

HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES COMO FERRAMENTA ESTRATÉGICA NO MANEJO INTEGRADO DE PLANTAS DANINHAS

¹Alieze Nascimento da Silva, ²Bruna Holdefer, ²Daniela da Silva Oliveira, ³Ionara Cristina Hermes Dickel, ⁴Mariza Tereza Souza do Prado

¹ Professora da Universidade de Cruz Alta, UNICRUZ, *Campus* Cruz Alta, Brazil
email: alieze.agro@gmail.com

²Discente de Bacharelado em Agronomia pela Universidade de Cruz Alta, UNICRUZ, *Campus* Cruz Alta, Brazil

³Mestranda em Agronomia - Agricultura e Ambiente pelo PPGA em Agronomia - Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de Santa Maria, *Campus* Frederico Westphalen, Brazil

⁴Discente de Bacharelado em Agronomia pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha, *Campus* Panambi, Brazil

Recebido em: 15/11/2025 – Aprovado em: 15/12/2025 – Publicado em: 30/12/2025
DOI: 10.18677/EnciBio_2025D6

RESUMO

O uso de herbicidas pré-emergentes constitui uma das principais estratégias no manejo moderno de plantas daninhas, especialmente em sistemas agrícolas intensivos como soja, milho e trigo. Esses compostos atuam formando uma camada ativa no solo que impede a germinação das sementes invasoras, reduzindo a competição inicial e favorecendo o estabelecimento das culturas. Esta revisão bibliográfica reúne avanços recentes sobre a eficiência, seletividade e sustentabilidade dos herbicidas pré-emergentes, destacando os principais mecanismos de ação (*HRAC*), classes químicas e fatores edafoclimáticos que influenciam seu desempenho. Também são discutidos os impactos ambientais, os riscos de resistência e as inovações tecnológicas relacionadas a novas formulações e sistemas de liberação controlada. A análise integrada das evidências demonstra que o uso racional e tecnicamente orientado desses produtos contribui para o manejo sustentável de plantas daninhas, minimizando impactos ecológicos e assegurando maior estabilidade produtiva nas culturas agrícolas.

PALAVRAS-CHAVE: Herbicidas residuais; manejo integrado; plantas daninhas;

PRE-EMERGENCE HERBICIDES AS A STRATEGIC TOOL IN INTEGRATED WEED MANAGEMENT

ABSTRACT

The use of pre-emergence herbicides is one of the main strategies in modern weed management, particularly in intensive cropping systems such as soybean, maize, and wheat. These compounds act by forming an active soil layer that inhibits weed seed germination, reducing early competition and promoting crop establishment. This literature review compiles recent advances on the efficiency, selectivity, and sustainability of pre-emergence herbicides, emphasizing their main modes of action (*HRAC*), chemical classes, and soil-climatic factors affecting performance.

Environmental impacts, resistance risks, and technological innovations involving new formulations and controlled-release systems are also discussed. The integrated analysis indicates that the rational and technically guided use of these products supports sustainable weed management, minimizes ecological impacts, and ensures greater productivity stability in agricultural systems.

KEYWORDS: Residual herbicides integrated management; weeds;

INTRODUÇÃO

O controle de plantas daninhas constitui um dos principais desafios da produção agrícola moderna, podendo causar perdas expressivas de produtividade quando não manejado adequadamente (CHAUHAN, 2020; FERRIER *et al.*, 2022). No Brasil, o manejo de plantas daninhas na cultura da soja representa elevados custos com herbicidas e perdas por competição e alelopatia, que podem totalizar aproximadamente R\$ 9 bilhões por ano (OERKE, 2006; ADEGAS *et al.*, 2017; ADEGAS *et al.*, 2022). Esse impacto econômico é agravado pela crescente resistência das plantas daninhas aos diferentes mecanismos de ação (MOA), fenômeno que tem levado à intensificação do uso de produtos químicos e ao consequente aumento dos custos de produção (GHARDE *et al.*, 2018; ADEGAS *et al.*, 2022; HEAP, 2024).

Dentro do manejo integrado de plantas daninhas (MIPD), cita-se o controle cultural, controle físico, controle mecânico, controle biológico e controle químico (NORSWORTHY *et al.*, 2012; LORENZI, 2014;). Dentre as estratégias no controle químico, existem os herbicidas pré-emergentes (PRÉ), que têm se destacado por sua capacidade de impedir a germinação e o estabelecimento inicial das plantas daninhas, proporcionando vantagens competitivas às culturas (OLIVEIRA JUNIOR *et al.*, 2011; BECKIE; HARKER, 2017; SHEKHAWAT *et al.*, 2022). Ao atuarem sobre sementes em germinação ou plântulas recém-formadas no perfil superficial do solo, esses produtos reduzem a pressão de plantas invasoras durante as fases críticas de desenvolvimento, contribuindo para maior rendimento e estabilidade das lavouras (PROCÓPIO *et al.*, 2024; PARVEN *et al.*, 2025).

Na produção de grãos e cereais, como milho, soja e trigo, os herbicidas PRÉ permanecem como ferramentas-chave para reduzir a competição inicial entre as culturas agrícolas e as plantas daninhas, prolongar o período sem interferência e diminuir a necessidade de aplicações de herbicidas pós-emergentes (DAYAN; DUKE, 2014; NAKKA *et al.*, 2019; FERRIER *et al.*, 2022). A aplicação desses produtos antes da emergência das plantas daninhas cria uma barreira química no solo, impedindo ou retardando a germinação das sementes indesejadas, o que reduz a competição por água, luz e nutrientes, favorecendo o estabelecimento das culturas desejadas (CARVALHO *et al.*, 2019; KNEZEVIC *et al.*, 2020; RIZZARDI *et al.*, 2020).

O uso de herbicidas PRÉ tem se tornado uma prática essencial no manejo moderno de plantas daninhas, sobretudo diante do aumento de biótipos resistentes a herbicidas pós-emergentes, como o glifosato (BECKIE *et al.*, 2020). Ao controlar o banco de sementes do solo e reduzir a emergência de plantas infestantes, os pré-emergentes contribuem para prevenir a seleção de novos biótipos resistentes e prolongar a vida útil das moléculas disponíveis (BECKIE; HARKER, 2017; ZHANG *et al.*, 2021). Além de sua importância agrônômica, os herbicidas pré-emergentes também desempenham papel estratégico na mitigação de impactos ambientais do manejo químico, uma vez que sua aplicação direcionada e em menor frequência reduz o número total de intervenções pós-emergentes e o risco de deriva (SINGH *et*

al., 2023; SILVA *et al.*, 2025). Contudo, a eficiência desses produtos é influenciada por variáveis como textura e teor de matéria orgânica do solo, umidade, temperatura, método de aplicação e formulação, exigindo manejo técnico e criterioso para otimizar resultados (CHRISTOFFOLETI; NICOLAI, 2016).

No Brasil, o uso de herbicidas predomina amplamente no mercado de defensivos agrícolas, correspondendo a cerca de 59% de todas as vendas nacionais em 2020, valor superior à média global e indicador da forte dependência desses insumos nos sistemas de produção (EMBRAPA, 2025). A distribuição regional do consumo também revela padrões consolidados de intensificação, com destaque para as regiões Sudeste ($\approx 38\%$), Sul ($\approx 31\%$) e Centro-Oeste ($\approx 23\%$), que concentram a maior parte da atividade agrícola mecanizada e tecnificada do País (EMBRAPA, 2025). O uso total de herbicidas no Brasil cresceu 128% entre 2010 e 2020, impulsionado principalmente pela resistência de plantas daninhas ao glifosato (EMBRAPA, 2025). Embora não haja dados oficiais sobre o uso de herbicidas pré-emergentes no Brasil, estudos conduzidos pela Rede Técnica Cooperativa (RTC/CCGL), em parceria com cooperativas e áreas experimentais, reforçam a importância estratégica do uso de herbicidas pré-emergentes no manejo de plantas daninhas em lavouras e um aumento do interesse dos produtores por essa tecnologia que chega a 30% (COTRISOJA, 2025).

Diante da importância crescente dos herbicidas pré-emergentes no manejo moderno de plantas daninhas e do avanço das pesquisas voltadas à sua eficiência e sustentabilidade, esta revisão bibliográfica tem como propósito reunir e analisar criticamente as evidências científicas mais recentes sobre esses insumos. A partir de literatura atualizada, busca-se compreender seus principais mecanismos de ação, formulações disponíveis e moléculas mais utilizadas na agricultura brasileira e internacional. Também se discutem os fatores agronômicos e ambientais que influenciam seu desempenho, os potenciais impactos sobre o solo e a biota, os riscos associados à evolução da resistência e as práticas recomendadas para seu uso seguro e eficiente. Por fim, o trabalho apresenta alternativas integradas e estratégias sustentáveis que podem complementar ou reduzir a dependência desses herbicidas, contribuindo para a construção de sistemas agrícolas mais equilibrados, produtivos e ambientalmente responsáveis.

Definição e breve histórico de herbicidas pré-emergentes

Os herbicidas pré-emergentes (PRÉ) atuam no solo antes da germinação das plantas daninhas, formando uma camada residual que reduz o estabelecimento inicial das plântulas e diminui a competição por recursos nas fases críticas da cultura (CHRISTOFFOLETI; NICOLAI, 2016; RODRIGUES; ALMEIDA, 2018; BRAZ; TAKANO, 2022; OLIVEIRA JUNIOR *et al.*, 2011). O uso comercial iniciou-se com a trifluralina, dinitroanilina que inibe a polimerização da tubulina, bloqueando a divisão celular e tornando-se referência no manejo de diversas culturas (KRAEHMER *et al.*, 2014; HEAP; DUKE, 2018).

Avanços posteriores levaram ao desenvolvimento de moléculas mais seletivas, como os inibidores da HPPD, que bloqueiam a biossíntese de carotenoides e apresentam alta eficiência, inclusive sobre espécies resistentes a ALS e EPSPS (DAYAN; DUKE, 2014; KRAEHMER *et al.*, 2014; BECKIE *et al.*, 2020; HEAP, 2020). Nos últimos anos, cresce a produção científica sobre PRÉ devido ao aumento de resistência e à busca por alternativas ao uso intensivo de pós-emergentes, com destaque para flumioxazina, sulfentrazone, s-metolaclo, diclosulam e isoxaflutole

(GAZOLA *et al.*, 2021; HULME;LIU 2022; PARVEN *et al.*, 2024). A eficiência desses herbicidas depende fortemente de fatores edáficos e ambientais, como textura, pH, matéria orgânica, umidade e atividade microbiana, que influenciam processos de sorção e degradação (OLIVEIRA JUNIOR *et al.*, 2011).

O manejo da palhada em plantio direto e a interceptação pela cobertura vegetal também condicionam o desempenho dos PRÉ (NORSWORTHY *et al.*, 2012; LODDO *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2024; PAUL *et al.*, 2024). Por outro lado, uso inadequado pode elevar riscos ambientais, como lixiviação, especialmente em solos arenosos ou regiões de alta pluviosidade (RIVAS-GARCIA; ESPINOSA-CALDERON, 2022; SILVA *et al.*, 2024). Resistências antes raras — a dinitroanilinas, inibidores da PPO e inibidores de VLCFA — têm sido relatadas em diversos países, reforçando a necessidade de rotação de mecanismos de ação e integração com práticas culturais (HEAP, 2020; HULME; LIU, 2022).

Com esses desafios, novas tecnologias como liberação controlada, encapsulamento, nanotecnologia e aplicações de precisão têm sido desenvolvidas para aumentar a eficiência e reduzir perdas (PARVEN, 2024), alinhando-se a sistemas agrícolas sustentáveis. Assim, os herbicidas PRÉ permanecem pilares do manejo moderno, cuja eficácia depende da evolução das moléculas, do uso de tecnologias emergentes e da integração com práticas conservacionistas (OFOSU *et al.*, 2023).

Mecanismos de ação e classes químicas de herbicidas pré-emergentes

O mecanismo de ação de um herbicida corresponde aos processos bioquímicos, fisiológicos e moleculares pelos quais a molécula interfere em funções vitais das plantas daninhas, resultando na inibição do crescimento ou na morte. O domínio desses processos é essencial para prever eficácia, evitar fitotoxicidade e adotar estratégias de manejo que reduzam a pressão de seleção e retardem a evolução da resistência (CHRISTOFFOLETTI; NICOLAI, 2016; RODRIGUES; ALMEIDA, 2018). A classificação dos herbicidas baseia-se em classe química, ingrediente ativo e mecanismo de ação, distinção que direciona escolhas estratégicas para o manejo integrado e favorece a rotação de sítios-alvo, reduzindo a resistência metabólica e por alteração do sítio-alvo

Os herbicidas pré-emergentes interferem em processos fisiológicos essenciais ao estabelecimento das plântulas, como divisão celular, síntese de pigmentos, lipídios, ácidos nucleicos e atividade enzimática (OLIVEIRA JUNIOR *et al.*, 2011; KRAEHMER *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2019; DAYAN, 2019). A escolha do produto depende do espectro de controle, da seletividade, das características edafoclimáticas e de recomendações regulatórias (NORSWORTHY *et al.*, 2012; CHRISTOFFOLETTI; NICOLAI, 2016; KNEZEVIC *et al.*, 2020; AGROFIT/MAPA, 2023). Em plantio direto, a interação entre herbicida, palhada e umidade do solo influencia fortemente a eficiência dos PRÉ, exigindo ajustes de dose, mistura e momento de aplicação (NORSWORTHY *et al.*, 2012; RIZZARDI *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2023; GARCIA *et al.*, 2024).

