio ambiente (KRIEGER & KRIEGER, 2007). Em geral, o imazapir sofre degradação limitada em condições anaeróbicas, aumentando sua persistência em solos hidromórficos e um efeito residual sobre o arroz suscetível pode ocorrer mesmo após 12 meses após a aplicação (SOUZA et al., 2016).
- f) Pyroxasulfone: [3-[5-(difluoromethoxy)-1-methyl-3-(trifluoromethyl)pyrazol-4-ylmethylsulfonyl]-4,5-dihydro-5,5-dimethyl-1,2-oxazole], atua na biossíntese de ácidos graxos de cadeia muito longa (VLCFA) e pertence ao grupo químico das isoxazolinonas.

Controla principalmente gramíneas, mas também tem atividade em algumas espécies de folhas largas, principalmente às que possuem sementes pequenas, como o caruru e buva. Apresenta eficácia de controle das plantas daninhas em doses mais baixas que os outros herbicidas do mesmo grupo. Além disso, sua persistência no solo permite um ótimo controle residual (YAMAJI et al., 2014). Apresenta baixa solubilidade em água ($3,49 \text{ mg L}^{-1}$ a 20°C), pressão de vapor ($2,4 \times 10^{-3} \text{ mPa}$), coeficiente de partição octanol-água (Kow) em pH 7 log P 2,39 e coeficiente de sorção (Koc) de 223. Possui um tempo de meia-vida médio de 16 a 26 dias (IUPAC, 2017).

- g) S-metolachlor: [2-chloro-N-(2-ethyl-6-methylphenyl)-N-((1S)-2-methoxy-1-methylethyl)acetamide], é um composto não ionizável que pertence ao grupo químico das cloroacetamidas e utilizado para controle de algumas monocotiledôneas e eudicotiledôneas; atua como inibidor da parte aérea das plantas, de forma seletiva para as culturas de milho, soja e algodão (VIDAL & FLECK, 2001). Estudos em laboratório mostraram que a meia-vida do S-metolachlor no solo varia entre 6 e 100 dias (MA et al., 2006); em campo, dependendo das condições de temperatura, umidade e tipo de solo, pode perdurar por muito mais tempo. Apresenta solubilidade em água de 448 ppm a 20°C ; densidade de $1,117 \text{ g cm}^{-3}$ a 20°C ; pressão de vapor de $1,3 \times 10^{-6} \text{ mm Hg}$ a 20°C ; pKa zero (herbicida não-iônico); Kow de 794 a 25°C ; e Koc médio de 200 - de solo (RODRIGUES; ALMEIDA, 1998).
- h) Sulfentrazone: (2',4'-dichloro-5'-(4-difluoromethyl-4,5-dihydro-3-methyl-5-oxo-1H1,2,4-triazol-1-yl) methanesulfonamide), herbicida pré-emergente, pertencente ao grupo químico das triazolinonas, inibidor da enzima protoporfirinogenio oxidase, ocasionando formação de espécies reativas de oxigênio (EROs) que causam a peroxidação de lipídios e consequentemente a destruição das membranas celulares levando a planta a morte (CARVALHO, 2013). Possui registro no MAPA para as culturas da soja, cana-de-açúcar, café e citros, para o controle de espécies monocotiledôneas (folha estreita) e eudicotiledôneas. Possui solubilidade de 780 mg L^{-1} em pH 7, uma pressão de vapor $1 \times 10^{-9} \text{ mm Hg}$ a 25°C , constante de dissociação (pKa) de 6,56 e coeficiente de partição octanol-água em pH 7 de 9,8. O tempo de meia-vida no solo é de 110 a 280 dias, variando a partir das condições edafoclimáticas (VIVIAN et al., 2006).
- i) Trifluralina: [2,6-dinitro- N, N -dipropil-4- (tri fluorometil) anilina; TFL] é um herbicida de pré-emergência e PPI recomendado para controlar plantas daninhas monocotiledôneas e algumas eudicotiledôneas, podendo ser usado em culturas como algodão, soja, trigo e sementes oleaginosas (LIM et al., 2007). Pertence ao grupo químico dinitroanilinas. Atua no elétron da α - tubulina, inibindo o desenvolvimento da raiz interrompendo a mitose e,

portanto, pode controlar as plantas daninhas à medida que germinam (ALSHALLASH, 2014). A persistência no solo ou meia-vida da trifluralina é de 150 a 180 dias (CAMPANHOLA et al, 1982). Apresenta solubilidade em água de 0,3 ppm. Possui translocação insignificante no solo, sendo fortemente absorvido pelos coloides da matéria orgânica. Sua capacidade de volatilização é alta, pois a pressão de vapor é 9,5 mPa a uma temperatura de 25 °C, comparativamente maior do que a maioria dos herbicidas. Em relação à sua adsorção ao solo, a trifluralina é altamente adsorvida, uma vez que apresenta alto valor de K_{oc}, valor este de aproximadamente 8765.

As principais características físico-químicas dos herbicidas, comumente empregados na cultura da soja estão relacionadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Herbicidas pré-emergentes recomendados e comumente empregados para a cultura da soja no Brasil.

Herbicidas	pKa	K _{oc}	Solubilidade em água (mg/L)	Fotodecomposição	Classificação
Clomazone	---	300	1100	Suscetível (lenta)	Não-iônico
Diuron	---	480	42	Suscetível	Não-iônico
Flumiozaxin	---	2000	1,79	Suscetível	Não-iônico
S-metolachlor	---	200	488	Suscetível	Não-iônico
Trifluralina	---	7000	0,3	Suscetível	Não-iônico
Diclosulam	4,09	90	124	Insignificante	Ácido fraco
Imazapir	3,6	100	11.272	Existente (baixa)	Ácido fraco
Imazapic	3,9	206	2200	Insignificante	Ácido fraco
Imazethapir	3,9	173	1400	Existente (baixa)	Ácido fraco
Sulfentrazone	6,56	43	110 - 780	Insignificante	Ácido fraco
Pyroxasulfone	2,39	226	3,49	Suscetível	Não-iônico

Fonte: Do autor (2022).

3 FITOTOXIDEZ E SEUS EFEITOS NA CULTURA DA SOJA

A utilização de herbicidas pré-emergentes possibilita a aplicação de moléculas de diferentes mecanismos de ação no manejo de plantas daninhas dentro dos diversos sistemas de produção com soja (ARSENIJEVIC et al., 2022). Contudo, vários são os fatores que

influenciam na escolha de um herbicida pré-emergente na cultura da soja, dentre eles pode-se destacar: efeito residual prolongado, protegendo a lavoura por um longo período; fatores ambientais no momento de aplicação que propiciem a maior absorção do produto pelas daninhas, alta seletividade e espectro de controle do herbicida, controlando apenas as infestantes, sem comprometer o desenvolvimento da soja e eficaz no combate às diversas espécies de plantas daninhas (SILVA et al. da, 2021).

O efeito residual no solo favorece o crescimento inicial da cultura no limpo e pode contribuir para a melhoria de eficácia do glifosato na pós-emergência da soja (RIZZARDI, et al., 2020). Entretanto, o emprego destes herbicidas merece ser realizado com atenção, pois podem ocasionar fitotoxicidade à cultura.

A suscetibilidade da soja aos herbicidas pré-emergentes pode estar relacionada a cultivar, características físicas e químicas do solo, condições ambientais e a dose do herbicida utilizado (SANTIN et al., 2019; RIZZARDI et al., 2020). Desse modo, pesquisas que venham estudar a seletividade e a eficácia de herbicidas pré-emergentes aplicados em diferentes doses na soja são extremamente importantes, já que esses produtos têm sido muito empregados em lavouras, onde se tem plantas daninhas resistentes ou tolerantes ao glifosato. Portanto, são importantes para aumentar as opções de manejo.

Os herbicidas recomendados para emprego pré-emergente na soja no Brasil possuem diferentes características (CORREIA, 2021). Cada um deles apresenta dosagens e condições do ambiente adequado para o eficiente controle das plantas daninhas, sem a intervenção do desenvolvimento das plântulas de soja. Tais especificações são conhecidas e determinadas após a realização, principalmente, de estudos fitotóxicos.

Pesquisas demonstram que a relação entre o aumento da dose de herbicidas pré-emergentes e dos níveis de fitotoxicidade está relacionada, principalmente às características físico-químicas dos solos e das moléculas, condições climáticas e suscetibilidade da cultivar (ARSENIJEVIC et al., 2022; TAKESHITA et al., 2019). Gubiani et al. (2021) avaliaram a seletividade à cultura da soja e a eficácia de controle de plantas daninhas da mistura formulada contendo os herbicidas pré-emergentes sulfentrazone + diuron e de apenas diclosulam. A mistura formulada de sulfentrazone + diuron mostrou-se seletiva a cultivar de soja BMX Ativa RR em solo argiloso em todas as doses aplicadas, sem sinais de fitotoxicidade ou alteração da estatura de plantas, bem como rendimento de grãos. O emprego de diclosulam foi satisfatório para controle de todas as plantas daninhas da área a partir da dose de 245 + 490 g i.a ha⁻¹.

Avaliando a seletividade e a eficácia de herbicidas pré-emergentes associados ou não ao glyphosate aplicado em pós-emergência da cultivar de soja DM 57i52, Galon et al. (2022) testaram 15 tratamentos consistindo no uso de três doses de cada mistura comercial dos herbicidas pré-emergentes, imazethapyr+flumioxazin e sulfentrazone+diuron, associadas ou não ao glyphosate aplicado em pós-emergência. Em paralelo foram conduzidas duas testemunhas, capinada e infestada. As misturas formuladas dos herbicidas imazethapyr+flumioxazin e sulfentrazone+diuron demonstraram ser seletivas à soja. A mistura de imazethapyr+flumioxazin apresentou maior eficácia no controle de papuã e da guanxuma. O uso de herbicidas pré-emergentes associados ao glyphosate aplicado em pós-emergência favoreceu o aumento da produtividade de grãos da soja.