Entre as classes mais estabelecidas estão as dinitroanilinas, como trifluralin, pendimethalin e prodiamine, que inibem a polimerização da tubulina e bloqueiam a divisão celular (KRAEHMER *et al.*, 2014; HEAP, 2014; HEAP, 2020; HULME;LIU, 2022). Pendimethalin permanece como importante opção para gramíneas anuais, frequentemente proporcionando controle elevado em condições adequadas de manejo e ambiente (KRAEHMER *et al.*, 2014). As acetanilidas e cloroacetanilidas,

como metolachlor, S-metolachlor e acetochlor, inibem a biossíntese de lipídios e prejudicam o desenvolvimento inicial das plântulas (RODRIGUES; ALMEIDA, 2018; NANDULA, 2019; KNEZEVIC *et al.*, 2020). Estudos recentes avaliam misturas envolvendo S-metolachlor em diferentes cultivos e ambientes, especialmente diante da evolução da resistência (MOSQUEDA *et al.*, 2020; SYMINGTON *et al.*, 2022; KERR *et al.*, 2023; SILVA *et al.*, 2023). Em sistemas com palhada, combinações com diclosulam, fomesafen, imazethapyr ou pyroxasulfone + flumioxazin têm apresentado resultados consistentes em termos de controle e seletividade (JAREMTCHUK *et al.*, 2009; GAZOLA *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2019; GARCIA *et al.*, 2024; FONTES *et al.*, 2025).

Os inibidores de HPPD (4-hidroxifenilpiruvato dioxigenase (4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase)), uma enzima essencial do metabolismo das plantas como isoxaflutole, mesotrione e tembotrione, bloqueiam a biossíntese de carotenoides, causando branqueamento e morte das plantas (DAYAN; DUKE, 2014; BECKIE *et al.*, 2019; DAYAN, 2019; TORRA *et al.*, 2021; TORRA *et al.*, 2022). Ensaio recentes destacam seu potencial em cenários com alta pressão de *Amaranthus spp.* e resistência a ALS (Inibidor de Acetolactato Sintase) e EPSPS (Inibidor 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase), especialmente quando inseridos em programas de manejo integrando misturas e sequências de herbicidas com diferentes mecanismos de ação (TORRA *et al.*, 2021; FERRIER *et al.*, 2022; BRAZ; TAKANO, 2022; YANNICCARI *et al.*, 2022). Já os inibidores da PPO, como flumioxazin, sulfentrazone e oxadiazon, bloqueiam a síntese de clorofila e heme, promovendo acúmulo de radicais livres e necrose dos tecidos (OLIVEIRA JUNIOR *et al.*, 2011; DAYAN; DUKE, 2014; MENDES; SILVA, 2022). Misturas contendo flumioxazin mostram bom desempenho em diferentes tipos de solo, sobretudo quando associadas a herbicidas residuais complementares (JAREMTCHUK *et al.*, 2009; GAZOLA *et al.*, 2016; RIZZARDI *et al.*, 2020; GAZOLA *et al.*, 2021; SCHELTER *et al.*, 2023; SILVA *et al.*, 2023; GARCIA *et al.*, 2024).

Moléculas mais recentes, como pyroxasulfone, têm se destacado pelo longo residual, elevada eficiência sobre gramíneas e boa seletividade em sistemas diversos (FERRIER *et al.*, 2022; FONTES *et al.*, 2025). Investigações sobre seus efeitos ecológicos reforçam a importância de integrar parâmetros microbiológicos e de qualidade do solo nas avaliações de campo (WANG *et al.*, 2018; MENDES *et al.*, 2019; YU *et al.*, 2024).

O avanço da resistência a PRÉ tem sido amplamente documentado. Pesquisas mostram que *Amaranthus tuberculatus*, *Alopecurus myosuroides* e *Lolium rigidum* podem apresentar resistência associada à metabolização por GSTs, (Glutathione S-transferases) expressão de citocromos P450 e mutações em genes estruturais (HEAP, 2014; TORRA *et al.*, 2021; HULME; LIU, 2022; YANNICCARI *et al.*, 2022; KERR *et al.*, 2023). No Brasil, trabalhos com *Amaranthus spp.* e outras espécies em áreas de uso contínuo de PRÉ indicam mecanismos semelhantes, com incrementos de metabolização e múltipla resistência (GONÇALVES NETTO *et al.*, 2016; GONÇALVES NETTO *et al.*, 2019; MARTINS *et al.*, 2020; GONÇALVES NETTO *et al.*, 2022; BRAZ; TAKANO, 2022; GAZZIERO *et al.*, 2023). Estudos da Embrapa e de universidades federais evidenciam alterações metabólicas e ampliam o mapeamento da resistência em diferentes estados e sistemas produtivos (ADEGAS *et al.*, 2017; ADEGAS *et al.*, 2022; PROCÓPIO *et al.*, 2024; COTRISOJA, 2025).

Nos Estados Unidos, a resistência cruzada em *Amaranthus spp.* a inibidores de VLCFA e PPO tem sido recorrente após décadas de pressão de seleção, exigindo programas mais robustos de rotação e mistura de mecanismos de ação (NORSWORTHY *et al.*, 2012; KNISS, 2018; MOSQUEDA *et al.*, 2020; SYMINGTON *et al.*, 2022; FERRIER *et al.*, 2022). A resistência a PPO (Protoporfirinogênio Oxidase - Inibidor da PPO) também cresce rapidamente, tanto no Brasil quanto no exterior, frequentemente associada à múltipla resistência e mecanismos não alvo (TORRA *et al.*, 2021; BRAZ;TAKANO, 2022; YANNICCARI *et al.*, 2022; HULME;LIU, 2022; GAZZIERO *et al.*, 2023).

Os dados apresentados na Tabela 1 mostram que os herbicidas PRÉ exercem papéis distintos no manejo químico, variando em espectro de controle, residual, seletividade e resposta às condições edafoclimáticas. Moléculas tradicionais como pendimethalin e sulfentrazone mantêm relevância, enquanto ativos mais recentes como pyroxasulfone e misturas pré-formuladas ampliam o espectro e oferecem maior eficiência em diferentes sistemas de manejo. A diversidade de mecanismos de ação reforça a importância da rotação para reduzir a seleção de biótipos resistentes e fortalecer programas de manejo em longo prazo.

TABELA 1. Principais herbicidas pré-emergentes utilizados no manejo de plantas daninhas na cultura da soja (*Glycine max*), seus mecanismos de ação, grupo HRAC.

Ingrediente ativo (IA)	MOA / HRAC	Alvos / Resultados	Eficiência	Seletividade	Autores (ano)
Flumioxazin (Valor®, Flumyzin®)	14 – Inibidor de PPO	<i>Amaranthus spp.</i> , <i>Ipomoea spp.</i> , <i>Bidens pilosa</i> ; residual 40–60 dias; reduz emergência inicial; sinergia com sulfentrazone e S-metolachlor.	Alta (85–95%)	Seletivo nas doses recomendadas; ajustar textura e umidade.	Rizzardi <i>et al.</i> , (2020); Gazola <i>et al.</i> , (2021)
Sulfentrazone (Authority®, Spartan®)	14 – PPO	Latifoliadas: <i>Bidens</i> , <i>Acanthospermum</i> , <i>Amaranthus</i> ; residual consistente; ampla eficiência em PRE.	Alta (80–92%)	Baixa fitotoxicidade; risco de carryover em solos leves.	Carmo <i>et al.</i> (2023); Silva <i>et al.</i> , (2024);
S-metolachlor / Metolachlor (Dual Gold®, Boundary®)	15 – Inibidor de VLCFA	Gramíneas anuais: <i>Digitaria</i> , <i>Eleusine</i> , <i>Echinochloa</i> ; algumas latifoliadas.	Alta (>90%) ou Boa (78–90%)	Muito seletivo; dependente de textura e umidade.	Embrapa (2019); Procópio <i>et al.</i> , (2018); Adegas <i>et al.</i> , (2017)
Metribuzin (Sencor®, Tricor®)	5 – Inibidor do PSII	Latifoliadas e algumas gramíneas; residual curto (3–4 semanas); risco de injúria em cultivares sensíveis.	Boa (75–88%)	Ajustar dose conforme solo/cultivar.	Gazola <i>et al.</i> (2016); Dalazen <i>et al.</i> (2020); Schelter <i>et al.</i> (2023)
Diclosulam (Spider® 840 WG, Coact®)	2 – Inibidor de ALS	<i>Acanthospermum</i> , <i>Bidens</i> , <i>Ipomoea</i> ; residual longo (~60 dias).	Moderada/Alta (70–85%)	Atenção a solos arenosos e risco de carryover.	Dalazen <i>et al.</i> , (2020); Embrapa (2019);

Pyroxasulfone (Zidua®)	15 – VLCFA	Gramíneas e latifoliadas pequenas (<i>Amaranthus</i> , <i>Echinochloa</i>); excelente persistência.	Alta	Boa seletividade; considerar MO/textura.	Rizzardi <i>et al.</i> , (2020); Silva <i>et al.</i> , (2024); Gazziero <i>et al.</i> , (2023)
Pyroxasulfone + Flumioxazin (Zidua® + Flumyzin®)	15 + 14 – VLCFA + PPO	Gramíneas e latifoliadas; ótimo desempenho em <i>Amaranthus</i> , <i>Conyza</i> , <i>Digitaria</i> ; alto residual.	Alta (90–97%)	Boa seletividade; possível injúria inicial leve, sem impacto no rendimento.	Silva <i>et al.</i> , (2024)
Flumioxazin + S-metolachlor / Diclosulam	14 + 15 / 14 + 2	Ampla espectro; aumento de PAI; melhor desempenho sob palhada.	Alta (90–95%)	Adequada; modulação pela palhada no SPD.	Rizzardi <i>et al.</i> , (2020); Silva <i>et al.</i> , (2024); Gazziero <i>et al.</i> , (2023)
S-metolachlor + Imazethapyr (Dual Gold® + Pivot®)	15 + 2 – VLCFA + ALS	Controle consistente de folhas largas e gramíneas; responde à palhada.	Alta (85–94%)	Alta seletividade.	Silva <i>et al.</i> , (2024);
S-metolachlor + Fomesafen (Dual Gold® + Flex®)	15 + 14 – VLCFA + PPO	Ampla espectro; residual ~30 dias; melhora controle de latifoliadas.	Alta (88–96%)	Depende do cultivar; risco pequeno de injúria.	Silva <i>et al.</i> , (2024);
Saflufenacil (Heat®)	14 – PPO	Ação rápida; principalmente dessecante; complemento útil em residuais.	Moderada (60–80%)	Baixa persistência (15– 20 dias).	Christoffoleti; Nicolai (2016)
Pendimetalin; S- metolachlor; Flumioxazin	3; 15; 14 – microtúbulos + VLCFA + PPO	<i>Amaranthus</i> , <i>Echinochloa</i> , <i>Digitaria</i> ; S- metolachlor ≥ pendimetalin.	Alta	Boa seletividade em cultivares locais.	Pamungkas <i>et al.</i> (2025) — Tailândia
S-metolachlor; Flumioxazin; Sulfentrazone sob <i>Panicum maximum</i>	15 + 14	Banco de sementes sob palhada; desempenho modulado pelo SPD.	Alta	Adequada; ajustar dose em áreas com alta cobertura.	Silva <i>et al.</i> , (2024)
Pyroxasulfone + Flumioxazin	15 + 14	<i>Amaranthus tuberculatus</i> multirresistente; efeito aditivo.	Alta	Injúria inicial transitória; sem perdas.	Ferrier <i>et al.</i> , (2022)
Alachlor; Metolachlor; Imazethapyr; Oxadiazon; Pendimetalin; Trifluralin	15; 2; 14; 3	Gramíneas e latifoliadas iniciais; eficiência comprovada em casa de vegetação e campo.	Alta	Boa seletividade.	Jing <i>et al.</i> , (2025)

¹A classificação segue o sistema numérico do HRAC. O grupo 14 compreende inibidores da protoporfirinogênio oxidase (PPO), responsáveis por danos oxidativos e necrose celular; o grupo 15 inclui inibidores da síntese de ácidos graxos de cadeia muito longa (VLCFA), afetando a formação de membranas e a emergência; o grupo 2 reúne inibidores da acetolactato sintase (ALS), que bloqueiam a síntese de aminoácidos essenciais; o grupo 5 corresponde aos inibidores do fotossistema II (PSII), que interrompem o transporte de elétrons na fotossíntese; e o grupo 3 engloba inibidores da polimerização de microtúbulos, interferindo na divisão celular e no estabelecimento das plântulas. Essa padronização facilita a rotação de mecanismos de ação e o manejo da resistência.

A degradação microbiana acelerada de herbicidas como metolachlor, flumioxazin e outros compostos residuais tem sido registrada em diferentes regiões e pode influenciar a eficiência e favorecer falhas de controle (WANG *et al.*, 2018; MENDES *et al.*, 2019; YU *et al.*, 2024). A compreensão integrada dos mecanismos de ação, da dinâmica no solo (MULLER *et al.*, 2017; LIU *et al.*, 2020) e das interações com o ambiente é fundamental para posicionar adequadamente os PRÉ e prolongar sua vida útil frente à resistência (NORSWORTHY *et al.*, 2012; HEAP, 2014; TORRA *et al.*, 2021).

Nos últimos anos, a introdução de herbicidas de nova geração e a reformulação de moléculas tradicionais têm priorizado maior eficiência residual, menores doses e redução dos impactos ambientais, com destaque para o pyroxasulfone, um inibidor da biossíntese de VLCFA (HRAC 15), reconhecido pela elevada atividade residual, baixa dose eficaz e menor pressão seletiva (FERRIER *et al.*, 2022; SYMINGTON *et al.*, 2022; FONTES *et al.*, 2025; PARVEN *et al.*, 2025). Ensaios conduzidos no Brasil e nos Estados Unidos mostram que o produto pode apresentar elevada persistência no solo, variando conforme textura, pH e umidade, podendo causar fitotoxicidade em culturas sucessoras sensíveis quando mal posicionado (WANG *et al.*, 2018; MATTE *et al.*, 2019; MENDES *et al.*, 2019; DALAZEN *et al.*, 2020).

Em paralelo, estudos ecotoxicológicos e ambientais apontam que herbicidas residuais podem alterar processos fisiológicos e microbiológicos do solo, influenciando a qualidade ambiental e reforçando a necessidade de mitigação em áreas próximas aos corpos d'água (WANG *et al.*, 2018; MENDES *et al.*, 2019; YU *et al.*, 2024; PARVEN *et al.*, 2025). Assim, recomendações como técnicas de redução de deriva, escolha adequada de pontas, manejo de faixas vegetadas e calibração de pulverizadores tornam-se fundamentais (SBCPD, 1995; CHRISTOFFOLETI; NICOLAI, 2016; AGROFIT/MAPA, 2023).

O avanço no entendimento fisiológico, molecular e ecológico, associado às tecnologias de precisão e à rotação de mecanismos de ação (HRAC), tem impulsionado formulações mais seletivas e ambientalmente seguras, consolidando os herbicidas pré-emergentes como ferramentas essenciais do manejo moderno, equilibrando eficiência, sustentabilidade e responsabilidade ambiental (NORSWORTHY *et al.*, 2012; KRAEHMER *et al.*, 2014; DAYAN, 2019; TORRA *et al.*, 2021; BRAZ; TAKANO, 2022; PARVEN *et al.*, 2025).

Eficiência e seletividade de herbicidas pré-emergentes

A eficiência e a seletividade dos herbicidas pré-emergentes (PRÉ) têm se destacado no manejo de plantas daninhas em culturas como soja, milho, trigo e arroz irrigado, especialmente frente à expansão de biótipos resistentes aos herbicidas pós-emergentes (GALON *et al.*, 2018; HEAP; DUKE, 2018; ARSENIJEVIC *et al.*, 2021; BRANKOV *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2023). Ensaios realizados entre 2020 e 2025 apontam que os PRÉ asseguram controle consistente dos fluxos iniciais de emergência, melhorando a competitividade das culturas e reduzindo a demanda por intervenções pós-emergentes, com incrementos médios de produtividade variando entre 6 e 22% conforme o ambiente e o nível de infestação (FERRIER *et al.*, 2022; SYMINGTON *et al.*, 2022; FONTES *et al.*, 2025).

No Brasil, estudos multilocacionais realizados no Paraná, Rio Grande do Sul, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul na cultura da soja demonstram desempenho elevado

de misturas como glifosato + diclosulam + S-metolaclo e glifosato + S-metolaclo + imazetapir no manejo de *Digitaria insularis*, *Eleusine indica*, *Amaranthus hybridus* e *Bidens pilosa*, com ganhos de produtividade variando de 8 a 18% em comparação aos tratamentos exclusivamente pós-emergentes (RIZZARDI *et al.*, 2020; GAZOLA *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2023). Resultados semelhantes foram relatados em outros países da América do Sul, onde misturas contendo S-metolaclo e diclosulam aumentaram o controle de *Amaranthus* spp. e *Echinochloa* spp. em sistemas com alta palhada (BRAZ; TAKANO, 2022).

Complementarmente, diversos trabalhos conduzidos em soja no Brasil reforçam a elevada *performance* de herbicidas pré-emergentes utilizados de forma isolada ou em misturas (Tabela 1). O flumioxazin apresenta eficiência entre 85 e 95% no controle de *Amaranthus* spp. e *Ipomoea* spp., com residual de 40 a 60 dias e baixa fitotoxicidade, além de sinergia comprovada com sulfentrazone e S-metolaclo (JAREMTCHUK *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2019; GAZOLA *et al.*, 2021; SCHELTER *et al.*, 2023). A sulfentrazone também tem se mostrado altamente eficaz (80–92%), sobretudo contra dicotiledôneas de folhas largas, destacando-se pelo residual prolongado, embora possa apresentar risco de *carryover* em solos mais arenosos (RIZZARDI *et al.*, 2020; MOSQUEDA *et al.*, 2020; GAZOLA *et al.*, 2021; FONTES *et al.*, 2025).

O S-metolaclo, amplamente adotado em soja, apresenta desempenho consistente (78–90%) sobre gramíneas e folhas estreitas, sendo influenciado pela umidade e pela textura do solo, com elevada seletividade em cultivares modernas (CHRISTOFFOLETI; NICOLAI, 2016; GAZOLA *et al.*, 2021; SYMINGTON *et al.*, 2022; SILVA *et al.*, 2023). O metribuzin, por sua vez, permanece como opção importante no manejo de folhas largas e gramíneas anuais, com eficiência entre 75 e 88%, embora exija cuidado com cultivares sensíveis devido ao risco de fitotoxicidade (ADEGAS *et al.*, 2017; GALON *et al.*, 2018; HEAP; DUKE, 2018; PROCÓPIO *et al.*, 2024).

As misturas envolvendo flumioxazin + S-metolaclo ou flumioxazin + diclosulam têm apresentado elevados níveis de controle (90–95%), sobretudo pela ampliação do período anterior à interferência (PAI) e pela maior consistência sob palhada, característica dos sistemas brasileiros de plantio direto (SILVA *et al.*, 2019; RIZZARDI *et al.*, 2020; GAZOLA *et al.*, 2021; SCHELTER *et al.*, 2023). Misturas como S-metolaclo + imazethapyr e S-metolaclo + fomesafen também têm demonstrado alta eficiência (85–96%), com excelente efeito sobre gramíneas e dicotiledôneas iniciais, embora o residual seja reduzido em algumas combinações (CHRISTOFFOLETI; NICOLAI, 2016; MOSQUEDA *et al.*, 2020; RIZZARDI *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2023).

O diclosulam permanece relevante em áreas com alta infestação de *Bidens pilosa* e *Amaranthus* spp., embora sua eficiência (70–85%) dependa da dose e teor de matéria orgânica, podendo reduzir a produtividade em aplicações acima de 30 g ha⁻¹ (ADEGAS *et al.*, 2017; GALON *et al.*, 2018; PROCÓPIO *et al.*, 2024). Já o saflufenacil, embora apresente desempenho moderado como PRÉ (60–80%), tem sido empregado como complemento em programas residuais, principalmente na dessecação pré-plantio e no manejo de *Conyza* spp. (NORSWORTHY *et al.*, 2012; HEAP, 2014; BRAZ; TAKANO, 2022).

Entre as misturas mais modernas, a combinação pyroxasulfone + flumioxazin tem se destacado pelos maiores níveis de eficácia (90–97%), amplo espectro e residual prolongado, com excelente seletividade e desempenho superior em

condições de alta palhada, confirmado em ensaios recentes conduzidos no Brasil (FERRIER *et al.*, 2022; SYMINGTON *et al.*, 2022; FONTES *et al.*, 2025).

Quanto à seletividade, pesquisas brasileiras demonstram que a fitotoxicidade inicial observada em misturas contendo flumioxazin, fomesafen ou imazetapir é geralmente transitória, não afetando o rendimento final da soja, desde que respeitados o teor mínimo de umidade, a profundidade de semeadura e as características físico-químicas do solo (SILVA *et al.*, 2019; RIZZARDI *et al.*, 2020; GAZOLA *et al.*, 2021; SCHELTER *et al.*, 2023).

Estudos conduzidos nos Estados Unidos indicam resposta semelhante, com baixa fitotoxicidade observada em cultivares de soja quando flumioxazin é utilizado em PRÉ, principalmente sob condições de menor umidade no solo (NORSWORTHY *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2019; MOSQUEDA *et al.*, 2020). Em milho, tratamentos com S-metolacolor, acetochlor e pyroxasulfone têm mostrado elevada seletividade mesmo sob condições contrastantes de palhada e umidade, com maior sensibilidade apenas em híbridos superprecoces ou em solos arenosos (SYMINGTON *et al.*, 2022; FERRIER *et al.*, 2022; FONTES *et al.*, 2025).

Em milho (Tabela 2), combinações contendo atrazina + S-metolacolor ou acetochlor permanecem fundamentais no sul do Brasil e nos Estados Unidos, onde pesquisas em sistemas de alto aporte de palhada demonstram forte consistência no manejo de *Echinochloa crus-galli*, *Setaria viridis* e *Amaranthus* spp. (RIZZARDI *et al.*, 2020; MOSQUEDA *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2023). Ensaios brasileiros realizados em plantio direto têm mostrado níveis de controle superiores à 85%, mesmo sob condições ambientais adversas, com incrementos produtivos de 10 a 22% em áreas com alta infestação de gramíneas anuais (RIZZARDI *et al.*, 2020; GAZOLA *et al.*, 2021).

Nos Estados Unidos, resultados indicam que a *performance* dessas misturas é ainda mais estável quando associada à moléculas complementares, como mesotrione, ampliando a janela de controle e retardando fluxos tardios de emergência (NORSWORTHY *et al.*, 2012; HEAP; DUKE, 2018; TORRA *et al.*, 2021). Ensaios regionais demonstram que aplicações de atrazina + S-metolachlor em PRÉ reduzem drasticamente a densidade de *Amaranthus* spp. nas primeiras semanas, garantindo forte antecipação da competição e maior rendimento (SYMINGTON *et al.*, 2022; FERRIER *et al.*, 2022).

Além disso, estudos na América do Sul reforçam que essas misturas mantêm elevada eficiência em ambientes subtropicais, especialmente em cultivos tardios ou sob variabilidade hídrica, assegurando controle consistente de *Echinochloa* spp. e *Digitaria* spp. e maior estabilidade produtiva (GALON *et al.*, 2018; BRAZ; TAKANO, 2022; PROCÓPIO *et al.*, 2024). A performance superior observada em diferentes regiões está associada ao sinergismo entre mecanismos de ação, com a ação do PSII (atrazina) combinada à inibição da biossíntese de AGCML (S-metolacolor/acetochlor), proporcionando residual mais robusto e minimizando falhas em fluxos escalonados (NORSWORTHY *et al.*, 2012; HEAP, 2014; TORRA *et al.*, 2021).

TABELA 2. Herbicidas pré-emergentes utilizados na cultura do milho (*Zea mays*), apresentando os ingredientes ativos (IA), seus mecanismos de ação (MOA) conforme a classificação HRAC (*Herbicide Resistance Action Committee*).

Ingrediente ativo (IA) Exemplos de produtos	HRAC/ MOA	Eficiência	Resultados observados em trabalhos	Autores (ano)
Atrazina (Gesaprim®, Primoleo®, outros)	5 – Inibidor do PSII	Alta (85–95 %)	Controle eficaz de folhas largas (<i>Amaranthus</i> , <i>Bidens</i>); residual 30–40 dias; seletividade alta ao milho.	Kebede; Anbasa (2017); Rodrigues; Almeida (2018); Iqbal <i>et al.</i> , (2020); Abdulsalam; Balogun (2024); Singh (2024); Singh <i>et al.</i> , (2024);
S-metolachlor (Dual Gold®)	15 – Inibidor de VLCFA	Alta (80–93 %)	Alta eficiência sobre gramíneas e <i>Digitaria insularis</i> ; compatível em mistura com atrazina; leve fitotoxicidade inicial em solos argilosos.	Kebede; Anbasa (2017); Adegas <i>et al.</i> (2017); Procópio <i>et al.</i> (2018); Iqbal <i>et al.</i> (2020);
Mesotrione (Callisto®)	27 – Inibidor de HPPD	Alta (82–95 %)	Amplo espectro; residual médio; misturas com atrazina potencializam controle e reduzem rebrote.	Iqbal <i>et al.</i> , (2020); Hussain <i>et al.</i> , (2020); Merotto Junior <i>et al.</i> , (2022); Santos <i>et al.</i> , (2024); Nedeljković <i>et al.</i> , (2025);
Flumioxazin / Oxyfluorfen (Flumyzin®, Sumisoya®)/ (Goal®, Galigan®)	14– Inibidor de PPO	Alta (80–92 %)	Efetivos sobre Euphorbia heterophylla e Ipomoea spp.; misturas com triazinas aumentam espectro; risco de leve injúria inicial.	Presoto <i>et al.</i> , (2022); Singh (2024);
Pyroxasulfone (Zidua®)	15 – Inibidor de VLCFA	Alta (88–96 %)	Alta seletividade; controla Brachiaria plantaginea, Amaranthus, Bidens; residual >45 dias.	Matte <i>et al.</i> , (2019); Ferrier <i>et al.</i> , (2022); Nedeljković <i>et al.</i> , (2025);
Trifluralina (Treflan®)	3 – Inibidor de microtúbulos	Moderada (70–85 %)	Controle de gramíneas e algumas folhas largas; necessita incorporação; seletividade adequada.	Procópio <i>et al.</i> , (2018); Kebede; Anbasa (2017); Embrapa (2019);
Metolachlor + Atrazina (Lumax® / Primextra®)	15 + 5 – VLCFA + PSII	Alta (90–97 %)	Mistura padrão pré-emergente; elevada eficiência e residual; amplamente validada em estudos nacionais.	Adegas <i>et al.</i> , (2017); Rodrigues; Almeida (2018); Iqbal <i>et al.</i> (2020);
Metolachlor + Bicyclopyrone + Atrazina (Acuron® internacional)	15 + 27 + 5	Muito alta (>95 %)	Controle completo de folhas largas e gramíneas resistentes; sem fitotoxicidade; exemplo de nova geração.	Knezevic <i>et al.</i> , (2020);

Acetochlor (Harness®)	15 – Inibidor de VLCFA	Alta (82– 90 %)	Boa seletividade; residual médio; recomendado para solos de textura média/argilosa.	Kebede; Anbasa (2017); Eason <i>et al.</i> , (2025);
Saflufenacil + Atrazina	14 + 5 – PPO + PSII	Alta (85– 94 %)	Sinergia comprovada; bom controle inicial de <i>Amaranthus palmeri</i> e <i>Bidens</i> ; ação de contato e residual curto.	Rizzardi <i>et al.</i> , (2020); Santos <i>et al.</i> (2024);

Para o trigo, trabalhos recentes evidenciam que pyroxasulfone, flufenacet e trifluralin proporcionam elevado controle de *Lolium multiflorum* e *Alopecurus myosuroides* em áreas com histórico de resistência a ACCase e ALS, com boa seletividade quando aplicados em pré-semeadura incorporada ou PRÉ (NAKKA *et al.*, 2019; TORRA *et al.*, 2021; FERRIER *et al.*, 2022; SYMINGTON *et al.*, 2022; CHEN *et al.*, 2024). Ensaios realizados no sul do Brasil mostraram que doses entre 100 e 150 g ha⁻¹ de pyroxasulfone e 240–300g ha⁻¹ de flufenacet suprimem acima de 80–85% o banco de sementes de *L. multiflorum*, reduzindo a competição inicial e garantindo incrementos de produtividade (ADEGAS *et al.*, 2017; ADEGAS *et al.*, 2022; PROCÓPIO *et al.*, 2024).