A aplicação dos herbicidas amicarbazone (420 g ha⁻¹), isoxaflutole (50 g ha⁻¹), metsulfurom-methyl (3,6 g ha⁻¹), metribuzin (480 g ha⁻¹), 90 dias antes da semeadura da cultura da soja causou sintomas leves de intoxicação na cultura da soja (cultivar) nos estádios fenológicos iniciais, mas com total recuperação das plantas ao longo do desenvolvimento vegetativo. Também, não houve efeito sobre o rendimento de grãos e interação entre a textura do solo e atividade residual dos herbicidas testados (POLTRONIERI, 2021).

Estudando a combinação de grande parte dos herbicidas pré-emergentes recomendados para a cultura da soja (S-metolacoloro, flumioxazina + imazetapir, flumioxazina, imazetapir, trifluralina, diclosulam, diclosulam + imazetapir e clomazona + carfentrazone-etil), Sousa et al. (2021) analisaram a eficácia desses diferentes princípios ativos na supressão do banco de sementes de plantas daninhas e no crescimento/desenvolvimento da soja. Os maiores escores de fitotoxicidade foram encontrados aos 10 dias após a aplicação para S-metolacoloro, flumioxazina + imazetapir, trifluralina e diclosulam + imazetapir, sendo o controle pré-emergente com flumioxazina e diclosulam os que apresentaram menores estimativas de injúrias nas plantas de soja. Leite et al. (2000), também, não identificaram sintomas de fitotoxicidade às plantas de soja após a aplicação do herbicida diclosulam (35 g.ha⁻¹) em seis dias antes da semeadura da soja.

4 PERSISTÊNCIA NO SOLO, *CARRYOVER* E SELETIVIDADE DE HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES NO SISTEMA DE PRODUÇÃO

O sistema de produção empregado, atualmente, na maioria das lavouras brasileiras baseia-se em um cultivo de soja em primeira safra, seguido por um cultivo em sucessão com

outras culturas. Considerando que a competição com plantas daninhas no sistema interfere sobremaneira no desempenho da lavoura, o manejo integrado de daninhas é essencial para alcançar elevadas produtividades de grãos. Dentro deste cenário, o uso de herbicidas na soja com longo efeito residual no solo pode acarretar problemas aos cultivos subsequentes, por meio dos resíduos que venham a permanecer no solo.

A partir do momento em que o herbicida transpõe a palhada e atinge o solo, pode permanecer por longos períodos, desde meses até anos, dependendo das características físicas e químicas das moléculas e das condições edafoclimáticas que alteram os processos de degradação (biótica e abiótica), causando grande impacto ambiental. O uso de herbicidas com longo efeito residual no solo tem como vantagem proporcionar o controle de plantas daninhas por maior tempo, além de reduzir o número de aplicações e o custo de produção (GONÇALVES et al., 2018). Porém, essa persistência pode ser um entrave para o desenvolvimento de culturas sensíveis em sucessão, caso a molécula se apresente em concentrações suficientemente altas (AVILA et al., 2021).

A persistência de um herbicida no solo pode ser definida como a habilidade em manter a integridade de sua molécula e características físicas, químicas e biocidas no ambiente (MENDES et al., 2022). Esta persistência pode provocar o efeito conhecido como “carryover”, que acontece após a aplicação de herbicidas com atividade residual maior que o intervalo entre cultivos. A presença de resíduos em concentração suficiente para provocar injúrias pode proporcionar impactos negativos nas culturas empregadas na sucessão, sejam pelas próprias moléculas dos herbicidas aplicados ou seus metabólitos (CONCENÇO et al., 2022).

Alguns fatores influenciam o tempo de persistência da molécula de herbicida no ambiente, como as características físico-químicas do solo, interação do solo com o herbicida, associado às condições climáticas, fatores esses que, interferem sobremaneira na degradação microbiana dos herbicidas (DAMIN et al., 2022). Este período pode ser extremamente curto ou persistir por um longo período, sendo a umidade do solo um fator de extrema importância em todos os processos (MATTE et al., 2018). Na degradação, a estrutura destes compostos é transformada com a quebra das suas moléculas, de forma biótica ou abiótica, tornando-as, na maioria dos casos, menos tóxicas que as moléculas originais.

Carvalho et al. (2018) observaram que a persistência do herbicida imazethapyr, bastante empregado como pré-emergente na cultura da soja, está diretamente relacionada com a degradação microbiana. Concluíram que a persistência do produto no solo foi reduzida sempre

que ocorreu maior atividade microbiana, favorecida pela temperatura e disponibilidade de água no ambiente.

A degradação microbiana dos herbicidas pré-emergentes é extremamente dependente da umidade e temperatura do solo (SILVA et al., 2022). Fato comprovado em trabalho desenvolvido por Souza et al. (2020), os quais avaliaram a influência da disponibilidade de água no solo na degradação da mistura comercial dos herbicidas imazapyr + imazapic, bem como o efeito *carryover* deste herbicida no milho, semeado em sucessão à soja. Os autores verificaram que, a mistura comercial dos herbicidas imazapyr + imazapic tem potencial de *carryover* para o cultivo do milho em solos mantidos sob déficit hídrico, uma vez que as raízes das plantas estarão nas camadas superficiais do solo. Em condições de maior disponibilidade hídrica, a mobilidade do herbicida e a biodegradação aumentam, reduzindo o potencial de danos para a cultura do milho.

Na mesma direção, Rani et al. (2018) confirmaram a característica de maior persistência no solo de herbicidas do grupo das imidazolinonas, em estudo de laboratório realizado para avaliar a persistência da formulação de pré-mistura de dois herbicidas do grupo das imidazolinonas – imazethapyr e imazamox em solos argilosos e franco-arenosos. Os resultados revelaram a natureza persistente da formulação da pré-mistura de ambos os herbicidas, com apenas 64,2 a 86,6% de resíduos dissipados após 90 dias de aplicação em ambos os solos. O efeito residual do herbicida imazetapir, aplicado no cultivo de soja em pré-emergência ou dessecação, sobre a cultura do milho cultivada em sucessão em seus estádios iniciais, também, foi avaliado por Santos et al. (2018), em que os resultados demonstraram efeito residual e influência do herbicida na cultura do milho até os 105 DAA.

Devido à importância de verificar a persistência dessas moléculas de herbicidas pré-emergentes no solo e o efeito residual nas demais culturas empregadas no sistema de produção outros estudos foram executados. Ribeiro (2018) avaliou a atividade residual dos herbicidas chlorimuron-ethyl, diclosulam, flumioxazin, imazapir+imazapic e metribuzim nas culturas do milho e algodão, aplicados em pré-emergência na cultura da soja. Para as culturas de milho e algodão não foi verificado o efeito *carryover*, quando cultivadas 120 dias após a aplicação dos herbicidas. Por outro lado, a cultura da melancia, utilizada como bioindicadora, mostrou-se sensível aos resíduos dos herbicidas presentes no solo.

A atividade residual dos herbicidas sulfentrazone, diclosulam, imazaquin e flumioxazin no milheto, aplicados em pré-emergência da cultura da soja foi avaliada por Dan et al. (2011).

Dentre todos os produtos, o sulfentrazone apresentou maior atividade residual, influenciando negativamente o rendimento da cultura do milho durante o intervalo de tempo estudado.

Com o objetivo de avaliar o efeito de *carryover* dos herbicidas trifluralin e S-metolachlor nas culturas de soja RR, feijão e milho, Santos et al. (2012) aplicaram os herbicidas em pré-emergência, 120 dias antes da semeadura das culturas. Utilizaram-se as doses 0,00; 0,27; 0,54; 1,08; 2,16 e 4,32 de trifluralin e 0,00; 0,36; 0,72; 1,44; 2,88 e 5,76 kg.ha⁻¹ de S-metolachlor. Para o herbicida trifluralin, pode-se observar apenas redução do teor de clorofila (mg cm⁻²) e na quantidade de massa seca produzida pelas plantas de feijão (IAPAR 81) aos 28 dias após a semeadura (DAS), ao passo que em plantas de soja RR (CD 214) foi observada apenas a redução da massa da matéria seca. No caso do S-metolachlor, o herbicida provocou redução na altura e injúrias nas plantas de feijão aos 7 e 14 DAS, além da redução nos teores de massa da matéria seca. Em plantas de soja, o S-metolachlor alterou a quantidade de massa da matéria seca produzida e provocou fitointoxicação leve a moderada. Esses resultados mostram que, de acordo com a dose utilizada, tanto trifluralin como S-metolachlor podem provocar efeitos negativos nas culturas de soja RR (CD 214) e feijão (IAPAR 81), aplicados em pré-emergência 120 dias antes da semeadura das culturas. No entanto, esses herbicidas não interferiram no desenvolvimento das plantas de milho.

O potencial do “carryover” oscila em função do herbicida utilizado, da dose, da cultura em sucessão e das condições ambientais após a aplicação. Apesar de ser um problema cada vez mais comum na agricultura brasileira, informações consistentes sobre o “carryover” dos herbicidas aplicados em cultivos de sucessão são escassas. Como alternativa durante a definição de culturas sucessoras, recomenda-se respeitar o intervalo determinado na bula dos produtos ou optar por aquelas com menor ou sem sensibilidade aos herbicidas empregados na primeira safra. Contudo, torna-se uma difícil escolha devido ao fato de alguns herbicidas apresentarem efeitos tóxicos em várias culturas, como está demonstrado em pesquisa realizada por Carvalho et al. (2018), comprovando a necessidade de se adquirir informações sobre o “carryover” de herbicidas para as culturas em sucessão. Essas informações serão decisivas para os produtores no planejamento do ano agrícola.