Em trigo (Tabela 3), pyroxasulfone, flufenacet e trifluralin também apresentam elevada segurança agrônômica quando aplicados em PRÉ (NAKKA *et al.*, 2019; CHEN *et al.*, 2024), mantendo boa seletividade em cultivares adaptadas a ambientes frios, com desempenho reforçado em sistemas sob estresse hídrico inicial devido à baixa volatilidade e boa estabilidade térmica dessas moléculas (HEAP, 2014; TORRA *et al.*, 2021; YANNICCARI *et al.*, 2022). Herbicidas pré-emergentes, como trifluralina, piroxasulfona e sulfosulfuron, utilizados isoladamente ou em mistura com outros ingredientes ativos, são amplamente empregados no manejo de plantas daninhas em sistemas de produção de trigo, com a escolha da combinação variando conforme a variedade cultivada e o espectro de infestantes presentes (NAKKA *et al.*, 2019).

Incrementos médios de produtividade entre 15 e 25% têm sido registrados em estudos internacionais e nacionais avaliando herbicidas pré-emergentes no trigo, especialmente em áreas com forte pressão de *Lolium multiflorum* e *Alopecurus myosuroides*, onde moléculas como pyroxasulfone, flufenacet e trifluralin apresentam desempenho superior ao de pós-emergentes em cenários de resistência (TORRA *et al.*, 2021; YANNICCARI *et al.*, 2022; FERRIER *et al.*, 2022). O trifluralin, quando incorporado adequadamente (2–4 cm), tem se mostrado altamente eficiente no manejo de gramíneas de inverno e dicotiledôneas de desenvolvimento inicial, apresentando boa seletividade para cultivares brasileiras, sobretudo em solos mais argilosos (ADEGAS *et al.*, 2017; PROCÓPIO *et al.*, 2024).

Além disso, estudos comparativos realizados no sul do Brasil demonstram que o desempenho de pyroxasulfone e flufenacet é mais robusto em sistemas de plantio direto com elevada palhada, devido à menor fotodegradação e à maior adsorção às partículas finas do solo. Em ambientes mais arenosos, o trifluralin permanece como uma das opções mais estáveis desde que bem incorporado, enquanto o pyroxasulfone pode demandar ajustes de dose para evitar deslocamento vertical após chuvas intensas no início da estação (RIZZARDI *et al.*, 2020; FERRIER *et al.*, 2022; SYMINGTON *et al.*, 2022).

De forma geral, dados nacionais e internacionais convergem ao demonstrar que pyroxasulfone, flufenacet e trifluralin constituem a base para o manejo PRÉ no trigo moderno, especialmente em regiões onde a resistência de *Lolium* e *Alopecurus* compromete a eficácia de herbicidas pós-emergentes. A escolha do ativo depende do histórico de resistência, tipo de solo, sistema de manejo (convencional ou plantio direto) e condições hídricas nos primeiros dias após a aplicação, reforçando a importância do posicionamento adequado e da integração de táticas culturais para maximizar a eficiência e manter a segurança agrônômica (HEAP, 2014; TORRA *et al.*, 2021; YANNICCARI *et al.*, 2022). A adoção de sistemas de plantio de trigo ultraprecoce tem se mostrado uma estratégia eficaz para aumentar a estabilidade produtiva e o rendimento de grãos nas Grandes Planícies do Norte do Canadá, em três locais entre 2017-2019 (COLLIER *et al.*, 2022). Entretanto, essa antecipação do plantio pode reduzir ou até eliminar as janelas tradicionais para o uso de herbicidas foliares aplicados antes da semeadura ou da emergência da cultura. Nesse contexto, o uso de herbicidas residuais aplicados no outono surge como alternativa essencial para manter oportunidades de controle de plantas daninhas no início do ciclo. Os resultados de Collier *et al.* (2022) evidenciam que programas de manejo de plantas daninhas em sistemas de trigo com plantio ultraprecoce podem incluir, de forma segura e eficiente, aplicações outonais de flumioxazina, piroxasulfona e da combinação flumioxazina + piroxasulfona, garantindo o controle das espécies que emergem na primavera subsequente.

TABELA 3. Herbicidas pré-emergentes utilizados na cultura do trigo (*Triticum aestivum*), destacando os ingredientes ativos (IA), seus mecanismos de ação segundo a classificação HRAC (*Herbicide Resistance Action Committee*).

Ingrediente ativo (IA) Exemplos de produtos	Mecanismo de ação (HRAC)	Eficiência	Resultados observados em trabalhos	Autores (ano)
Trifluralina (Treflan®)	3 – Inibidor de microtúbulos	Alta (85–90 %)	Controle de gramíneas e folhas estreitas; deve ser incorporado; baixa fitotoxicidade.	Nakka <i>et al.</i> , (2019); Chen <i>et al.</i> , (2024); Teixeira <i>et al.</i> , 2024; Scheer <i>et al.</i> , (2025)
Pendimethalin (Prowl H2O®)	3 – Inibidor de microtúbulos	Boa (80–88 %)	Efetivo em <i>Lolium rigidum</i> e <i>Raphanus spp.</i> ; seguro ao trigo; pode apresentar residual curto.	Galon <i>et al.</i> , (2023); Teixeira <i>et al.</i> , (2024);
Pyroxasulfone (Zidua®, Yamato®)	15 – Inibidor de VLCFA	Alta (90–96 %)	Excelente seletividade; residual prolongado (45–60 dias); controla gramíneas resistentes.	Nakka <i>et al.</i> , (2019); Teixeira <i>et al.</i> , (2024); Samota, (2024)
Isoxaflutole / Tembotrione (Callisto® / Laudis®)	27 – Inibidor de HPPD	Alta (85–93 %)	Alta eficácia sobre <i>Raphanus</i> , <i>Amaranthus</i> , <i>Lolium</i> ; usado em rotação de culturas; baixo <i>carryover</i> .	Matte <i>et al.</i> , (2023); Rorh, (2023); Teixeira <i>et al.</i> , (2024);
Flumioxazin (Valor®)	14 – Inibidor de PPO	Alta (82–90 %)	Controle de folhas largas (<i>Raphanus raphanistrum</i> , <i>Conyza spp.</i>); leve fitotoxicidade inicial; reduz fluxo de emergência.	Assunção <i>et al.</i> , (2017); Teixeira <i>et al.</i> , (2024);

Flufenacet + Metribuzin	15 + 5 – VLCFA + PSII	Alta (85–92 %)	Mistura usada na Austrália e Europa; potencial para resistência múltipla; seletividade boa ao trigo.	Knezevic, <i>et al.</i> (2020)
Metsulfuron-methyl (Ally®)	2 – Inibidor de ALS	Moderada (70–80 %)	Controle de folhas largas; eficiência variável; risco de resistência em populações de <i>Raphanus spp.</i>	Galon <i>et al.</i> , (2023);
Pyroxasulfone + Flumioxazin Misturas residuais	15 + 14 – VLCFA + PPO	Muito alta (>95 %)	Sinergia comprovada em ensaios brasileiros e australianos; excelente residual; baixa fitotoxicidade.	Matte <i>et al.</i> , 2023; Bordignon <i>et al.</i> , (2025)

Assim, a integração de plantio antecipado, densidades de semeadura otimizadas, cultivares competitivas e herbicidas residuais aplicados ao solo constitui um arranjo robusto dentro dos sistemas de trigo ultraprecoce, permitindo maximizar o rendimento, a estabilidade produtiva e a eficiência do manejo integrado de plantas daninhas. Mais uma vez reforçando a importância do MIPD.

No arroz irrigado, herbicidas como clomazone, oxadiazon e s-metolaclo-ro são amplamente eficazes no controle de *Echinochloa spp.*, *Cyperus difformis* e *Fimbristylis miliacea*, atuando tanto em sistemas pré-germinado quanto de semeadura em solo seco (MARCHESAN *et al.*, 2011; CHAUHAN, 2020). Estudos conduzidos na Ásia reforçam essa eficiência e mostram que a irrigação intermitente potencializa o residual desses produtos e reduz perdas ambientais (SHEKHAWAT *et al.*, 2022; BORDIGNON *et al.*, 2025). A seletividade de clomazone e oxadiazon depende da lâmina d'água e do solo: apresentam excelente segurança em Gleissolos argilosos do Sul do Brasil, enquanto em Argissolos da Índia e Tailândia o manejo hídrico é essencial para minimizar branqueamento e fitotoxicidade (CHAUHAN, 2020; SHEKHAWAT *et al.*, 2022; BORDIGNON *et al.*, 2025).

O uso de herbicidas pré-emergentes também tem crescido em culturas especiais como girassol, alho, feijão-caupi, canola e sorgo (AGHABEIGI; KHODADADI, 2017; JING *et al.*, 2025). No girassol, s-metolaclo-ro, sulfentrazone e flumioxazina apresentam bons resultados (BORDIGNON *et al.*, 2025); no alho, pyroxasulfone e sua mistura com flumioxazina destacam-se no Sul do Brasil (BORDIGNON *et al.*, 2025); e no feijão-caupi, misturas com flumioxazina, s-metolaclo-ro e sulfentrazone são promissoras (GAZOLA *et al.*, 2021). A canola segue responsiva a clomazone e trifluralina (HARKER *et al.*, 2008), enquanto no sorgo, a combinação com atrazina e s-metolaclo-ro segue eficiente (DAN *et al.*, 2010). Em amendoim, pendimethalin e diclosulam permanecem amplamente utilizados (GRICHAR *et al.*, 2004), e em mandioca, flumioxazina e sulfentrazone favorecem o estabelecimento da cultura (COSTA *et al.*, 2023).

No algodão, herbicidas como pendimethalin, trifluralin e diuron sustentam o manejo residual (YORK; CULPEPPER, 2004). Em café e citros, diuron, oxyfluorfen e indaziflam ampliam o controle de plantas daninhas (GONÇALVES NETTO *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2025). Na viticultura, flumioxazina e oryzalin se destacam pela segurança e residual (VARGAS; OLIVEIRA, 2002; BORDIGNON *et al.*, 2025). Em hortaliças, s-metolachlor e metribuzin são eficazes no tomate (GILREATH; SANTOS, 2004); pendimethalin e oxyfluorfen são essenciais na cebola (UYGUR *et al.*, 2010; BORDIGNON *et al.*, 2025); e s-metolachlor e pendimethalin têm mostrado resultados positivos na alface (BORDIGNON *et al.*, 2025).

Na macieira, estudos realizados em São Joaquim (SC) mostraram diferenças claras no residual dos herbicidas: indaziflan (Alion) foi o mais duradouro (≈ 120 dias), enquanto s-metolaclo (Dual Gold) apresentou menor persistência (≈ 45 dias). Pendimetalina, flumioxazina e piroxasulfona mantiveram eficiência por até 60 dias, enquanto piroxasulfona + flumioxazina, saflufenacil, metribuzin e linuron chegaram a cerca de 75 dias. Diuron alcançou aproximadamente 90 dias após a aplicação (SOUZA *et al.*, 2024). Metribuzin deve ser aplicado com cautela devido ao risco de fitotoxicidade. De modo geral, flumioxazina, s-metolaclo e piroxasulfona constituem a base do manejo residual. A flumioxazina é altamente eficaz sobre dicotiledôneas (SILVA *et al.*, 2019); o s-metolaclo se destaca no controle de gramíneas, embora seja mais móvel em solos arenosos (OLIVEIRA JUNIOR *et al.*, 2011; RIZZARDI *et al.*, 2020); e o piroxasulfona surge como molécula de nova geração, altamente eficiente em diferentes sistemas (BECKIE; HARKER, 2017; YU *et al.*, 2024).

Efeito residual e *Carryover* em sucessão de culturas

A questão da persistência de herbicidas pré-emergentes no solo, conhecida como efeito residual ou *carryover*, tornou-se um ponto de atenção fundamental para a sustentabilidade e a segurança agrônômica. Em sistemas de produção intensivos, onde culturas como soja, trigo, milho e aveia se sucedem em rotação, a presença de resíduos de herbicidas no solo é uma realidade preocupante. Mesmo quando não se observam sintomas visuais claros, esses resíduos podem afetar silenciosamente processos fisiológicos vitais das culturas seguintes, como o desenvolvimento das raízes e o metabolismo do nitrogênio, levando a perda de produtividade que são difíceis de diagnosticar no campo (RIZZARDI *et al.*, 2020; FONTES *et al.*, 2025).

A ciência tem demonstrado que as condições do solo e do clima são decisivas para a intensidade do *carryover*. Pesquisas realizadas no Brasil apontam que solos argilosos, com baixa atividade microbiana e que passam por períodos de seca, tendem a retardar a degradação de moléculas como diclosulam e sulfentrazone. Essa lentidão aumenta o risco de danos em culturas sensíveis plantadas na sequência (GAZOLA *et al.*, 2016; DALAZEN *et al.*, 2020). Estudos sobre a dinâmica de herbicidas no solo reforçam que a meia-vida de certas moléculas pode variar de 40 a mais de 120 dias, uma variação diretamente influenciada pela umidade, temperatura, textura e teor de matéria orgânica, fatores que governam tanto a degradação química quanto a atividade dos microrganismos (SOUZA *et al.*, 2018).

Observações de outras partes do mundo confirmam essa dinâmica. Herbicidas do grupo das cloroacetamidas, por exemplo, podem ter sua eficácia e persistência alteradas dependendo das condições ambientais, o que pode afetar culturas de cobertura ou cereais de inverno (SYMINGTON *et al.*, 2022). Investigações sobre os efeitos fisiológicos do *carryover* revelam impactos sutis, como redução no vigor das plântulas e no comprimento das raízes, mesmo sem a presença de sintomas visuais evidentes. Isso indica estresse metabólico que, embora invisível, está associado ao efeito residual dos herbicidas (WANG *et al.*, 2018; PARVEN *et al.*, 2025).

A mobilidade de cada molécula no perfil do solo é outro aspecto crítico. Herbicidas com maior afinidade pela matéria orgânica, como a flumioxazina, tendem a permanecer mais na superfície, apresentando menor risco de lixiviação (GARCIA *et al.*, 2024). Por outro lado, compostos mais solúveis em água podem se deslocar mais facilmente para camadas mais profundas do solo, especialmente em solos arenosos

e sob chuvas fortes, o que aumenta o potencial de danos em cultivos subsequentes (SOUSA *et al.*, 2018).

Diante desse cenário complexo, a comunidade científica recomenda que a avaliação do *carryover* vá além dos sintomas visíveis. É importante considerar também indicadores fisiológicos mais sensíveis, como alterações no vigor, no acúmulo de biomassa inicial e no metabolismo antioxidante da planta. Esses parâmetros podem detectar o estresse causado por resíduos de herbicidas mesmo em concentrações muito baixas (YU *et al.*, 2024; PARVEN *et al.*, 2025). Tais efeitos fisiológicos ajudam a explicar as pequenas, mas consistentes, quedas de rendimento observadas em culturas como milho e feijão quando sucedem a soja tratada com certos herbicidas pré-emergentes (GALON *et al.*, 2018; FONTES *et al.*, 2025). Para os agricultores, a recomendação é clara: É preciso um planejamento cuidadoso. Avaliar o histórico de uso de herbicidas, conhecer as características do solo, respeitar os intervalos de segurança e entender o potencial de acúmulo de cada produto são passos essenciais antes de plantar uma cultura sensível. Práticas como a rotação de herbicidas com diferentes mecanismos de ação, o aumento da matéria orgânica no solo e a manutenção da palhada no sistema de plantio direto são aliadas importantes, pois favorecem a atividade microbiana que degrada os herbicidas, reduzindo o risco de *carryover* (GALON *et al.*, 2017; FONTES *et al.*, 2025). Dessa forma, o manejo consciente do efeito residual se torna parte integrante da sustentabilidade do sistema produtivo, assegurando que a eficiência no controle de plantas daninhas não comprometa a produtividade das lavouras no futuro.

Resistência de Plantas Daninhas e Estratégias de Manejo

A resistência de plantas daninhas a herbicidas é um processo evolutivo acelerado pelo uso repetitivo de produtos com o mesmo mecanismo de ação (CHRISTOFFOLETI; NICOLAI, 2016). As plantas podem sobreviver por meio de alterações no sítio de ação, aumento da detoxificação ou sequestro do herbicida (HEAP, 2014; OFOSU *et al.*, 2023). No Brasil, os primeiros casos envolveram resistência a ALS e, posteriormente, à buva e ao capim-amargoso resistentes ao glifosato (AGOSTINETTO *et al.*, 2017; ALBRECHT *et al.*, 2020). A resistência múltipla, especialmente em *Amaranthus*, tornou o manejo ainda mais desafiador (GONÇALVES NETTO *et al.*, 2016; BRAZ; TAKANO, 2022).

Mais recentemente, surgiram casos envolvendo herbicidas pré-emergentes, como S-metolachlor e pyroxasulfone, geralmente associados a resistência metabólica (CHEN *et al.*, 2022; TORRA *et al.*, 2022). Espécies como *Amaranthus* spp. E *Digitaria insularis* seguem como as mais problemáticas (OLIVEIRA *et al.*, 2006; HEAP, 2014). Apesar disso, os herbicidas residuais continuam essenciais para reduzir o banco de sementes e diminuir a pressão de seleção (RIZZARDI *et al.*, 2020). O grupo 15 (ex.:S-metolachlor e pyroxasulfone) tem sido importante em áreas com resistência múltipla, embora também sujeito à seleção de resistência metabólica (KERR *et al.*, 2023; YU *et al.*, 2024).

As evidências indicam que o uso contínuo de um único mecanismo de ação favorece biótipos com metabolismo acelerado via citocromo P450, tendência já observada em populações resistentes de capim-amargoso e buva no Brasil (HULME;LIU, 2022; YU *et al.*, 2024; PROCÓPIO *et al.*, 2024; FONTES *et al.*, 2025). Para enfrentar esse cenário, recomenda-se a diversificação de táticas, incluindo rotação e misturas de mecanismos de ação, além de práticas culturais como rotação de culturas e uso de plantas de cobertura (BECKIE; HARKER, 2017). Ambientes com

alta palhada e maior matéria orgânica reduzem a emergência e a pressão de seleção (GAZOLA *et al.*, 2021; PARVEN *et al.*, 2025).

O manejo da resistência exige uma abordagem integrada. Herbicidas pré-emergentes seguem fundamentais, mas o sucesso depende de posicionamento técnico, rotação planejada e práticas que ampliem a resiliência do sistema produtivo (BECKIE; HARKER, 2017; FONTES *et al.*, 2025).

Fatores agronômicos e ambientais que influenciam a eficiência dos herbicidas pré-emergentes

A eficácia dos herbicidas pré-emergentes (PRÉ) é determinada pela interação entre propriedades edáficas, condições ambientais e práticas de manejo, fatores que modulam a biodisponibilidade, mobilidade e persistência dos ingredientes ativos na zona de germinação (OLIVEIRA JUNIOR *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2023). Assim, o desempenho agrônômico dos PRÉ não depende apenas das características intrínsecas das moléculas, mas do ambiente físico-químico em que são posicionadas, envolvendo textura, matéria orgânica, pH, umidade, temperatura e o sistema de manejo adotado (RODRIGUES; ALMEIDA, 2018; BECKIE; HARKER, 2017; RIZZARDI *et al.*, 2020).

A textura do solo exerce papel central por regular adsorção, mobilidade e residual dos herbicidas. Solos argilosos, pela maior superfície específica, tendem a reter maior proporção de ingredientes ativos hidrofóbicos, como pendimethalin, flumioxazina e oxadiazon, reduzindo a fração biodisponível para atingir o banco de sementes (RODRIGUES; ALMEIDA, 2018) demonstraram que a elevação do teor de argila reduz significativamente a disponibilidade de sulfentrazone, requerendo ajustes de dose em ambientes com maior capacidade de adsorção. De forma complementar, estudos com pyroxasulfone indicam que solos argilosos prolongam o residual, enquanto solos arenosos favorecem lixiviação vertical, exigindo doses reduzidas e atenção à ativação hídrica (RIZZARDI *et al.*, 2020; FONTES *et al.*, 2025).

A chuva pós-aplicação é determinante para a ativação dos PRÉ. Precipitações leves a moderadas nos primeiros dias após a aplicação aumentam a translocação do herbicida para a zona de germinação, enquanto chuvas excessivas podem causar deslocamento vertical, reduzindo o controle e comprometendo a seletividade (MARCHESAN *et al.*, 2011; CHAUHAN, 2020). Esses efeitos explicam a variabilidade agrônômica frequentemente observada mesmo em áreas com histórico de bom desempenho de PRÉ.

A temperatura do solo também modula a degradação e o tempo residual das moléculas. Temperaturas mais baixas retardam a biodegradação e podem ampliar o risco de *carryover*, enquanto temperaturas elevadas aceleram a atividade microbiana e reduzem a persistência, especialmente em ambientes tropicais (PARVEN *et al.*, 2025). Em ambientes quentes e úmidos, reduções de residual já foram observadas para flumioxazina, metribuzin e s-metolachlor (RIZZARDI *et al.*, 2020; FONTES *et al.*, 2025).

O sistema de manejo do solo acrescenta outra camada de complexidade. No plantio direto, a palhada intercepta parte da calda, porém favorece um microambiente mais úmido e estável, prolongando a permanência das moléculas ativas (BECKIE *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2024). Ensaios brasileiros demonstraram que a palhada retarda a degradação química de s-metolachlor e flumioxazina, permitindo controle mais prolongado de fluxos escalonados de *Digitaria insularis* (RONCATTO *et al.*, 2023). O pH também influencia o comportamento dos PRÉ: herbicidas ácidos fracos

(diclosulam, imazetapir) tornam-se mais móveis em pH elevado, enquanto moléculas hidrofóbicas como pendimethalin e oxadiazon são mais sensíveis à textura e à matéria orgânica do que ao pH (RODRIGUES; ALMEIDA, 2018).

A formulação exerce efeito direto sobre volatilidade, difusão e liberação no solo. Formulações microencapsuladas ou em suspensão concentrada tendem a fornecer liberação mais gradual e estável, enquanto formulações emulsionáveis dependem mais da umidade para estabilização e ativação (VENCILL *et al.*, 2012). Misturas residuais, como s-metolachlor + flumioxazina ou sulfentrazone + imazetapir, apresentam residual prolongado e maior amplitude de controle (RONCATTO *et al.*, 2023; FONTES *et al.*, 2025).

Do ponto de vista ambiental, moléculas como pendimethalin, oxadiazon e pyroxasulfone apresentam baixa solubilidade e alta adsorção, reduzindo o risco de lixiviação, mas aumentando a persistência superficial após aplicações sucessivas (KNISS *et al.*, 2022; BRUNETTO *et al.*, 2023). Estudos recentes também mostram que exposições subletais podem afetar a microbiota do solo e organismos não alvo, como polinizadores e macroinvertebrados, indicando a necessidade de uso responsável (PARVEN *et al.*, 2025). Alterações fisiológicas discretas, como redução da biomassa microbiana ou mudanças metabólicas cumulativas, podem influenciar processos ecológicos essenciais (TAIZ *et al.*, 2017).

O desempenho dos herbicidas pré-emergentes depende da convergência entre propriedades químicas, condições ambientais, formulações modernas e práticas de manejo. A integração desses fatores, somada ao avanço tecnológico e às práticas conservacionistas, é essencial para garantir eficiência, seletividade e sustentabilidade do uso de PRÉ em sistemas tropicais (SILVA *et al.*, 2023; PARVEN *et al.*, 2025).

Integração ao Manejo Integrado de Plantas Daninhas (MIPD)

O Manejo Integrado de Plantas Daninhas (MIPD) reúne práticas culturais, biológicas, mecânicas e químicas para um controle sustentável, reduzindo a pressão de seleção e retardando a resistência aos herbicidas (BRIGHENTI; OLIVEIRA, 2011; HEAP, 2014; BECKIE; HARKER, 2017; LODDO *et al.*, 2021). A dependência exclusiva de herbicidas tem levado às perdas produtivas e ao aumento de casos de resistência (OERKE, 2006; CHAUHAN, 2020). Nesse cenário, herbicidas pré-emergentes tornaram-se fundamentais por controlarem os primeiros fluxos de plantas daninhas, diminuindo a competição inicial e a necessidade de aplicações pós-emergentes (RIZZARDI *et al.*, 2020; GAZOLA *et al.*, 2021). A combinação de mecanismos de ação em pré-emergência melhora o controle de espécies difíceis, como *Amaranthus hybridus* (BRUNETTO *et al.*, 2023).

As práticas culturais, como rotação de culturas, espaçamento adequado e plantas de cobertura, alteram o ambiente e reduzem a emergência de plantas daninhas, especialmente espécies como *Amaranthus spp.* e *Conyza spp.* (OLIVEIRA *et al.*, 2006; TIMOSSI *et al.*, 2018; BECKIE *et al.*, 2020). A palhada e a chuva influenciam a eficácia dos herbicidas residuais, exigindo planejamento cuidadoso (GARCIA *et al.*, 2024). O controle mecânico contribui para reduzir escapes e o banco de sementes, sendo complementar ao químico (BECKIE; HARKER, 2017). A rotação e mistura de mecanismos de ação, recomendadas pelo HRAC-BR, são essenciais para lidar com populações resistentes (CARVALHO *et al.*, 2019; BRAZ; TAKANO, 2022).

A agricultura de precisão amplia a eficiência do MIPD ao permitir aplicações localizadas, sensoriamento remoto, mapas de infestação e taxa variável, resultando em menor uso de insumos e maior precisão no manejo (SHEKHAWAT *et al.*, 2022; KNISS *et al.*, 2022). Aliado a isso, a gestão ambiental, incluindo redução de deriva, respeito às áreas de proteção e prevenção de *carryover* são indispensáveis para minimizar impactos e evitar fitotoxicidade em culturas sucessoras (PARVEN *et al.*, 2025; FONTES *et al.*, 2025).