5 CONCLUSÃO

O emprego de herbicidas residuais no controle de plantas daninhas na cultura da soja tem auxiliado sobremaneira, tanto no manejo da lavoura, como na manutenção de um sistema

de produção eficiente. Porém, mesmo com um número relevante de herbicidas pré-emergentes recomendados para a cultura da soja, o emprego dos mesmos deve ser realizado considerando questões com o intuito de manter a sustentabilidade do sistema de produção. Pois, se posicionados erroneamente podem gerar sintomas de fitotoxicidade nas plantas e efeito *carryover* na cultura em sucessão. Esses efeitos estão diretamente relacionados com inúmeros fatores ambientais e genéticos, como as características dos herbicidas, as propriedades físico-químicas do solo, condições de umidade e temperatura, bem como da variabilidade genética das cultivares utilizadas.

REFERÊNCIAS

- ADEGAS, F. Palestra online – plantas daninhas resistentes: situação atual e manejo. Embrapa – Radar da Tecnologia Soja. 2017. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=-HPHU1wHWfE> Acesso em: 02/07/2020.
- ALMEIDA, D. P.; ROSA, V. C. S.; FREITAS, B. Períodos de aplicação de imazapic e imazapyr antecedendo a semeadura de soja. **Anuário de pesquisas agricultura-resultados** 2020, p. 228, 2020.
- ALSHALLASH, K. S. Effect of pendimethalin, trifluralin and terbutryn on *Lolium multiflorum* growing with barley during pre-emergence stage. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 59, n. 2, p. 239-242, 2014.
- ARSENIJEVIC, N. et al. Influence of integrated agronomic and weed management practices on soybean canopy development and yield. **Weed Technology**, v. 36, n.1, p. 1-6, 2022.
- AWAN, T. H.; CRUZ, P. C. S.; CHAUHAN, B. S. Effect of pre-emergence herbicides and timing of soil saturation on the control of six major rice weeds and their phytotoxic effects on rice seedlings. **Crop Protection**, v. 83, p. 37-47, 2016.
- BECKIE, H. J.; ASHWORTH, M. B.; FLOWER, K. C. Herbicide Resistance Management: Recent Developments and Trends. **Plants**, v. 8, p. 2-13, 2019.
- BUNDT, A.D.C et al. Carryover of Imazethapyr + Imazapic on Ryegrass and Non-tolerant Rice as Affected by Thickness of Soil Profile. **Planta Daninha**, v.33, n.2, p.357-364, 2015.
- CABRERA, L. C. et al. Degradation of herbicide diuron in water employing the Fe₀/H₂O₂ system. **Journal of the Brazilian chemical society**, [s.l.], v. 21, n. 12, p.2347-2352, 2010.
- CAMPANHOLA, C. Comportamento Metribuzin e Trifluralina no solo e sua absorção por soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, n. 4, p. 565-571, 1982.
- CARVALHO, L. B. Herbicidas. Lages: Editado Pelo Autor. **Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA)**, 72 p. 2013.

CHAUHAN, B. S.; JOHNSON, D. E. Growth response of direct-seeded rice to oxadiazon and bispyribac-sodium in aerobic and saturated soils. **Weed Science**, v. 5, p. 119–122, 2011.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F. Dinâmica dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar. **São Paulo: BASF**, 49 p., 2005.

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

CONCENÇO, G. et al. Carryover de [imazapic+ imazapyr] sob diferentes sistemas de produção em terras baixas com arroz tolerante a ALS. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.17 n.3, p. e2127-e2127, 2022.

CORREIA, N. M. Herbicidas. Informe Agropecuário. **Proteção química da lavoura, Belo Horizonte**, v.42, n.315, p.48-58, 2021.

CORRIGAN, K. A.; HARVEY, R. G. Glyphosate with and without residual herbicides in no-till glyphosate-resistant soybean (*Glycine max*). **Weed Technology**, v. 14, n. 3, p. 569-577, 2000.

DAMIN, V.; CARRIJO, B. D. S.; COSTA, N. A. Residual activity of sulfentrazone and its impacts on microbial activity and biomass of Brazilian Savanna soils. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.51, 2022.

DAN, H. A. et al. Atividade residual de herbicidas pré- emergentes aplicados na cultura da soja sobre o milheto cultivado em sucessão. **Planta Daninha**, v.29, n.2, p.437-445, 2011.

DOVALA, A. C.; MONTEIRO, A. Controle químico de *Striga asiatica* por recurso a sementes revestidas de milhos resistentes ao imazapir. **Revista de Ciências Agrárias**, v.36, n.4, p.466- 474, 2013.

DUKE, S.O. et al. Clomazone causes accumulation of sesquiterpenoids in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Weed Science**, v.39, p.339–346, 1991.

DUQUE, T. S. et al. Uso de bioindicadoras vegetais para identificação de resíduos de herbicidas no solo. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. 1-32, set. 2020.

FERNANDES, R. Seletividade de herbicidas pré-emergentes na cultura da soja. **Instituto Federal Goiano**, 28p, 2022.

FERRELL, J. A et al. Sorption and desorption of flumioxazin to soil, clay minerals and ionexchange resin. **Pest Management Science**, v. 61, n. 1, p. 40-46. 2005.

FLECK, N. G. et al. Efeitos de fontes nitrogenadas e de luz na germinação de sementes de *Bidens pilosa* e *Sida rhombifolia*. **Revista ciência e agrotecnologia**, v.25, n.3, p. 592-600, 2001.

GALON, L. et al. Allelopathic potential of winter and summer cover crops on the germination and seedling growth of *Solanum americanum*. **International Journal of Pest Management**, v.67, n.1, p.1-9, 2021.

GALON, L. et al. Seletividade e eficácia de herbicidas aplicados em soja para o controle de plantas daninhas. **Agrarian**, v.15 n.55, p.e15715-e15715, 2022.

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

GUBIANI, J. E. et al. Selectivity and weed control from the formulated mixture of sulfentrazone+ diuron in soybean. **Brazilian Journal of Development**, v.7 n.6, p.63320-63333, 2021.

HEAP, I.; DUKE, S. O. Overview of glyphosate-resistant weeds worldwide. **Pest management science**, v. 74 n.5, p.1040-1049, 2018.

IUPAC – International Union of Pure and Applied Chemistry. Global Availability of Information on Agrochemicals. **THE PPDB Pesticide Properties Database**. 2017

JOHNSON, W. G. et al. US farmer awareness of glyphosate-resistant weeds and resistance management strategies. **Weed Technology**, v.23, n.2, p.308-312, 2009.

KNEZEVIC, S. Z. et al. Critical time for weed removal in glyphosate-resistant soybean as influenced by preemergence herbicides. **Weed Technology**, v.33 n.3, p.393-399, 2019.

KOGAN, A.M.; PEREZ, J.A. Herbicidas: Fundamentos Fisiológicos y bioquímicos del modo de acción. **Ediciones Universidad Católica de Chile**, 333p, 2003.

KRIEGER. R. I.; KRIEGER. W. C. Handbook of Pesticide Toxicology. **Academic Press**, v.2, 459p. 2007

KUVA, M.A. et al. Experimentos de eficiência e praticabilidade agrônômica com herbicidas. **Experimentação com herbicidas**, p. 75-97, 2016.

LEGLEITER, T. R. et al. Glyphosate-resistant waterhemp (*Amaranthus rudis*) control and economic returns with herbicide programs in soybean. **Weed Technology**, v. 23, n. 1, p. 54-61, 2009.

LEITE, C. R. F.; ALMEIDA, J. C. V.; PRETE, C. E. C. Sensibilidade de cultivares de soja (*Glycine max*) aos herbicidas diclosulam e flumetsulam. **Planta Daninha**, v. 18, n. 1, 2000.

LIM, D. S. et al. Synthesis and herbicidal activity of a pentafluorosulfanyl analog of trifluralin. **Journal of pesticide science**, v. 32, n. 3, p. 255-259, 2007.

MA, Y. et al. Enantioselective degradation of rac-metolachlor and S-metolachlor in soil. **Pedosphere**, v. 16, n. 4, p. 489-494, 2006.

MANCUSO, M.A.C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. Efeito residual de herbicidas no solo (“Carryover”). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.10, n.2, p.151-164, 2011.

MARTINS, D. Seletividade do herbicida diclosulam, aplicado em pré e pós-emergência em diversas cultivares de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 4, n. 2, p. , 2005.

MENDES, K. F.; IONOUE, M. H.; TORNISIELO, V. L. Herbicidas no ambiente: Comportamento e destino. **Editora UFV**, 2022.

MONQUERO, P. A.; SILVA, P. V. Comportamento de herbicidas no ambiente. **Matologia: Estudos sobre Plantas Daninhas**, p. 253-294, 2021.

OLIVEIRA JR, R.S. Conceitos importantes no estudo do comportamento de herbicidas no solo. **Boletim Informativo – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.2, p.9-12, 2002.

OSTERHOLT, M. J. et al. Overlay of residual herbicides in rice for improved weed management. **Weed Technology**, v. 33, p. 426-430, 2019.

POLLES, T. Uso de pré-emergentes na cultura da soja. **Informativo técnico**, Edição 24. 2020

POLTRONIERI, F. **Residual de herbicidas aplicados no manejo outonal de Conyza spp. sobre a cultura da soja e do milho**. 2021. 66p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)- Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2021.

PPDB: Pesticide Properties Database, **Hertfordshire**, 2021.

PRATES, A. A. **Seletividade de herbicidas de pré-emergência para cultivares de soja**. 2021. 38p. Trabalho Conclusão do Curso (Graduação em Agronomia)- Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba, 2021.

RANI, D. et al. Behavior of pre-mix formulation of imazethapyr and imazamox herbicides in two different soils. **Environmental monitoring and assessment**, v. 191, p. 1-8, 2019.

REZENDE-TEIXEIRA, P. et al. What can we learn from commercial insecticides? Efficacy, toxicity, environmental impacts, and future developments. **Environmental Pollution**, p. 118983, 2022.