A integração de práticas tem mostrado resultados consistentes, como o uso conjunto de pré-emergentes e plantas de cobertura para controlar *Amaranthus hybridus* (BRUNETTO *et al.*, 2023), e a associação de diferentes mecanismos de ação seletivos em culturas como trigo e cevada (KARPINSKI *et al.*, 2018). No Brasil, a expansão de *Amaranthus palmeri* e de biótipos resistentes evidenciou a urgência do manejo integrado (GONÇALVES NETTO *et al.*, 2022; GAZZIERO *et al.*, 2023; HOLKEM *et al.*, 2022). Situação semelhante ocorre em outros países da América do Sul, onde espécies como *Lolium spp.* apresentam resistência crescente (CHEN *et al.*, 2022). O MIPD é a abordagem mais eficiente e sustentável para os sistemas agrícolas atuais. A integração de herbicidas pré-emergentes, práticas culturais, controle mecânico e tecnologias de precisão reduz a pressão de seleção, preserva a eficácia das moléculas e garante produtividade e rentabilidade a longo prazo (BECKIE; HARKER, 2017; PROCÓPIO *et al.*, 2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta revisão mostram que os herbicidas pré-emergentes (PRÉ) são fundamentais no manejo moderno de plantas daninhas, garantindo competitividade, estabilidade e sustentabilidade aos sistemas agrícolas. Moléculas consolidadas, como flumioxazina, sulfentrazone, S-metolaclo e diclosulam, seguem altamente eficientes nos fluxos iniciais de emergência, enquanto ativos mais recentes como pyroxasulfone e misturas pré-formuladas que ampliam o espectro de controle e aumentam a previsibilidade agrônômica em diferentes condições de solo e clima. Os estudos indicam que os PRÉ reduzem o banco de sementes, prolongam o período sem interferência e diminuem a dependência de aplicações pós-emergentes, alcançando controles de 80 a 97% e incrementos produtivos entre 6 e 22% em culturas como soja, milho e trigo. Contudo, eficiência e seletividade variam conforme textura do solo, umidade, temperatura, formulação e quantidade de palhada, com desempenho superior em sistemas de plantio direto. A literatura recente alerta para resistências crescentes a dinitroanilinas, inibidores da PPO e VLCFA, reforçando a importância de rotacionar mecanismos de ação e integrar PRÉ a práticas como rotação de culturas e uso de plantas de cobertura. Também se destaca o papel do efeito residual e do *carryover*, já que compostos como S-metolaclo, diclosulam e pyroxasulfone podem persistir por semanas ou meses, afetando culturas subsequentes, especialmente em solos argilosos ou com baixa atividade microbiana. As perspectivas incluem formulações mais seletivas e sustentáveis, como liberação controlada, encapsulamentos, nanotecnologia e integração com agricultura de precisão. Programas de agricultura de baixo carbono e bioinsumos fortalecem essa transição. Assim, o uso racional e tecnicamente embasado dos PRÉ é decisivo para reduzir a resistência, aumentar a produtividade e promover sistemas agrícolas mais eficientes e alinhados às demandas de conservação do solo e dos recursos naturais.

REFERÊNCIAS

- ABDULSALAM, M. M.; BALOGUN, O. S. Efficiency of Atrazine + 2,4-D or Paraforce in pre-emergent weed control of selected early-maturing maize varieties (*Zea mays*). **Advances in Weed Science**, v. 42, e020240017, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2024;42:00017>. doi: 10.51694/AdvWeedSci/2024;42:00017.
- ADEGAS, F. S.; CORREIA, N. M.; SILVA, A. F.; CONCENÇO, G.; GAZZIERO, D. L. P.; DALAZEN, G. Glyphosate-resistant (GR) soybean and corn in Brazil: past, present, and future. **Advances in Weed Science**, v. 40, Special Issue 1, p. e0202200102, 2022. DOI: <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2022;40:seventy-five004>.
- ADEGAS, F. S.; VARGAS, L.; GAZZIERO, D. L. P.; KARAM, D. **Impacto econômico da resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 11 p. (Circular, 132). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1077755/1/CircularTecnica132.pdf>.
- AGHABEIGI, M.; KHODADADI, M. Evaluation some of herbicides for weed control of garlic (*Allium sativum*) in Iran. **Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology**, v. 11, n. 12, p. 36–40, 2017. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.9790/2402-1112023640>. doi: 10.9790/2402-1112023640.
- AGOSTINETTO, D.; SILVA, D. R. O.; VARGAS, L. Soybean yield loss and economic thresholds due to glyphosate-resistant hairy fleabane interference. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 84, p. 1–8, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1808-1657000742015>. doi: 10.1590/1808-1657000742015.
- AGROFIT – Sistema de agrotóxicos fitossanitários. Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). **Consulta aberta de produtos fitossanitários**. 2023. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 20 out. 2023.
- ALBRECHT, A. J. P.; ALBRECHT, L. P.; SILVA, A. F. M.; RAMOS, R. A.; ZENY, E. P.; *et al.* Efficacy of imazapic/imazapyr and other herbicides in mixtures for the control of *Digitaria insularis* prior to soybean sowing. **Agronomía Colombiana**, v. 38, p. 350–356, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v38n3.83046>. doi: 10.15446/agron.colomb.v38n3.83046.
- ARSENIJEVIC, N.; DE AVELLAR, M.; BUTTS, L.; ARNESON, N. J.; WERLE, R. Influence of sulfentrazone and metribuzin applied preemergence on soybean development and yield. **Weed Technology**, v. 35, n. 2, p. 210–215, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/wet.2020.99>. doi: 10.1017/wet.2020.99.
- ASSUNÇÃO, N. S.; GARCIA, H. A.; SANTOS, L. P. D.; DIAS, R. C.; MELO, C. A. D.; FERNANDES, F. L.; R., M. R. Seletividade do flumioxazin ao trigo. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n. 2, p. 122–129, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.7824/rbh.v16i2.514>. doi: 10.7824/rbh.v16i2.514.

BECKIE, H. J.; ASHWORTH, M. B.; FLOWER, K. C.; PEREG, L.; BARTLE, J.; *et al.* Farming without glyphosate? **Plants**, v. 9, n. 1, p. 96, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants9010096>. doi: 10.3390/plants9010096.

BECKIE, H. J.; FLOWER, K. C.; ASHWORTH, M. B.; HARKER, K. N.; HALL, L. M.; *et al.* Herbicide-resistant weeds: lessons learned and challenges ahead. **Pest Management Science**, v. 75, n. 11, p. 2737–2746, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.5480>. doi: 10.1002/ps.5480.

BECKIE, H. J.; HARKER, K. N. Our top 10 herbicide-resistant weed management practices. **Pest Management Science**, Chichester, v. 73, n. 6, p. 1045-1052, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.4543>. doi: 10.1002/ps.4543.

BORDIGNON, L.; DALMAS, A. D.; SOUZA, J. F.; PAZINATO, R.; OLIVEIRA NETO, A. M. de; *et al.* Weed control efficiency and selectivity of pre-emergent herbicides for garlic crop. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 41, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/BJ-v41n0a2025-76881>. doi: 10.14393/BJ-v41n0a2025-76881.

BRANKOV, M.; SIMIĆ, M.; DRAGIČEVIĆ, V. The influence of maize–winter wheat rotation and pre-emergence herbicides on weeds and maize productivity. **Crop Protection**, v. 143, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105558>. doi: 10.1016/j.cropro.2021.105558.

BRAZ, G. B. P.; TAKANO, H. K. Chemical control of multiple herbicide-resistant *Amaranthus*: A review. **Advances in Weed Science**, Botucatu, v. 40, ed. especial 2, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2022;40:Amaranthus009>. doi: 10.51694/AdvWeedSci/2022;40:Amaranthus009.

BRIGHENTI, A. M.; OLIVEIRA, M. F. de. Biologia de plantas daninhas. In: OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. p. 1-36. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/904874>.

BRUNETTO, L.; GALON, L.; SILVA, A. M. L. da; CAVALETTI, D. C.; WALL, R. H.; *et al.* Manejo químico de caruru-roxo (*Amaranthus hybridus*) com herbicidas aplicados em pré e pós-emergência. **Weed Control Journal**, v. 22, p. e202300790, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.7824/wcj.2023;22:00790>. doi: 10.7824/wcj.2023;22:00790.

CARMO, M. S.; SILVEIRA, I. N. da; ALMEIDA, D. R.; JARDIM, R. S. M.; DAMIN, V. Effectiveness of the S-metolachlor herbicide in the control of *Urochloa decumbens* in Brazilian Savanna soils. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 53, e76359, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-4063.pat.e76359>. doi: 10.1590/1983-4063.pat.e76359.

CARVALHO, S. J. P.; ROSSI, C. V. S.; MELO, M. S. C.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; KAGI, F. Y. Modifications on labels and leaflets of herbicides for preventing and managing resistance. **Planta Daninha**, v. 37, e019221645, 2019. Disponível em:

<https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100149>. doi: 10.1590/S0100-83582019370100149.

CHAUHAN, B. S. Grand challenges in weed management. **Frontiers in Agronomy**, v. 1, 3, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fagro.2019.00003>. doi: 10.3389/fagro.2019.00003.

CHEN, G.; AN, K.; CHEN, Y.; LIU, Y. Double-spraying with different routes significantly improved the performance of both pre- and post-emergence wheat herbicides applied by unmanned aerial spraying systems. **Crop Protection**, v. 176, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106508>. doi: 10.1016/j.cropro.2023.106508.

CHEN, J.; YU, Q.; OWEN, M.; HAN, H.; PATTERSON, E.; SAYER, C.; *et al.* Target-site resistance to trifluralin is more prevalent in annual ryegrass populations from Western Australia. **Pest Management Science**, v. 78, n. 3, p. 1206–1212, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.6737>. doi: 10.1002/ps.6737.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; NICOLAI, M. **Estratégias modernas de manejo de plantas daninhas**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2016. 42 p.

COLLIER, G. R. S.; SPANER, D. M.; HALL, L. M.; GRAF, R. J.; BERES, B. L.; *et al.* Fall-applied residual herbicides improve broadleaf weed management in ultra-early wheat (*Triticum aestivum* L.) production systems on the northern Great Plains. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 102, n. 3, p. 1, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/cjps-2022-0036>. doi: 10.1139/cjps-2022-0036.

COSTA, N. V.; SANTOS, F. M. S.; SOUZA, L. A. de; SILVA, L. G.; SILVA, L. G. Selectivity and efficacy of PROTOX inhibitors in cassava varieties cultivated in clayey and sandy soils. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 45, e57135, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v45i1.57135>. doi: 10.4025/actasciagron.v45i1.57135.

COTRISOJA. **Relatório Técnico Anual da Rede Técnica Cooperativa (RTC/CCGL): desempenho de herbicidas pré-emergentes na cultura da soja**. Santo Ângelo, 2025. Disponível em: <https://www.cotrisoja.com.br>.

DALAZEN, G. E.; KASPARY, T.; MARKUS, C.; PISONI, A.; MEROTTO, A., Jr. Soybean tolerance to sulfentrazone and diclosulam in sandy soil. **Planta Daninha**, v. 38, e020225717, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582020380100081>. doi: 10.1590/S0100-83582020380100081.

DAN, H. A.; DAN, L. G. M.; BARROSO, A. L. L.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J. Tolerância do sorgo granífero ao herbicida tembotrione. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 615-620, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000300019>. doi: 10.1590/S0100-83582010000300019.

DAYAN, F. E. Current status and future prospects in herbicide discovery. **Plants**, v. 8, p. 341, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants8090341>. doi: 10.3390/plants8090341.

DAYAN, F. E.; DUKE, S. O. Natural compounds as next-generation herbicides. **Plant Physiology**, v. 166, n. 3, p. 1090–1105, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.114.239061>. doi: 10.1104/pp.114.239061.

EASON, K. M.; GREY, T. L.; CULPEPPER, A. S.; COOLONG, T.; BASINGER, N. T. Quantifying herbicide mass in the transplant hole as it moves from the surface of the plasticulture mulch. **Weed Science**, v. 73, p. 1, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/wsc.2025.17>. doi: 10.1017/wsc.2025.17.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Soja em números (safra 2024/25)**. 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>.

EMBRAPA. **Tópicos sobre manejo e seletividade de herbicidas pré-emergentes**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2019.

FERRIER, J. L.; GOETZ, A. W.; JOHNSON, W. G.; YU, J.; YOUNG, B. G.; *et al.* Biologically effective dose of flumioxazin and pyroxasulfone for control of multiple herbicide-resistant waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) in soybean. **Weed Science**, v. 70, n. 2, p. 243–251, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/wsc.2022.3>. doi: 10.1017/wsc.2022.3.

FONTES, J. R. A.; ATROCH, A. L.; MORAIS, R. R. de. Carryover de herbicidas aplicados em pré-emergência em solo com textura franco argiloso arenosa. **Research, Society and Development**, v. 14, n. 10, e01141049610, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v14i10.49610>. doi: 10.33448/rsd-v14i10.49610.

GALON, L.; CASTOLDI, C. T.; FORTE, C. T.; DAVID, F. A.; PERIN, G. F.; RADUNZ, A. L. Weed management in beans using subdoses of Fluazifop-P-Butyl + Fomesafen. **Planta Daninha**, v. 36, e018174070, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582018360100054>. doi: 10.1590/S0100-83582018360100054.

GALON, L.; FORTE, C. T.; PERIN, G. F.; FERREIRA, E. A.; RADÜNZ, A. L. Manejo químico de plantas daninhas na cultura do trigo. **Brazilian Journal of Science**, v. 2, p. 1–22, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/bjs.v2i8.344>. doi: 10.14295/bjs.v2i8.344.

GALON, L.; NONEMACHER, F.; AGAZZI, L. R.; FIABANE, R. C.; FORTE, C. T.; FRANCESCHETTI, M. B.; *et al.* Fitorremediação de solo contaminado com herbicidas inibidores de FSII e de ALS. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n. 4, p. 307–324, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.7824/rbh.v16i4.586>. doi: 10.7824/rbh.v16i4.586.

GARCIA, V. V.; SILVA, M. A. A.; DALAZEN, G. Effect of straw and rainfall on *Amaranthus hybridus* control with Imazethapyr + Flumioxazin. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 45, n. 5, p. 1579–1592, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2024v45n5p1579>. doi: 10.5433/1679-0359.2024v45n5p1579.

GAZOLA, T.; DIAS, M. F.; BELAPART, D.; CASTRO, E. B.; BIANCHI, L. Efeitos do diclosulam na soja cultivada em solos de diferentes classes texturais. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n. 4, p. 353-361, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.7824/rbh.v15i4.483>. doi: 10.7824/rbh.v15i4.483.

GAZOLA, T.; GOMES, D. M.; BELAPART, D.; DIAS, M. F.; CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D. Selectivity and residual weed control of pre-emergent herbicides in soybean crop. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 68, n. 3, p. 219–229, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737X202168030008>. doi: 10.1590/0034-737X202168030008.

GAZZIERO, D. L. P.; SILVA, A. F.; SILVEIRA, O. R.; DUKE, S. O.; CERDEIRA, L. C. Introduction and management of *Amaranthus palmeri* in Brazil. **Advances in Weed Science**, v. 41, e020220076, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2023;41:00010>. doi: 10.51694/AdvWeedSci/2023;41:00010.

GHARDE, Y.; SINGH, P. K.; GUPTA, P. K. Assessment of crop yield and economic losses due to weeds in agriculture. **Crop Protection**, v. 107, p. 12–18, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.01.007>. doi: 10.1016/j.cropro.2018.01.007.

GILREATH, J. P.; SANTOS, B. M. Efficacy of Methyl Bromide Alternatives on Purple Nutsedge (*Cyperus rotundus*) Control in Tomato and Pepper. **Weed Technology**, Lawrence, v. 18, n. 4, p. 972-977, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1614/WT-03-086R2>. doi: 10.1614/WT-03-086R2.

GONÇALVES NETTO, A.; CORDEIRO, E. M. G.; NICOLAI, M.; SILVA, M. R. da; SILVA, M. R. da. Effectiveness and selectivity of herbicides applied under pre-emergence conditions in weed management for coffee crop. **Coffee Science**, Lavras, v. 16, p. 1-11, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.25186/cs.v16i.1963>. doi: 10.25186/cs.v16i.1963.

GONÇALVES NETTO, A.; NICOLAI, M.; CARVALHO, S. J. P.; BORGATO, E. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Multiple resistance of *Amaranthus palmeri* to ALS and EPSPS inhibiting herbicides in the state of Mato Grosso, Brazil. **Planta Daninha**, v. 34, p. 581-587, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582016340300019>. doi: 10.1590/S0100-83582016340300019.

GONÇALVES NETTO, A.; NICOLAI, M.; CARVALHO, S. J. P.; MALARDO, M. R.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; *et al.* Control of ALS- and EPSPS-resistant *Amaranthus palmeri* by alternative herbicides applied in pre- and post-emergence. **Planta**

Daninha, v. 37, e019212505, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100109>. doi: 10.1590/S0100-83582019370100109.

GONÇALVES NETTO, A.; RESENDE, L. S.; MALARDO, M. R.; PRESOTO, J. C.; ANDRADE, J. F.; NICOLAI, M.; *et al.* Geographical distribution and resistance level to chlorimuron of *Amaranthus* spp. populations in the main soybean producing regions of Brazil. **Advances in Weed Science**, v. 40, e020220063, 2022.

GRICHAR, W. J.; BESSLER, B. A.; BREWER, K. D. Effect of row spacing and herbicide dose on weed control and grain sorghum (*Sorghum bicolor*) yield. **Crop Protection**, Oxford, v. 23, n. 3, p. 269-273, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2003.08.007>. doi: 10.1016/j.cropro.2003.08.007.

HARKER, K. N.; O'DONOVAN, J. T.; CLAYTON, G. W.; MAYKO, J. Field-Scale Time of Weed Removal in Canola. **Weed Technology**, Lawrence, v. 22, n. 4, p. 747-750, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1614/WT-08-019.1>. doi: 10.1614/WT-08-019.1.

HEAP, I. Global perspective of herbicide-resistant weeds. **Pest Management Science**, Malden, MA, v. 70, n. 9, p. 1306–1315, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.3696>. doi: 10.1002/ps.3696.

HEAP, I. **International Survey of Herbicide Resistant Weeds**. 2020. Disponível em: <http://www.weedscience.org>.

HEAP, I. **International Survey of Herbicide Resistant Weeds**. 2024. Disponível em: <https://www.weedscience.org>.

HEAP, I.; DUKE, S. O. Overview of glyphosate-resistant weeds worldwide. **Pest Management Science**, Malden, MA, v. 74, n. 5, p. 1040–1049, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.4760>. doi: 10.1002/ps.4760.

HOLKEM, A. S.; SILVA, A. L.; BIANCHI, M. A.; CORASSA, G.; FONTANA, L. C.; *et al.* Weed management in Roundup Ready® corn and soybean in Southern Brazil: survey of consultants' perception. **Advances in Weed Science**, Viçosa, v. 40, e020220023, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aws/a/gvH3sMLMWGVb9JtZYZVPHCK/?format=html&lang=en>. doi: 10.51694/AdvWeedSci/2022;40:00023. Acesso em: 23 nov. 2025.

HULME, P. E.; LIU, W. Species prevalence and plant traits discriminate between herbicide resistant and susceptible weeds. **Pest Management Science**, v. 78, n. 1, p. 313–320, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.6636>. doi: 10.1002/ps.6636.

HUSSAIN, A.; KHAKWANI, A. A.; TANVEER, A.; KHAN, E. A.; BALOCH, M. S. Optimizing efficacy of acetochlor + atrazine and dicamba at various doses to manage *Conyza stricta* L. in sugarcane. **Planta Daninha**, v. 38, p. e020220829, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582020380100080>. doi: 10.1590/S0100-83582020380100080.

IQBAL, S.; TAHIR, S.; DASS, A.; BHAT, M. A.; RASHID, Z. Bio-efficacy of pre-emergent herbicides for weed control in maize: a review on weed dynamics evaluation. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 42, n. 8, p. 13–23, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.9734/jeai/2020/v42i830565>. doi: 10.9734/jeai/2020/v42i830565.

JAREMTCHUK, C. C.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA Jr, R. S.; ALONSO, D. G.; ARANTES, J. G. Z.; BIFFE, D. F.; CAVALIERI, S. D. Residual effect of flumioxazin on weed emergence in soils of distinct textures. **Planta Daninha**, v. 27, p. 191-196, 2009.

JING, C.; WANG, J.; WU, Y.; ZHOU, Y.; ZHU, H.; *et al.* The effect of weed control with pre-emergence herbicides on the yield level of mung bean yield. **Plants**, v. 14, n. 2, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants14020275>. doi: 10.3390/plants14020275.

KARPINSKI, R. A. K.; SILVA, A. A. P.; LAMEGO, F. P.; GALON, L.; FERREIRA, L. R.; *et al.* Selectivity of iodosulfuron-methyl association with ACCase inhibitors and 2,4-D in wheat and barley crops. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 36, e018175001, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/WDXvrvXMjVwGXCVvy3RPbgp/?lang=en>. doi: 10.1590/S0100-83582018360100001. Acesso em: 23 nov. 2025.

KEBEDE, M.; ANBASA, F. Efficacy of pre-emergence herbicides for the control of major weeds in maize (*Zea mays* L.) at Bako, Western Oromia, Ethiopia. **American Journal of Agriculture and Forestry**, v. 5, n. 5, p. 173–180, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.11648/j.ajaf.20170505.15>. doi: 10.11648/j.ajaf.20170505.15.

KERR, D. R.; CONCEPCION, J. C. T.; RIECHERS, D. E. Inheritance of resistance to S-metolachlor in a waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) population from central Illinois. **Weed Science**, Cambridge, v. 71, n. 6, p. 549–556, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/wsc.2023.63>. doi: 10.1017/wsc.2023.63.

KNEZEVIC, S. Z.; KLEIN, R. N.; OGG, C. L.; CREECH, C. E.; KRUGER, G. R.; *et al.* Weed management. In: KNEZEVIC, S. Z. (ed.). **2020 guide for weed, disease, and insect management in Nebraska**. Lincoln: University of Nebraska, p.7–252, 2020.

KNISS, A. R. Genetically engineered herbicide-resistant crops and herbicide-resistant weed evolution in the United States. **Weed Science**, v. 66, n. 2, p. 260–273, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/wsc.2017.70>. doi: 10.1017/wsc.2017.70.

KNISS, A. R.; MOSQUEDA, E. G.; LAWRENCE, N. C.; ADJESIWOR, A. T. The cost of implementing effective herbicide mixtures for resistance management. **Advances in Weed Science**, Botucatu, v. 40, ed. especial 1, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2022;40:seventy-five007>. doi: 10.51694/AdvWeedSci/2022;40:seventy-five007.

KRAEHMER, H.; VAN ALMSICK, A.; BEFFA, R.; DIETRICH, H.; ECKES, P.; *et al.* Herbicides as weed control agents: state of the art: II. Recent achievements. **Plant Physiology**, v. 166, n. 3, p. 1132–1148, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.114.241992>. doi: 10.1104/pp.114.241992.

LIU, Y.; FAN, X.; ZHANG, T.; HE, W.; SONG, F. Effects of the long-term application of atrazine on soil enzyme activity and bacterial community structure in farmlands in China. **Environmental Pollution**, v. 262, 114264, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114264>. doi: 10.1016/j.envpol.2020.114264.

LODDO, D.; MCELROY, J. S.; GIANNINI, V. Problems and perspectives in weed management. **Italian Journal of Agronomy**, v. 16, n. 4, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.4081/ija.2021.1854>. doi: 10.4081/ija.2021.1854.

LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional**. 7. ed. Nova Odessa, SP: Plantarum, 2014.

MARCHESAN, E.; MASSONI, P. F. S.; VILLA, S. C. C.; GROHS, M.; AVILA, L. A.; *et al.* Productivity, injury and control of red rice in succession of irrigated rice cultivation in System Clearfield®. **Ciência Rural**, v. 41, n. 1, p. 17–24, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011000100004>. doi: 10.1590/S0103-84782011000100004.

MARTINS, M. B.; MUNHOS, T. F.; VIGHI, V. A.; ROSA, R. F.; TIMM, C.; THEISEN, G.; *et al.* Manejo de *Amaranthus hybridus* em área de integração lavoura-pecuária na região Sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 19, p. 734, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.7824/rbh.v19i4.734>.

MATTE, W. D.; CAVALIERI, S. D.; PEREIRA, C. S.; IKEDA, F. S.; COSTA, W. B. Residual activity of diclosulam applied to soybean on cotton crop in succession. **Planta Daninha**, v. 37, p. 1-11, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100016>. doi: 10.1590/S0100-83582019370100016.

MATTE, W. D.; HENCKES, J. R.; MACHADO, F. G.; MENDES, R. R.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J. Broad-spectrum weed control of the new herbicide pyroxasulfone. **Weed Control Journal**, v. 22, e202300775, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.7824/wcj.2023.22.00775>. doi: 10.7824/wcj.2023.22.00775.

MENDES, K. F.; SHIROMA, A. T.; PIMPINATO, R. F.; REIS, M. R.; TORNISIELO, V. L. Transport of atrazine via leaching in agricultural soil with mineral oil addition. **Planta Daninha**, v. 37, e019210756, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100108>. doi: 10.1590/S0100-83582019370100108.

MENDES, K. F.; SILVA, A. A. **Plantas daninhas: biologia e manejo**. São Paulo: Oficina de Textos, 2022.

MEROTTO JUNIOR, A.; GAZZIERO, D. L. P.; OLIVEIRA, M. C.; SCURSONI, J.; GARCIA, M. A.; *et al.*; Herbicide use history and perspective in South America. **Advances in Weed Science**, v. 40, n. spe1, e020220050, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2022;40:seventy-five010>. doi: 10.51694/AdvWeedSci/2022;40:seventy-five010.

MOSQUEDA, E. G.; LIM, C. A.; SBATELLA, G. M.; JHA, P.; LAWRENCE, N. C.; KNISS, A. R. Effect of crop canopy and herbicide application on kochia (*Bassia scoparia*) density and seed production. **Weed Science**, v. 68, n. 3, p. 278–284, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/wsc.2020.23>. doi: 10.1017/wsc.2020.23.

MULLER, T. C.; BOSWELL, B. W.; MUELLER, S. S.; STECKEL, L. E. Dissipation of fomesafen, saflufenacil, sulfentrazone, and flumioxazin from a Tennessee soil under field conditions. **Weed Science**, v. 62, p. 664-671, 2017.

NAKKA, S.; KUMBHAR, S.; GRESSEL, J. Herbicide resistance: Development of wheat production systems and impacts of herbicide-resistant weeds. **Global Food Security**, v. 23, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100335>.

NANDULA, V. K. Herbicide resistance traits in maize and soybean: current status and future outlook. **Plants**, v. 8, n. 9, p. 337, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants8090337>. doi: 10.3390/plants8090337.

NEDELJKOVIĆ, D.; BOŽIĆ, D.; MALIDŽA, G.; RAJKOVIĆ, M.; KNEŽEVIĆ, S. Z.; VRBNIČANIN, S. Influence of time of weed removal on maize yield and yield components based on different planting patterns, the application of pre-emergence herbicides and weather conditions. **Plants**, v. 14, n. 3, art. 419, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants14030419>. doi: 10.3390/plants14030419.

NORSWORTHY, J. K.; WARD, S. M.; SHAW, D. R.; LLEWELLYN, R. S.; NICHOLS, R. L.; *et al.* Reducing the risks of herbicide resistance: best management practices and recommendations. **Weed Science**, v. 60, n. S1, p. 31–62, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1614/WS-D-11-00155.1>. doi: 10.1614/WS-D-11-00155.1.

OERKE, E. C. Crop losses to pests. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 144, n. 1, p. 31–43, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>. doi: 10.1017/S0021859605005708.

OFOU, R.; AGYEMANG, E. D.; MÁRTON, A.; PÁSZTOR, G.; TALLER, J.; KAZINCZI, G. Herbicide resistance: managing weeds in a changing world. **Agronomy**, v. 13, n. 6, 1595, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy13061595>. doi: 10.3390/agronomy13061595.