RIBEIRO, S. R. D. S. **Efeito residual de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura da soja sobre o milho e o algodão cultivados em sucessão**. 2018. 99p. Dissertação (Engenharia Agrícola e Ambiental)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2018.

RIBEIRO, S. R. S. et al. Watermelon sensitivity to residual of pre-emergent herbicide applied in soybean crop. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 18, n.2. 2019.

RIZZARDI, M. A.; ROCKENBACH, A. P.; SCHNEIDER, T. Residual herbicides increase the period prior to interference in soybean cultivars. **Planta Daninha**, v. 38, 2020.

ROCHA, P. R. R. et al. Meia-Vida do diuron em solos com diferentes atributos físicos e químicos. **Ciência Rural**, v. 43, n. 11, p.1961-1966, nov. 2013.

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

RODRIGUES, B. N.; LIMA, J. DE; YADA, I. F. U. Retenção pela palhada, de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura da soja, em plantio direto. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 1, n. 1, p. 67-72, 2000.

ROSA, et al. De pesquisas realizadas pelo núcleo, Divulgação; TREZZI, M.M. **Informe Técnico NIPED**, v. 3, n. 3, p. 1-10, abril 2021. 2021.

SANTIN, C. O. et al. Weed management in soybean using burndown herbicide associated to pre-emergent herbicides. **Communications in Plant Sciences**, v.9 n.1, p.46-52, 2019.

SANTOS, Claiton Gomes et al. Residual do herbicida imazetapir na cultura do milho. In: **Colloquium Agrariae. ISSN: 1809-8215.** 2018. p. 154-159.

SANTOS, G. et al. Carry-over effect of S-metolachlor and trifluralin on bean, corn and soybean crops. **Planta Daninha**, v. 30, p. 827-834, 2012.

CARVALHO S. J. P. DE et al. Persistência de imazethapyr no solo e toxicidade ao milho semeado em sucessão. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.17, n.2, p.e583, 2018

SILVA, F. **Soja: do plantio à colheita.** Oficina de Textos. 2022.

SILVA, F. H. K. P. DA; ANTUNES, L. F. DE S.;VAZ, A. F. DE F. Agrotóxicos no Brasil: uma compreensão do cenário atual de utilização e das propriedades do solo que atuam na dinâmica e retenção destas moléculas. **Research, Society and Development**, v.11 n.9, 2022

SILVA, M. DE S. DA et al. Weed control and selectivity of different pre-emergence active ingredients in a soybean crop. **Agronomía Colombiana**, v. 39 n.3, p. 392-404, 2021.

SILVA, M. S. et al. Performance of pre-emergence herbicides in weed competition and soybean agronomic components. **Australian Journal of Crop Science**, v.15, n.4, p. 610-617, 2021.

SILVA, M.S. et al. Efeito da associação do herbicida clomazone a nanoesferas de alginato/quitosana na sorção em solos. **Química. Nova**, v.35, n.1, p.102-107, 2012.

SONG, J. et al. The effects of single-and multiple-weed interference on soybean yield in the fareastern region of Russia. **Weed Science**, v.65, n.3, p. 371-380, 2017.

SOUSA, P. A. DE. **Residual de herbicidas aplicados na cultura de soja sobre cultivos subsequentes.** 2022. 76p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2022

SOUZA, A. D. S. et al. Leaching and carryover for safrinha corn of the herbicides imazapyr+ imazapic in soil under different water conditions. **Revista Caatinga**, v. 33, p. 287-298, 2020.

SOUZA, M. F. et al. Persistence of imidazolinones in soils under a Clearfield System of rice cultivation. **Planta Daninha**, v.34, n.3, p.589-596, 2016.

- SU, W.C. et al. Effect of imazapic residues on photosynthetic traits and chlorophyll fluorescence of maize seedlings. **Photosynthetica**, v. 55, n. 2, p. 294-300, 2017.
- VENCILL, W. K. (Ed.). Herbicide Handbook. 8 ed. Lawrence, KS: **Weed Science Society of America**, 2002.
- VIDAL, R. A.; FLECK, N. G. Inibidores de crescimento da parte aérea. **Herbicidologia. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 2001.
- VIVIAN, R. et al. Persistência de sulfentrazone em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 24, n. 4, p. 741–750, 2006.
- XIE, J., ZHAO, L., LIU, K., GUO, F., GAO, L., & LIU, W. Activity, toxicity, molecular docking, and environmental effects of three imidazolinone herbicides enantiomers. **Science of the Total Environment**, v. 622, p. 594-602, 2018.
- YAMAJI, Y. et al. Weed control efficacy of a novel herbicide, pyroxasulfone. **Journal of Pesticide Science**, v.39, n.3, p.165-169, 2014.
- YOUNG, B. G.Changes in herbicide use patterns and production practices resulting from glyphosate-resistant crops. **Weed Technology**, v. 20, n.2, p.301-307, 2006.
- ZHU, J. et al. Weed research status, challenges, and opportunities in China. **Crop Protection**, v. 134, p. 104449, 2020.

CAPÍTULO 3 PRE-EMERGENT HERBICIDES ON THE INITIAL AGRONOMIC DEVELOPMENT OF SOYBEAN LINES

ABSTRACT

Pre-emergent herbicides are phytosanitary products for weed control, which are characteristically applied before their emergence. This technique allows the use of different molecules for weed control and reduces the risk of selection pressure to resistance. However, for the proper recommendation of these products, there is a need for a detailed study of the selectivity of the crop, aiming to associate the efficient control of weeds in the initial phase of the crop, without the occurrence of phytotoxicity in the crop. Thus, the objective was to study the behavior of pre-emergent herbicide molecules in the initial agronomic development of soybean lines, aiming at the precise recommendation of the pesticide, without compromising the crop. For this, five soybean genotypes (R08-4004; R13-14635RR; R14-10150; R16-45 and UA KIRKSEY) treated with five pre-emergent herbicides (Classic©, Fierce©, Fierce XLT©, Valor EZ© and Zidua©) were evaluated, plus the control (without application), in two rates (recommended and double rate), with three replications. Twelve agronomic traits were evaluated: Germ7, Germ14, Germ21, SPAD, High, Node, FW, DW, RFW, RDW, Visual Rating and Canopy. After analyzing and interpreting the data, it can be concluded that, as expected, for most of the evaluated traits, when the recommended rate of the pre-emergent herbicide was applied to the lines, they reacted negatively to the phenotypic performance, generating higher estimates of phytotoxicity, a relevant fact for producers to pay attention to the use of the rate, always recommended by the product, regardless of the greater intensity of the weed seed bank in the cultivation area. The herbicide ValorEZ© had a lower phytotoxicity effect, affecting less the development and initial growth of soybean seedlings, associated with the fact that, according to the literature, the product has an effective active principle in controlling weeds that affect the crop. A contrary result was observed for the herbicides Classic© and Zidua©, whose estimates showed a high residual content in the plants, inhibiting an adequate agronomic development, when applied in pre-emergent. The R08-4004 and UA KIRKSEY lines showed less damage to the characteristics evaluated in relation to the other varieties, results that allow us to infer that, probably, these genotypes have the greatest capacity to metabolize all the active molecule absorbed by the plant.

Keywords: *Glycine max*. Phytotoxicity. agronomic performance.

1 INTRODUCTION

The soybean stands out as the crop with the largest share in the pesticide market in Brazil, followed by corn, citrus, sugar cane, and cotton, with the largest percentage going to weed control, with the use of herbicides (RAMALHO et al., 2021).

The use of herbicides reduces weed interference, especially at the beginning of the crop cycle, the time when the most damage to crops occurs. It is estimated that the losses in productivity caused to crops by weed interference are around 20 to 30 percent worldwide. In Brazil, this represents, in the soybean crop alone, about 36 million tons of soybeans, or an average loss of 17 bags/hectare (KONSEN, 2021). Besides the reduction in productivity, quality is depreciated by contamination by seeds or weed parts (POLLES, 2020).

Weed control consists of adopting agricultural practices that result in the reduction of infestation in the crop, and the use of glyphosate-based herbicides has been the most widely employed tool in recent decades. However, with the frequent use of this molecule, some resistant species have been selected, such as crabgrass, horseweed, and perennial ryegrass (SILVA et al., 2021). In this context, it becomes evident that some strategies should be adopted for the correct integrated weed management, aiming to reduce the risks and emergence of biotypes resistant to the different mechanisms of action of herbicides. One of the tools, for an integrated control, in order to decrease the problems of initial weed competition with the soybean crop, is the use of residual herbicides, in other words, the pre-emergent. In addition, the use of pre-emergent herbicides is considered a crucial component for glyphosate-resistant weed management (NORSWORTHY et al., 2016).

Pre-emergent herbicides mostly have a prolonged residual in the soil, being an alternative to reduce weed infestation throughout the cycle of the crop of interest (PATEL, et al., 2018). They can be used pre- or post-seeding, but before the emergence of the crop or weeds. Usually, their effectiveness is highly dependent on soil moisture, precipitation, temperature, soil type, among other several factors.

The benefits of incorporating pre-emergent herbicides include reduced competition at the beginning of the season and delayed critical time to weed control, thereby optimizing control strategies and minimizing potential crop yield loss. Furthermore, pre-emergent herbicides can delay the first application of powders by 2 to 5 weeks, reducing the need for repeated applications (KNEZEVIC et al., 2019). Oliveira et al. (2017) reported the effective use of pre-emergent herbicides for the control of several annual broadleaf species and grasses in Nebraska State, United States. In addition, the use of these herbicides is considered a foundation

for managing problematic weeds such as kochia (*Bassia scoparia* (L.) A.J. Scott) and *Amaranthus* spp. (KUMAR; JHA, 2015).

However, for herbicide application to be safe, efficient and economical, proper techniques are required in the choice and use of herbicides. Prior recognition of the weed communities predominant in the areas is a basic condition for the appropriate choice of product. Herbicides have their efficiency increased when applied under conditions that are favorable to them, so it is essential to know the specifications of each product, as well as precision in the regulation of the sprayer and observation of the climatic conditions prior to the application (GAZZIERO et al., 2020).

Basically, all herbicides should be applied at a particular time to maximize their effects. Therefore, knowing the products as well as the selectivity for the crop is essential for the proper and rational use of chemical control. So, the objective was to evaluate the effect of different pre-emergent herbicides on the initial agronomic development of soybean lines.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 Local

The experiments were conducted in a greenhouse, with controlled temperature at 24 degrees Celsius, located in the Altheimer Laboratory, at the Milo J. Shult Agricultural Research & Extension Center, of the University of Arkansas in Fayetteville - Arkansas, with an altitude of 400 meters; geographic coordinates 36° 5'55.56 "N and 94°10'44.13 "W. Two identical experiments were installed in two seasons, the first sown on 02/18/2020 and the second on 04/17/2020.

2.2 Germplasms

Five soybean lines belonging to the Soybean Genetic Improvement Program of the University of Arkansas - Division of Agriculture were used in conducting the experiments, being: Cultivar 1 - R08-4004; Cultivar 2 - R13-14635RR; Cultivar 3 - R14-10150; Cultivar 4 - R16-45 and Cultivar 5 - UA KIRKSEY. All genotypes have determined growth habit and relative maturity group 5.

2.3 Conducting the experiments

The soybean cultivars were evaluated in relation to their reaction to the application of pre-emergent herbicides. Five herbicides with pre-emergent action were used, as follows:

- a) Classic©: herbicide composed by chlorimuron with 25% concentration;
- b) Fierce©: herbicide composed by flumioxazin with 33.5% concentration + pyroxasulfone with 42.50% concentration;
- c) Fierce XLT©: herbicide composed by chlorimuron with 6.67% concentration + flumioxazin with 24.57% concentration + pyroxasulfone with 31.17% concentration;
- d) Valor EZ©: composed of flumioxazin with a concentration of 41.40%;
- e) Zidua©: composed of pyroxasulfone with a concentration of 85%.

The herbicides were applied at two rates: the recommended rate of each molecule for the soybean crop and double that, as indicated in EPPO, P. P. 1/135 (4) Phytotoxicity assessment, Efficacy evaluation of plant protection products. OEPP/EPPO Bulletin, v. 44, n. 3, p. 265-273, 2014 (TABLE 1).

Table 1 - Commercial names and applied rates of pre-emergent herbicides used during the experiments.

Herbicide	Standard Rate (kg.ha ⁻¹)	Double Rate (kg.ha ⁻¹)	Quantity per bottle
Fierce©	0.315	0.630	3.37 g
Fierce	0.367	0.735	3.93 g
XLT©			
Classic©	0.210	0.420	2.3 ml
Valor EZ©	0.147	0.294	1.57 g
Zidua©	0.210	0.420	2.25 g
Controle©	-	-	-

Fonte: Do autor (2022).

The experiments were conducted in plastic trays measuring 30x60 cm, divided into 5 rows, each row consisting of 10 plants of each cultivar. The plot consisted of each row. The design used was randomized blocks with three repetitions, totaling 180 plots per experiment (five cultivars treated with six herbicides in two rates with three repetitions). The trays were filled with leaf silt loam soil (Fine, mixed, active, thermic, Typic, Albaquults) with 34% sand, 53% silt, 13% clay, and 1.5% organic matter with a pH of 6.2 heat-sterilized, unfertilized, which was collected at the University of Arkansas research station.

The irrigation of the experiment was done indirectly, where the water was deposited in another tray located below the compartment containing the soil and the plants, distributed on benches. Each bench accommodated trays treated with the same herbicide to avoid cross contamination by volatilization.

Herbicide applications were made after irrigation and soybean sowing, in an automatic spray chamber at an application rate of 224 liters per hectare, using a 110067 fan spray tip, applied at 35 psi pressure, with a spray tip height above ground of 61.3 centimeters. The recommended rates were sprayed once over the soil and the double rates were sprayed twice. at each herbicide change the system was decontaminated. The control trays were sprayed with water only.

2.4 Evaluated traits

During the conduct of the experiments, the following agronomic characteristics were evaluated in each plot:

- a) Number of germinated plants at 7 days after sowing (Germ7);
- b) Number of germinated plants at 14 days after sowing (Germ14);
- c) Number of germinated plants at 21 days after sowing (Germ21);
- d) SPAD index (Soil Plant Analysis Development): the SPAD-502 portable chlorophyll meter (Minolta Camera Co. Ltda) was used on the right leaf of the first trefoil at 21 days after application;
- e) Plant height (High): measured in centimeters from the neck of the plant to the last node, at 21 days after application;
- f) Number of plant nodes (Node)
- g) Fresh mass of the aerial part of the plants (FW), the plant was cut close to the ground at 21 days after application, weighed in precision balance (grams);
- h) Dry mass of the aerial part of the plants (FDW): after measuring the FW, the plants were dried in an oven at 65°C until reaching constant mass (grams), when they were weighed;
- i) Fresh mass of the plants root system (RFW): weighed on precision scales 21 days after application (grams);
- j) Dry mass of the plants root system (RFW): after measuring the RFW, the plants were dried in an oven at 65°C until reaching constant mass (grams), when they were weighed.
- k) Phytotoxicity percentage (Visual rating): visual evaluations of the toxicity symptoms caused by the herbicides on soy plants, adopting a percentage scale from 0 (zero) to 100%, where zero represents absence of symptoms and 100% death of all plants at 21 days after application, according to the toxicity scale EWRC (1964);
- l) Percentage of green mass of the plants (Canopy): obtained by image analysis of the aerial part of the plant, using the Canopeo software at 21 days after application.

2.5 Data Analysis

After data collection, the ANOVA assumptions tests were performed, referring to the normality, independence, and homogeneity of variances of the residual. If these assumptions were met, the joint analysis was performed using the R program (R CORE TEAM, 2020), involving the two seasons of the experiments for evaluation of the characteristics, according to the following statistical model:

$$Y_{ijklm} = \mu + g_i + b_{j(l)} + a_l + h_k + d_m + (ga)_{il} + (gh)_{ik} + (ha)_{kl} + (hd)_{km} + (gd)_{im} + (ad)_{lm} + (gha)_{ikl} + (had)_{klm} + (gad)_{ilm} + (ghd)_{ikm} + (ghad)_{iklm} + e_{ijklm}$$

Where:

Y_{ijklm} : observation referring to genotype i , in block j , at location l ;

μ : constant associated with the observations (overall average);

g_i : effect of the genotype factor i ($i = 1, 2, \dots, 5$);

$b_{j(k)}$: it's the effect of block j , within season l ;

a_l : effect of season l ($l = 1, 2$);

h_k : effect of herbicide k ($k = 1, 2, \dots, 6$);

d_m : effect of rate m ($m = 1, 2$);

$(ga)_{il}$: effect of the interaction between the factor genotypes i and l seasons;

$(gh)_{ik}$: effect of the interaction between the factor genotypes i and herbicides k ;

$(ah)_{lk}$: effect of the interaction between the factor seasons l and the factor herbicides k ;

$(hd)_{km}$: effect of the interaction between the herbicides factor k and the rate factor m ;

$(gd)_{im}$: effect of the interaction between the factor genotypes i and the factor rate m ;

$(ad)_{lm}$: effect of the interaction between the l seasons factor and the m rate factor;

$(gha)_{ikl}$: effect of the interaction between the factors genotypes i , seasons l and herbicides k ;

$(had)_{klm}$: effect of the interaction between the factors herbicides k , seasons l , and rate m ;

$(gad)_{ilm}$: effect of the interaction between the factors genotypes i , seasons l and rate m ;

$(ghd)_{ikm}$: effect of the interaction between the factors genotypes i , herbicides k and rate m ;

$(ghal)_{iklm}$: effect of the interaction between the factors genotypes i , herbicides k , the seasons l and the rate m ;

e_{ijklm} : It is the effect of the experimental error associated with the observation, where $e_{ijklm} \sim N(0, \sigma^2)$

For each trait evaluated, the experimental coefficient of variation (CV) was estimated, according to the following estimator $CV (\%) = \sqrt{QME/(\bar{x})} \times 100$.

Correlation analyses among the evaluated traits were performed by the Row-wise method using the statistical program JMP software (JONES; SALL, 2011).

3 RESULTS

The study of correlations between the characteristics analyzed in an experiment is of utmost importance for the precise and direct direction of the selection, besides aiding in the correct choice of characters to be evaluated, providing a reduction in evaluations through the

**Number of germinated plants at 7 days after sowing (Germ7); Number of germinated plants at 14 days after sowing (Germ14); Number of germinated plants at 21 days after sowing (Germ21); SPAD index (Soil Plant Analysis Development); Plant height (High); Number of plant nodes (Node); Fresh mass of the aboveground plants (FW); Dry mass of the aboveground plants (DW); Fresh mass of the plants root system (RFW); Dry mass of the plants root system (RDW); Percentage of phytotoxicity (Visual rating); Percentage of green plant mass (Canopy). Fonte: Do autor (2022).

The Table 3 shows the summary of the analysis of variance, involving the initial agronomic behavior of soybean lines submitted to different pre-emergent herbicides. From the experimental point of view, it is known that the coefficient of variation (CV%) is the most used precision measure in the literature. Pimentel-Gomes (2009) points out that CV% less than or equal to 10% are considered low, indicating great experimental quality. In the other hand, an experiment with CV% between 10% and 20% is considered average or of good quality, between 20% and 30% is considered regular, while CV% above 30% is considered bad or of poor quality. In the present study, the CV was less than 20% for most traits, indicating good experimental precision. The estimates for the characters SPAD, height and % plant phytotoxicity were higher than 20%. This fact can be justified because these traits are influenced by the manifestation of the environment in the expression of the phenotype but remained within the limits for these traits in the literature (MORAIS JÚNIOR et al., 2018).