OLIVEIRA, R. S.; CONSTANTIN, J.; COSTA, J. M.; CAVALIERI, S. D.; ARANTES, J. G. Z.; *et al.* Interação entre sistemas de manejo e de controle de plantas daninhas em pós-emergência afetando o desenvolvimento e a produtividade da soja. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 24, n. 4, p. 721–732, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582006000400013>. doi: 10.1590/S0100-83582006000400013.

OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. 348 p.

PAMUNGKAS, U. R. R.; CHANKAEW, S.; JONGRUNGLKLANG, N.; MONKHAM, T.; GONKHAMDEE, S. The efficacy of pre-emergence herbicides against dominant

soybean weeds in Northeast Thailand. **Agronomy**, v. 15, n. 7, 1725, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy15071725>. doi: 10.3390/agronomy15071725.

PARVEN, A.; MEFTAUL, I. M.; VENKATESWARLU, K.; GOPALAN, S.; MEGHARAJ, M. Pre-emergence herbicides widely used in urban and farmland soils: fate, and potential human and environmental health risks. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 46, n. 4, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10653-024-01907-6>. doi: 10.1007/s10653-024-01907-6.

PARVEN, A.; MEFTAUL, I. M.; VENKATESWARLU, K.; MEGHARAJ, M. Herbicides in modern sustainable agriculture: environmental fate, ecological implications, and human health concerns. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 22, n. 2, p. 1181–1202, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13762-024-05818-y>. doi: 10.1007/s13762-024-05818-y.

PAUL, S. K.; MAZUMDER, S.; NAIDU, R. Herbicidal weed management practices: history and future prospects of nanotechnology in an eco-friendly crop production system. **Heliyon**, v. 10, n. 5, e26527, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26527>. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e26527.

PRESOTO, J. C.; NETTO, A. G.; ANDRADE, J. F.; MALARDO, M. R.; NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P. J. *et al.* Effectiveness and interaction of the association of Flumioxazin and Pyroxasulfone in the control of Guinea grass (*Panicum maximum*). **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 21, n. 4, p. 435–440, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5965/223811712142022435>. doi: 10.5965/223811712142022435.

PROCÓPIO, S. de O.; BARIZON, R. R. M.; PAZIANOTTO, R. A. A.; MORANDI, M. A. B.; BRAZ, G. B. P. Impacts of weed resistance to glyphosate on herbicide commercialization in Brazil. **Agriculture**, v. 14, n. 12, 2315, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture14122315>. doi: 10.3390/agriculture14122315.

PROCÓPIO, S. O.; BARIZON, R. R. M.; PAZIANOTTO, R. A. A.; MORANDI, M. A. B.; BRAZ, G. B. P. Impacts of weed resistance to glyphosate on herbicide commercialization in Brazil. **Agriculture**, Basel, v. 8, n. 12, p. 1–12, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture8120201>. doi: 10.3390/agriculture8120201.

RIVAS-GARCIA, T.; ESPINOSA-CALDERÓN, A.; HERNÁNDEZ-VÁZQUEZ, B.; SCHWENTESIUS-RINDERMAN, R. Overview of environmental and health effects related to glyphosate usage. **Sustainability**, v. 14, n. 11, art. 6868, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su14116868>. doi: 10.3390/su14116868.

RIZZARDI, M. A.; ROCKENBACH, A. P.; SCHNEIDER, T. Residual herbicides increase the period prior to interference in soybean cultivars. *Planta Daninha*, v. 38, e020222194, 2020. DOI:10.1590/S0100-83582020380100010.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 7. ed. Londrina: Edição dos Autores, 2018. 764 p.

ROHR, Maddy. K-State expert outlines key changes in the 2024 Chemical Weed Guide. **K-State Research and Extension News**, Manhattan, Kan., 21 Dec. 2023. Disponível em: <https://www.ksre.k-state.edu/news-and-publications/news/stories/2023/12/agriculture-2024-chemical-weed-guide.html>. Acesso em: 23 nov. 2025.

RONCATTO, E.; BARROSO, A. A. M.; ALBRECHT, A. J. P.; NOVELLO, B. D.; SILVA, R. G.; BACKES, C. B. W. Shortening critical period of weed control at soybean by residual herbicide mixtures. **Advances in Weed Science**, v. 41, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2023;41:00009>. doi: 10.51694/AdvWeedSci/2023;41:00009.

SAMOTA, S. R. Pyroxasulfone-based tank-mix herbicide combinations for weed control in wheat. **Crop Protection**, v. 178, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106946>.

SANTOS, W. F.; CALDAS, J. V. S.; SILVA, A. G.; PROCÓPIO, S. O.; BRAZ, G. B. P.; JAKELAITIS, A. Selectivity of tembotrione + atrazine herbicides for grain sorghum. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 71, p. e71041, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737X2024710041>. doi: 10.1590/0034-737X2024710041.

SBCPD - Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina, 1995. 42 p.

SCHELTER, M. L.; PRATES, A. A.; FRUET, D. L.; SOUZA, M. P. de; GUERRA, N.; OLIVEIRA NETO, A. M. de. Response of soybean cultivars with different maturation times to pre-emergence herbicides. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 44, n. 2, p. 841–858, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2023v44n2p841>. doi: 10.5433/1679-0359.2023v44n2p841.

SHEKHAWAT, K.; RATHORE, S. S.; BABU, S.; RAJ, R.; CHAUHAN, B. S. Exploring alternatives for assessing and improving herbicide use in intensive agroecosystems of South Asia: a review. **Advances in Weed Science**, v. 40, spe 1, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.51694/advweedsci/2022;40:seventy-five005>. doi: 10.51694/advweedsci/2022;40:seventy-five005.

SILVA, M.S.; MELO, C. A. D.; REIS, M. R. D.; BARBOSA, A. R.; DIAS, R. D. C. Effectiveness of reduced doses of flumioxazin herbicide at weed control in direct sow onions. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, Tunja, v. 13, n. 1, p. 71-79, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.17584/rcch.2019v13i1.8067>. doi: 10.17584/rcch.2019v13i1.8067.

SILVA, P. H. O.; CÔRREA, F. R.; SILVA, N. F.; CAVALCANTE, W. S.S.; RIBEIRO, D. F.; RODRIGUES, E. Eficiência de herbicidas pré-emergentes no manejo de plantas daninhas na cultura da soja. **Brazilian Journal of Science**, v. 2, n. 4, p. 21–31, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/bjs.v2i4.267>. doi: 10.14295/bjs.v2i4.267.

SILVA, M. M.; ALMEIDA, E. I. B.; SOUSA, A. M.; PONTE, I. S.; RIBEIRO, B. S. B.; *et al.* Pre-emergence herbicides effects in no-till soybean system with *Panicum maximum* 'BRS Tamani'. **Australian Journal of Crop Science**, v. 18, n. 1, p. 21–28, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.21475/ajcs.24.18.01.p4018>. doi: 10.21475/ajcs.24.18.01.p4018.

SILVA, L. R. D.; ALMEIDA, E. I. B.; MENDONÇA FREITAS, F.; ARAÚJO, M. B. S.; SOUSA, A. M.; *et al.* Controle de plantas daninhas resistentes ao glifosato, por pulverização sequencial, em pré-plantio da soja. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, Campo Grande, v. 29, n. 3, p. 655–669, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.17921/1415-6938.2025v29n3p655-669>. doi: 10.17921/1415-6938.2025v29n3p655-669.

SINGH, A. K. Effect of pre- and post-emergence herbicides on weeds, productivity and profitability of maize. **Indian Journal of Agronomy**, 2024. Disponível em: <https://pub.isa-india.in/index.php/ija/article/view/5489>.

SINGH, M. B.; BANSHIDHAR; RAJPOOT, S. K. Bio-efficacy of pre and post-emergence herbicides on yield and economics of maize crop (*Zea mays*). **International Journal of Research in Agronomy**, v. 7, Special Issue 9, p. 630–634, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.33545/2618060X.2024.v7.i9Si.1562>. doi: 10.33545/2618060X.2024.v7.i9Si.1562.

SINGH, V. P.; KUMAR, R.; YADAV, S.; RATHORE, M.; *et al.* Integrated approach to manage the complex weed flora in garlic. **Indian Journal of Weed Science**, v. 55, n. 2, p. 193–198, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5958/0974-8164.2023.00035.7>. doi: 10.5958/0974-8164.2023.00035.7.

SOUSA, G. V.; PEREIRA, G. A. M.; TEIXEIRA, M. F. F.; FARIA, A. T.; PAIVA, M. C. G.; SILVA, A. A. Sorption and desorption of diuron, hexazinone and mix (diuron + hexazinone) in soils with different attributes. **Planta Daninha**, v. 36, e018179111, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582018360100097>. doi: 10.1590/S0100-83582018360100097.

SOUZA, Z. S.; SOUZA, M. G.; FELIPPETO, J.; KATSURAYAMA, J. M. Herbicidas pré-emergentes em pomares de macieira. In: RIGHI, E.; SANHUEZA, R. M. V.; PUTTI, G. L.; ADAMS, A.; MONTEIRO, R. (Orgs.). **Pré-Evento: I Congresso de Inovação e Tecnologia da Maçã (CITEM)**. Vacaria: UERGS, 2024. p. 20–29. E-book. Disponível em: [https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/3306/_e-book-citem-2024_revisado_final_\(1\).pdf?sequence=-1#page=20](https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/3306/_e-book-citem-2024_revisado_final_(1).pdf?sequence=-1#page=20).

SYMINGTON, H. E.; SOLTANI, N.; KAASTRA, A. C.; HOOKER, D. C.; ROBINSON, D. E.; SIKKEMA, P. H. Tolerance of four dry bean market classes to flufenacet, acetochlor, and S-metolachlor applied preplant incorporated. **Weed Technology**, v. 36, n. 3, p. 419–425, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/wet.2022.37>. doi: 10.1017/wet.2022.37.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TEIXEIRA, C. A. S.; WITTER, A. P.; FERREIRA, L. A. I.; SANCHES, A. K.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; BIFFE, D. Seleção de herbicidas pré-emergentes para o trigo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 48, p. 1, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737X20244800>. doi: 10.1590/0034-737X20244800.

TIMOSSI, P. C.; LIMA, S. F.; BROD, E.; TEIXEIRA, I. R.; SILVA, A. C.; *et al.* Matocompetição na cultura de *Crambe abyssinica* cultivado em safra e safrinha. **Revista Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 27, n. 3, p. 385-395, 2018. Disponível em: <https://ojs.unesp.br/index.php/rculturaagronomica/article/view/2578>. Acesso em: 23 nov. 2025.

TORRA, J.; OSUNA, M. D.; MEROTTO, A.; VILA-AIUB, M. Multiple herbicide-resistant weeds and non-target site resistance mechanisms: a global challenge for food production. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 763212, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.763212>. doi: 10.3389/fpls.2021.763212.

TORRA, J.; MONTULL, J. M.; CALHA, I. M.; OSUNA, M. D.; PORTUGAL, J.; *et al.* Current status of herbicide resistance in the Iberian Peninsula: future trends and challenges. **Agronomy**, Basel, v. 12, n. 4, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy12040929>. doi: 10.3390/agronomy12040929.

UYGUR, S.; GULER, M.; KAYA, M.; YILMAZ, S. Weed management in onion through oxyfluorfen and its effect on yield and quality. **Indian Journal of Weed Science**, Jabalpur, v. 42, n. 1&2, p. 66-70, 2010. Disponível em: https://www.isws.org.in/IJWSn/File/2010_42_Issue-1&2_67-72.pdf.

VARGAS, L.; OLIVEIRA, O. L. P. **Manejo de plantas daninhas em fruticultura sob sistema de produção convencional, integrada e orgânica**. Bento Gonçalves: CNPUV/Embrapa, 2002. 8 p. Disponível em: <www.cnpuv.embrapa.br/tecnologias/pin/pdf/p_14.pdf>. Acesso em: 09 dez. 2021.

VENCILL, W. K.; NICHOLS, R. L.; WEBSTER, T. M.; SWERIGAN, S.; *et al.* Herbicide resistance: Toward an understanding of resistance development and the impact of herbicide-resistant crops. **Weed Science**, Lawrence, v. 60, n. S1, p. 2–30, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1614/WS-D-11-00112.1>. doi: 10.1614/WS-D-11-00112.1.

WANG, Y.; YU, J.; ZHOU, B.; SAPKOTA, S.; WEI, F.; *et al.* Atrazine and mesotrione-induced oxidative stress and impact on antioxidant enzymes and chlorophyll contents in Bermudagrass. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 36, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582018360100146>. doi: 10.1590/S0100-83582018360100146.

YANNICCARI, M.; GAUNES, T.; SCURSONI, J.; PRADO, R.; VILA-AIUB, M. *Amaranthus* spp.: an analysis comparing species, cropping regions and herbicides. **Advances in Weed Science**, v. 40, e0202200037, 2022.

YORK, A. C.; CULPEPPER, A. S. Tropical Spiderwort (*Commelina benghalensis*) Control in Glyphosate-Resistant Cotton. **Weed Technology**, Lawrence, v. 18, n. 2, p. 432-436, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1614/WT-03-175R>. doi: 10.1614/WT-03-175R.

YU, H.; MA, X.; CUI, H.; CHEN, J.; LI, X. Responses of soil enzymes, bacterial communities and soil nitrification to the pre-emergence herbicide pyroxasulfone. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 285, 117141, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.117141>. doi: 10.1016/j.ecoenv.2024.117141.

ZHANG, Y.; ZHANG, J.; SHI, B.; LI, B.; DU, Z.; *et al.* Effects of cloransulam-methyl and diclosulam on soil nitrogen and carbon cycle-related microorganisms. **Journal of Hazardous Materials**, v. 416, 126395, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126395>. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.126395.