Table 3. Summary of the analysis of variance of the characteristics number of germinated plants at 7 days after sowing (Germ7); SPAD index (Soil Plant Analysis Development); Plant height (High); Number of plant nodes (Node); Fresh mass of the aerial part of the plants (FW); Fresh mass of the plant root system (RFW); Percentage of phytotoxicity (Visual rating); Percentage of plant green mass (Canopy), evaluated in five soybean lines, different pre-emergent herbicides in two rate and seasons.

FV	GL	Traits							
		Germ7	SPAD	Node	High	FW	RFW	Visual	Canopy
Herb (H)	5	0.000*	0.001*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*
Rate (D)	1	0.017*	0.150	0.086	0.044*	0.214	0.816	0.000*	0.206
Season (E)	1	0.000*	0.389	0.001*	0.000*	0.000*	0.000*	0.001*	0.104
Genot (G)	4	0.004*	0.212	0.001*	0.007*	0.000*	0.000*	0.172	0.000*
HxD	5	0.312	0.158	0.044*	.025**	0.014*	0.027*	0.000*	0.013*
HxE	5	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.004*	0.000*	0.000*
HxG	20	0.994	0.786	0.422	0.958	0.780	0.055*	0.918	0.433
DxE	1	0.525	0.006*	0.068*	0.042*	0.177	0.017*	0.512	0.007*
DxG	4	0.967	0.865	0.941	0.694	0.967	0.986	0.932	0.919
ExG	4	0.876	0.677	0.599	0.900	0.452	0.676	0.513	0.908
HxDxE	5	0.057*	0.010*	0.000*	0.008*	0.015*	0.014*	0.932	0.008*
HxDxG	20	0.996	0.976	0.728	0.977	0.737	0.963	0.706	0.742
HxExG	20	0.999	0.903	0.695	0.996	0.857	0.994	0.223	0.978
DxExG	4	0.871	0.935	0.772	0.997	0.644	0.981	0.999	0.391
HxDxExG	20	0.999	0.971	0.918	0.992	0.945	0.995	0.998	0.915
CV%		17.07	39.72	20.38	35.14	19.00	19.12	37.15	20.02
Average		0.89	4.38	1.68	3.75	1.23	0.98	6.44	1.36

Fonte: Do autor (2022).

The presence of significant differences was verified for the source of variation herbicide, considering all the evaluated characteristics (TABLE 3). This indicates, in principle, the differentiated action of the molecules on the average behavior of the genotypes, however, the detailed interpretation of the effect of herbicides will be discussed in the triple interaction, due to the presence of significancy. For the effect of rates, the presence of variability was detected only for number of germinated plants at 7 days, height, and percentage of phytotoxicity of

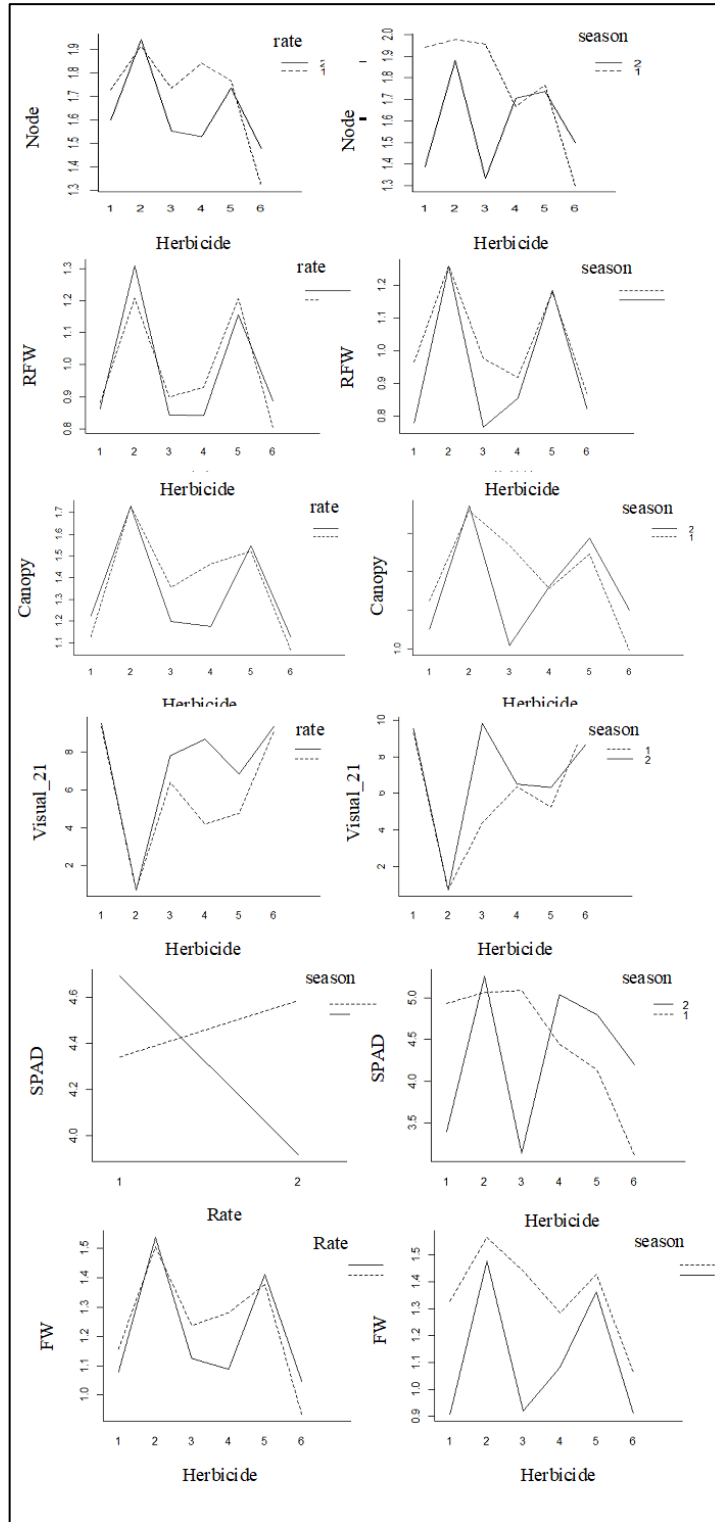
plants. These results indicate that these characteristics can be more affected by increasing the rate applied to the soil by the pre-emergent herbicide.

Considering the variation sources, seasons, and genotypes, most of the analyzed characters showed significant F value in the joint analysis of variance. Expected performance since there was interference from environmental conditions in the different seasons of installation and the evaluated genotypes come from different "backgrounds". However, considering the double interactions between the variation sources, the interactions herbicides x seasons, herbicides x rates and rates x seasons, statistical differences were observed for most of the characteristics, a fact that did not exist for the other interactions belonging to the model.

For the variation sources constituted by the triple interactions, only herbicides x rates x seasons, significance was detected for all the evaluated characters, except for the percentage of phytotoxicity of the plants. The fact that the results presented in the analysis of variance did not detect significance for most of the interactions is relevant and important in the positioning of pre-emergent herbicides in soybean cultivation. Thus, it can be inferred, at first sight, the existence of small variations in the development of soy plants, submitted to different rates, herbicides, and seasons that in other words, the behavior of the soybean lines was coincident in the different rates, herbicides used and periods of the experiments.

According to Figure 1, it is possible to observe a similar behavior in relation to the performance of the genotypes against the herbicides and referred rates and seasons, for most of the characteristics studied in the experiments. Herbicides 1 (Classic©) and 6 (Zidua©) were those that provided the lowest average estimates in relation to the characters, and it can be stated, in principle, that such pre-emergent weed control molecules, for soybeans, generated a lower growth and development of the plants, emphasizing a possible phytotoxicity.

Figure 1 - Graphs referring to the average behavior of the genotypes against the different herbicides (1: Classic©; 2: Controle; 3: Fierce©; 4: Fierce XLT© 5: Valor EZ© 6: Zidua©, seasons and rates, considering the characteristics: SPAD Index (Soil Plant Analysis Development); Number of plant nodes (Node); Fresh mass of the plant above ground (FW); Fresh mass of the plant root system (RFW); Percentage of phytotoxicity (Visual rating); Percentage of plant green mass (Canopy).



Fonte: Do autor (2022).

For the triple interaction, herbicides x rates x seasons, all the evaluated characteristics detected the presence of significance, by the F test of variance analysis, except for the character % of phytotoxicity of plants (TABLE 4). This fact, at first, may make it difficult to recommend a particular herbicide, rate, and season. However, the estimates obtained by the average performance of the genotypes submitted to different herbicides and rates in season 2 were lower than in season 1, due to the high temperature conditions that occurred in the second season, which was unfavorable to plant development, and not only associated with the applications of different herbicides and rates.

Considering the character number of germinated plants and number of nodes of the evaluated lines at 7 days after herbicide application, the genotypes UA KIRKSEY, R16-45, R08-4004 and R14-10150 did not differ from each other by the Scott-Knoot grouping test (TABLE 5). However, opposite behavior was observed for R13-14635RR, with lower estimated average. Considering the characteristics related to the development of soybean seedlings, such as green mass of the aerial part and root system and % green mass, the genotypes R08-4004 and UA KIRKSEY, stood out with the highest averages and, again, the cultivar R13-14635RR presented the worst phenotypic performance. Plant height was also reduced in the genotypes R13-14635RRR and R14-10150, with the application of pre-emergent herbicides.

Table 4 - Unfolding of the source of variation of the triple interaction herbicides x seasons x rates.

		HERBICIDES					
TRAITS	SEASONS	Classic©		Controle		Fierce©	
		1 ^{3/}	2	1	2	1	2
Germ7 ^{2/}	1	0.9b ^{1/}	0.8A ^{1/}	1.1d	1.0B	1.1d	1.0B
	2	0.7a	0.7A	0.9b	0.9B	0.7a	0.7A
SPAD	1	27.5b	24.3A	25.6b	24.7A	25.0b	25.6A
	2	19.2a	15.5A	26.4a	27.8B	20.4a	10.0A
NODE	1	4.0b	3.0B	3.3b	3.5B	3.4b	3.3B
	2	1.6a	1.8A	3.0b	3.0B	1.9a	1.1A
HIGH	1	17.4b	15.6A	31.0c	28.7B	28.3c	26.0B
	2	8.1a	7.1A	17.6b	16.0B	8.4a	3.6A
FW	1	1.3b	1.2A	1.5b	1.5B	1.4b	1.3B
	2	0.9a	0.8B	1.4b	1.4A	0.9a	0.8B
RFW	1	0.9b	0.9A	1.1c	1.3B	1.0b	0.9A
	2	0.8a	0.7A	1.2b	1.2C	0.7a	0.7A
CANOPY	1	0.8b	1.4A	2.5c	2.4B	2.0c	1.8B
	2	0.8a	0.8A	2.6c	2.5B	0.9a	0.3A
		Fierce XLT©		Valor EZ©		Zidua©	
TRAITS	SEASONS	1	2	1	2	1	2
Germ7 ^{2/}	1	1.0d	0.9B	0.9c	0.9B	0.7a	0.8A
	2	0.8b	0.8B	0.9b	0.8B	0.7a	0.7A
SPAD	1	24.3b	18.5A	16.4a	21.5A	8.8a	21.5A
	2	29.2a	24.7B	23.4a	24.1B	26.8a	16.4A
NODE	1	3.1b	1.9A	2.8b	2.9B	0.6a	2.4A
	2	2.7b	2.2B	2.9b	2.4B	2.3a	1.5A
HIGH	1	29.1c	17.4A	22.3b	23.9B	3.8a	14.8A
	2	12.6b	9.9A	14.8b	13.8B	12.8b	7.0A
FW	1	1.4b	1.1A	1.3b	1.4B	0.8a	1.2A
	2	1.1a	1.0B	1.3b	1.3A	0.9a	0.8B
RFW	1	0.9b	0.8A	1.1c	1.2B	0.7a	0.9A
	2	0.8a	0.8A	1.2b	1.0B	0.8a	0.7A
CANOPY	1	1.8c	0.9A	1.7c	2.1B	0.1a	1.1A
	2	1.5b	1.1A	2.3c	2.0B	1.3b	0.7A

1/Same capital letters in the row do not differ using the Scott-Knott grouping test. Same minuscule letters in the row do not differ using the Scott-Knott grouping test. 2/ Number of germinated plants at 7 days after sowing (Germ7); SPAD index (Soil Plant Analysis Development); Plant height (High); Number of plant nodes (Node); Fresh mass of the aerial part of the plants (FW); Fresh mass of the plant root system (RFW); Percentage of green plant mass (Canopy). 3/ 1-Recommended Rates; 2-Twice the recommended rate of the herbicide. Fonte: Do autor (2022).

Table 5 - Average estimates obtained by the performance of cultivars with the application of different herbicides, in the average of two seasons and dosages, considering the evaluated characteristics.

Characters	Genotypes				
	R16-45	R14-10150	UA KIRKSEY	R08-4004	R13-14635RR
Germ7	0.37 A*	0.34 A	0.41 A	0.35 A	0.22 B
SPAD	22.32 A	23.81 A	22.85 A	21.86 A	19.36 A
High (cm)	17.36 A	15.08 B	16.42 A	19.06 A	13.37 B
Node	2.71 A	2.42 A	2.88 A	2.84 A	1.89 B
FW (g)	0.98 B	0.95 B	1.44 A	1.47 A	0.84 B
RFW (g)	0.38 B	0.39 B	0.72 A	0.74 A	0.48 B
Visual rating 21 days	53.18 A	57.44 A	54.31 A	53.39 A	63.67 A
Canopy	1.34 B	1.18 B	1.94 A	2.02 A	1.08B

*Same capital letter in the row does not differ by the Scott- Knott grouping test. Number of germinated plants at 7 days after sowing (Germ7); SPAD index (Soil Plant Analysis Development); Plant height (High); Number of plant nodes (Node); Fresh mass of the plant above ground (FW); Fresh mass of the plant root system (RFW); Percent of plant green mass (Canopy). Fonte: Do autor (2022).

4 DISCUSSION

The behavior of different soybean lineages when subjected to rates of different pre-emergent herbicide molecules is fundamental for the guidance of weed management, both from the point of view of crop productivity, economics and especially from the environmental point of view.

The existence of variability for the agronomic characteristics was evidenced when the source of variation genotypes was considered. The lines R08-4004 and UA KIRKSEY (TABLE 5), showed less damage in the characteristics evaluated in relation to the others, results that allow us to infer that, probably, these genotypes have the greatest ability to metabolize all the molecule of the active absorbed by the plant.

Several studies have shown that the compromising of the agronomic behavior of soy plants when applying pre-emergent herbicides depends, besides the association of other factors, as the characteristics of the herbicides, the physical-chemical properties of the soil, conditions of humidity and temperature (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2011; RIZZARDI et al., 2020; SANTIN et al., 2019), but cannot forget of the genotypic composition of the cultivars

employed. In the work of Prates (2021), all cultivars evaluated suffered damage after the application of herbicides, however, greater damage was observed for genotypes with shorter cycle. This is because these cultivars with shorter juvenile period present slower recovery after being submitted to stress conditions and may directly impact their productivity.

The results of this work, added to those already available in the literature (DALAZEN et al., 2020; FORNAZZA et al., 2018), show the need to evaluate the tolerance of soybean genotypes to pre-emergence herbicides, being a characteristic to be considered in genetic improvement programs of this crop, since even being registered for the crop the effect of the herbicide is not the same for all cultivars.

It is also worth noting that when working with studies of genotypic behavior associated with the application of different treatments, such as the use of pre-emergent herbicides, numerous environmental factors related to biotic and abiotic stresses can be occurring and greatly influence the accuracy of the results (CARVALHO et al., 2021). Thus, to ensure greater reliability and accuracy of the data, the experiments should be implemented in more than one environment, as was done in this work.

The behavior of the herbicides in the performance of the lines was not coincident in all the characteristics studied, facing the different rates and times of conducting the experiments (FIGURE 1). In season 2, there was a greater negative interference of pre-emergent herbicides on seedling development. This fact was already expected, since the environmental conditions in season 2, regarding abiotic factors, were not favorable, having reached throughout the conduction of the experiment, inside the greenhouse, high temperatures. Although the conditions inside the greenhouse were controlled to keep the temperature around 24°C, there were peaks during the course of the experiment when the temperature reached 41 degrees, because due to the high outside temperatures.

The significant effect observed for the triple source of variation herbicides x rates x seasons, considering most of the characters related to the agronomic development of soybean plants is important for the selection of molecules that provide a lower effect on the development of lineages, ensuring, in the first instance, adequate grain yields, given a good initial plant stand. According to Blanco et al. (2015), the selectivity of plants to herbicides is determined by different factors, often related to the characteristics of herbicides, such as rate and formulation, plant characteristics, such as species, cultivars, as well as climatic conditions before and after application and inherent soil characteristics.

According to Figure 1, it is possible to state that the herbicide composed by the molecule flumioxazin, concentration of 41.4% (ValorEZ®), provided the lower signs of damage in the development of seedlings, in the average of the evaluated lines. The opposite behavior was verified by the active agents chlorimuron with a concentration of 25% (Classic®) and pyroxasulfone with a concentration of 85% (Zidua®), especially the latter molecule.

Flumioxazin is a herbicide registered for use under pre-emergence conditions to control broadleaf and some monocotyledonous weeds in soybean cultivation, and there are no reports in the literature of weeds resistant to this molecule (TAYLOR-LOVELL et al., 2001). Currently marketed soybean lineages have not been evaluated for flumioxazin tolerance, resulting in uncertainty regarding the risk of herbicide injury (PRIESS et al., 2020). Two factors contributing to flumioxazin injury in soybean are varietal sensitivity and herbicide splash on emerging seedlings. The latter can be more severe when a variety with high herbicide sensitivity is grown, which demonstrates the need for studies on the sensitivity of cultivars to herbicides.

Flumioxazin and pyroxasulfone are herbicides currently cleared for soybean application, with rates depending primarily on soil texture (ANONYMOUS, 2019). Results obtained by Sridhara et al. (2019) revealed that pre-emergence application of flumioxazin was effective in reducing weed density without observing phytotoxic symptoms on soybean as well as successive green grass crop, even at the highest rate of flumioxazin, thus proving to be safe for use without residual effect. Recent studies have shown effective weed control with co-application of Flumioxazin and pyroxasulfone. Both herbicides combine two effective modes of action and may further improve the efficiency and consistency of weed control in soybean (STROM et al., 2019). However, increased injury risk is observed with such mixtures (SALOMAO et al., 2021). A fact proven in the present study where both Fierce® and Fierce XLT® herbicides, which combine the action of flumioxazin and pyroxasulfone had, in addition to similar effects on reducing soybean seedling development, as well as phytotoxicity in the soybean strains evaluated.

The Zidua® herbicide also presents as active ingredient the pyroxasulfone molecule, which presented, according to Table 4, the greatest phytotoxicity effect on the plants of the evaluated lineages. According to research developed by Ferrier et al. (2022), the predicted rates of pyroxasulfone that caused 5% and 10% injury in soybean were 585 and 698 g ia ha⁻¹, respectively. Belfry et al. (2015) also observed minor transient soybean injury with a pre-emergence treatment of 100 to 150 g ia ha⁻¹ of pyroxasulfone. Such molecule is an isoxazoline herbicide that inhibits the synthesis of very long chain fatty acids in susceptible weeds and is

mainly absorbed from the soil through the roots of susceptible plants (ANONYMOUS, 2019). However, there is a need for caution regarding the rate to be applied in order to avoid phytotoxicity effects on plant development (CHRISTOFFOLETI; OVEJERO, 2005; GUBIANI et al., 2021; POLTRONIERI, 2021).

It is known that besides the effectiveness of weed control, the herbicides used must be selective to the crop, because depending on the conditions of use they can cause different phytotoxic effects, interfering with plant development and grain yield of the crop (MONQUERO et al., 2011). A relevant condition when using herbicides is the dosage of the active ingredient to be applied. According to the results obtained in this research, it is observed that the herbicides generated average behavior of the genotypes not coinciding with the different rates applied (FIGURA 1). By increasing the recommended application rate, the average estimates of the evaluated characters were lower. However, caution should be given to the conclusion that increased rates will always cause higher percentages of phytotoxicity in plants. According to Galon et al. (2022) the increase in the rates of pre-emergent herbicides did not show a direct relation with the phytotoxicity symptoms to soybeans.

Studies show that the link between increasing rates of pre-emergent herbicides and phytotoxicity levels is mainly related to the physicochemical characteristics of soils, climatic conditions, and cultivar susceptibility (ARSENIJEVIC et al., 2022; TAKESHITA et al., 2019). The use of pre-emergent herbicides makes it possible to apply molecules of different mechanisms of action in the soybean production system (ARSENIJEVIC et al., 2022), contributing to the management of herbicide resistance. Its residual effect in the soil favors the initial growth of the crop in the clean and may also contribute to improve the effectiveness of glyphosate in post-emergence soybean (RIZZARDI et al., 2020). However, the possible effects of these herbicides on phytotoxicity of the crop should be known. As already discussed, soybean susceptibility to pre-emergent herbicides may be related to cultivar, physical and chemical soil characteristics, environmental conditions, and the rate of the herbicide used (RIZZARDI et al., 2020; SANTIN et al., 2019). Thus, research studying the selectivity and efficacy of pre-emergent herbicides applied at different rates on soybeans is extremely important, since these products have been widely used in crops where glyphosate-resistant or tolerant weeds are present and there are management options to avoid competition between plants.

5 CONCLUSIONS

For most of the traits evaluated, when the cultivars were applied twice the recommended rate of the pre-emergent herbicide, generated higher estimates of phytotoxicity.

The herbicide ValorEZ©, showed less phytotoxicity effect on plants, affecting less the development and initial growth of soybean seedlings. The opposite result was observed for the herbicides Classic© and Zidua©, which estimates proved a high residual content in plants, inhibiting an adequate agronomic development when applied pre-emergence.

The R08-4004 and UA KIRKSEY lines showed less damage in the characteristics evaluated in relation to the other varieties.

REFERENCES

ANONYMOUS Specimen label, Fierce™ herbicide English label – 2019-2679. Guelph, ON: **Valent Canada Inc**, 2019.

ARSENIJEVIC, N. et al. Influence of integrated agronomic and weed management practices on soybean canopy development and yield. **Weed Technology**, v. 36, n.1, p.1-6. 2022.

BELFRY, K. D., MCNAUGHTON, K. E., SIKKEMA, P. H. Weed control in soybean using pyroxasulfone and sulfentrazone. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 95, n. 6, p. 1199-1204, 2015.

BLANCO, F. M. G. et al. Determining the selectivity of herbicides and assessing their effect on plant roots-a case study with indaziflam and glyphosate herbicides. **InTech: London, UK**, p. 275-297, 2015.

CARVALHO, M. P. et al. Adptabilidade e estabilidade de soja convencional pela análise GGE biplot. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 81, 2021.

CHAUHAN, B. S.; JOHNSON, D. E. Growth response of direct-seeded rice to oxadiazon and bispyribac-sodium in aerobic and saturated soils. **Weed Science**, v. 5, p. 119–122, 2011.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F. Dinâmica dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar. São Paulo: **BASF**, p. 49, 2005.

SILVA, A. F. da et al. Monitoramento de plantas daninhas resistentes a glifosato no Brasil. **Embrapa Milho e Sorgo-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2021.

DALAZEN, G. et al. Soybean tolerance to sulfentrazone and diclosulam in sandy soil. **Planta Daninha**, v. 38, n. 1, p. 1-10, dez. 2020.

EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL. Report of the 3rd and 4th meetings of EWRC-Committee of Methods in Weed Research. **Weed Research**, v.4, n.1, p.88-88, 1964.

- FERRIER, J. et al. The interaction of pyroxasulfone and flumioxazin applied preemergence for the control of multiple-herbicide-resistant waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) in soybean. **Weed Technology**, v.36, n.2, p.318-323, 2022.
- FORNAZZA, F. G. F. et al. Selectivity of pre-and post-emergence herbicides to very-early maturing soybean cultivars. **Comunicata Scientiae**, v.9, n.4, p.649-658, 2018.
- GALON, L. et al. Seletividade e eficácia de herbicidas aplicados em soja para o controle de plantas daninhas. **Agrarian**, v.15, n.55, p.e15715-e15715, 2022.
- GAZZIERO, D. L. P. et al. *Euphorbia heterophylla*: um novo caso de resistência ao glifosato no Brasil. **Comunicado Técnico**. 2020.
- GUBIANI, J. E. et al. Selectivity and weed control from the formulated mixture of sulfentrazone+ diuron in soybean. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.6, p.63320-63333, 2021.
- JONES, B.; SALL, J. JMP statistical discovery software. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics**, v. 3, n. 3, p. 188-194, 2011.
- KNEZEVIC, S. Z. et al. Critical time for weed removal in glyphosate-resistant soybean as influenced by preemergence herbicides. **Weed Technology**, v.33, n.3, p.393-399, 2019.
- KUMAR, V.; JHA, P. Growth and reproduction of glyphosate-resistant and susceptible populations of *Kochia scoparia*. **PLoS One**, v.10, n.11, p. e0142675, 2015.
- MONQUERO, P. A. et al. Seletividade de herbicidas em variedades de cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 70, n. 2, p.286-293, 2011.
- MORAIS JÚNIOR, O. P. et al. Single-Step Reaction Norm Models for Genomic Prediction in Multienvironment Recurrent Selection Trials. **Crop Science**, v. 58, n.2, p.592-607, 2018.
- NETO, J. P. S. **Avaliação de herbicidas pré-emergentes na cultura da soja em Mato Grosso**. 2021. 32p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Faculdade da Amazônia, Vilhena, 2020.
- NORSWORTHY, J. K. et al. Integrating herbicide programs with harvest weed seed control and other fall management practices for the control of glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*). **Weed Science**, v. 64, n.3, p. 540-550. 2016.
- OLIVEIRA JR, R.S. Conceitos importantes no estudo do comportamento de herbicidas no solo. **Boletim Informativo – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n. 2, p.9-12, 2002.
- OLIVEIRA, M. C. et al. Confirmation and control of HPPD-inhibiting herbicide-resistant waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) in Nebraska. **Weed Technology**, v.31, n.1, p.67-79, 2017.

OSTERHOLT, M. J. et al. Overlay of residual herbicides in rice for improved weed management. **Weed Technology**, v. 33, p. 426-430, 2019.

PATEL, B. D. et al. Weed dynamics and production potential of kharif maize (*Zea mays* L.) as influenced by new generation herbicides. **Crop Research** v. 53, n. 5and6, p. 209-214, 2018.

POLLES, T. Uso de Pré-emergentes na cultura da soja. Edição 24. Outubro 2020. **Informativo técnico Nortox**, 6p. 2020.

POLTRONIERI, F. **Residual de herbicidas aplicados no manejo outonal de *Coryza* spp. sobre a cultura da soja e do milho**. 2021. 66p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2021.

PRIESS, G. L. et al. Weed control and soybean injury from preplant vs. preemergence herbicide applications. **Weed Technology**, v.34, n.5, p. 718-726, 2021.

RAMALHO, T. C.; SOUSA JUNIOR, E. D. S. de; JUNQUEIRA, A. M. R. Manejo sustentável de plantas daninhas na cultura da soja. **In Anais do VIII ECOPET-Encontro Centro-Oeste dos Grupos PET**, 2021.

RIZZARDI, M. A.; ROCKENBACH, A. P.; SCHNEIDER, T. Residual herbicides increase the period prior to interference in soybean cultivars. **Planta Daninha**, v.38, p. e020222194, 2020.

ROCHA, B. G. R et al. Sistema de semeadura cruzada na cultura da soja: avanços e perspectivas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p. 376-384, 2018.

SANTIN, C. O. et al. Weed management in soybean using burndown herbicide associated to pre-emergent herbicides. **Communications in Plant Sciences**, v.9, n.1, p.46-52, 2019.

SRIDHARA, S. et al. Weed control efficiency and weed index in soybean as influenced by flumioxazin and its effect on succeeding green gram. **International Journal of Chemical Studies**, v.7, p.872-875, 2019.

STROM, S. A. et al. Characterization of multiple herbicide-resistant waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) populations from Illinois to VLCFA-inhibiting herbicides. **Weed Science**. v. 67, p. 369–379, 2019.

TAKESHITA, V. et al. Effect of organic matter on the behavior and control effectiveness of herbicides in soil. **Planta Daninha**, v.37, 2019.

TAYLOR-LOVELL, S.; WAX, L. M.; NELSON, R. Phytotoxic response, and yield of soybean (*Glycine max*) varieties treated with sulfentrazone or flumioxazin. **Weed Technology**, v. 15, n. 1, p. 95-102, 2001.

TEAM, R. Core. 2020. R: A Language and Environment for Statistical Computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria: Available at: <https://www.R-project.org/>, 2020.

ZHU, J. et al. Weed research status, challenges, and opportunities in China. **Crop Protection**, *134*, 104449, 2020.