

EDMILSON IGOR BERNARDO ALMEIDA
GREGORI DA ENCARNAÇÃO FERRÃO

FUNDAMENTOS EM BIOLOGIA E MANEJO DE PLANTAS DANINHAS



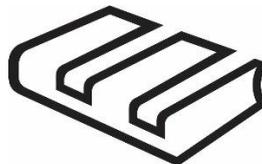
EDUFMA

ORGANIZADORES

Edmilson Igor Bernardo Almeida
Gregori da Encarnação Ferrão

FUNDAMENTOS EM BIOLOGIA E MANEJO DE PLANTAS DANINHAS

São Luís



EDUFMA
2022

Copyright © 2022 by Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Natalino Salgado Filho

Reitor

Prof. Dr. Marcos Fábio Belo Matos

Vice-Reitor

EDITORA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

Prof. Dr. Sanatiel de Jesus Pereira

Diretor

CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. Luís Henrique Serra; Prof. Dr. Elídio Armando Exposto Guarçoni; Prof. Dr. André da Silva Freires; Prof. Dr. Jadir Machado Lessa; Prof^ª. Dra. Diana Rocha da Silva; Prof^ª. Dra. Gisélia Brito dos Santos; Prof. Dr. Marcus Túlio Borowiski Lavarda; Prof. Dr. Marcos Nicolau Santos da Silva; Prof. Dr. Márcio James Soares Guimarães; Prof^ª. Dra. Rosane Cláudia Rodrigues; Prof. Dr. João Batista Garcia; Prof. Dr. Flávio Luiz de Castro Freitas; Bibliotecária Dra. Suênia Oliveira Mendes; e Prof. Dr. José Ribamar Ferreira Junior.

Comitê científico ad-hoc

Ana Karyne Pereira Melo; Glauber Ferreira Barreto; Hosana Aguiar Freitas de Andrade Islana Silva Ponte; e Márcia Maria de Souza Gondim Dias; e Washington da Silva Sousa.

Revisão

Prof. Dr. Jordânio Inácio Marques

Projeto Gráfico

Marlon Breno Soares de Araujo

Prof. Dr. Jordânio Inácio Marques

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Fundamentos em biologia e manejo de plantas daninhas. / Organizadores: Edmilson Igor Bernardo Almeida, Gregori da Encarnação Ferrão.— São Luís, EDUFMA, 2022.

215 p.:il.

ISBN 978-65-5363-152-6

1. Evas daninhas. 2. Manejo. 3. Agricultura. I. Almeida, Edmilson Igor Bernardo. II. Ferrão, Gregori da Encarnação.

CDU 632.51

Elaborada por Anna Caroline C. Mendes – Bibliotecária CRB-13/793

Criado no Brasil [2022]

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte deste livro pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação ou transmitida de qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotocópia, microimagem, gravação ou outro, sem permissão dos autores.

EDUFMA | Editora da UFMA

Av. dos Portugueses, 1966 – Vila Bacanga

CEP: 65080-805 | São Luís | MA | Brasil

Telefone: (98) 3272-8157

www.edufma.ufma.br | edufma@ufma.br

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pelo fomento financeiro concedido por meio do Edital FAPEMA 22/2014 PPP, Processo 2075/14; Edital FAPEMA Universal 02/2019, Processo 795/19; e às bolsas de iniciação científica BIC 4970/15, BIC 4441/19, BIC 1743/20 e BIC 3900/21.

À Universidade Federal do Maranhão pela concessão de infraestrutura de trabalho e bolsas de iniciação científica nas chamadas internas PIBIC/UFMA, quotas 2019/2020 e 2021/2022.

Aos integrantes do Núcleo de Estudos e Pesquisas em Fitotecnia (NEPF) e Grupo de Estudo em Tecnologia e Agricultura Digital (GETAD) que auxiliaram na montagem e coletas de dados em diversos experimentos conduzidos em lavouras de grãos do Leste Maranhense.

Aos produtores rurais pela incansável dedicação à geração de alimentos, empregos e renda. Em especial, aos representantes das fazendas e seus colaboradores, os Srs. Leandro Piovesan Dal Bem e Emanuele Baseggio (Faz. Campo Grande), Srs. Aldir e Jhonatan Deifeld (Faz. Sítio Novo), Srs. Cezar e Sidneo Andreghetto (Faz. Unha de Gato), Sr. Sérgio Strobel (Faz. Europa), Sr. Armindo Vilmar Maslowski (Faz. Aliança), Sr. Vítor Barbosa e Sr. Luís Fernando Devicari (Faz. Barbosa), Sr. Evaldo Grobner (Faz. Typuana), Sr. Daltro Tomm (*in memoriam*) e Sr. Tiago Fernando Riewe Tomm (Faz. Nova Ramada), Srs. Gabriel, André e Lucas Introvini (Faz. São Bernardo), Sr. Cesar Luís Webber (Faz. Santa Fé), e à APROSOJA Maranhão, unidade Meio-Norte, por incentivarem e possibilitarem o desenvolvimento de inúmeras atividades de pesquisa (além destas, versando à ciência das plantas daninhas, aqui apresentadas no capítulo 12), ensino e extensão da UFMA. Bem como, pela amizade e confiança, nestes anos de parceria.

Ao amigo, Engenheiro Agrônomo Daniel Teixeira (Inovagro Consultoria) pelas visitas às fazendas desde a safra de 2013/2014, assim como ensinamentos, caracterização de protocolos de pesquisa e orientações sobre a diversidade das plantas daninhas existentes nas lavouras do cerrado maranhense. Em nome do qual, estendemos nossos agradecimentos às revendas e consultorias agrícolas da mesorregião Leste Maranhense.

PREFÁCIO

A agricultura mudou e continuará mudando para atender a demanda alimentar, social e ambiental da população. Infelizmente estas mudanças e os benefícios proporcionados pela agricultura não são corretamente identificados e valorizados pela população na maioria das situações. Os esforços realizados pelos produtores rurais e os riscos das atividades agrícolas são muito maiores do que as demais atividades das pessoas nas cidades. Isto deveria ser considerado de forma mais clara nas análises relacionadas com a agricultura, e principalmente no ensino sobre este assunto nos níveis iniciais e médios de educação escolar. No ensino superior, o Brasil possui aproximadamente 500 cursos de Agronomia ou Engenharia Agrônômica que resultam na formação de aproximadamente 10000 profissionais por ano. Neste sentido, encontra-se a primeira virtude deste livro, que é a de proporcionar conhecimento sobre os efeitos das plantas daninhas na produção agropecuária para a leitores leigos, alunos e profissionais.

A importância da agricultura para o Brasil é muito grande. Atualmente, aproximadamente 25 % do PIB, 33 % dos empregos e 50 % das exportações estão associadas com a agricultura. Os benefícios da exportação dos produtos agrícolas são capilarizados por todo o país à medida que os recursos destes produtos são destinados a diferentes tipos de propriedades, que produzem diferentes culturas, e que estão localizadas em todas as regiões do país. A agricultura do país já não está concentrada em poucos locais há muito tempo. A produção de grandes culturas, horticultura, produtos de origem animal, e produtos diversos, já é uma realidade nas regiões norte e nordeste do Brasil. Assim, temos uma segunda virtude deste livro que é sua concepção na região NE do país, indicando não apenas a presença da agricultura, mas também a existência de Universidades atualizadas em relação às demandas atuais da sociedade, e principalmente de profissionais envolvidos com atividades de ensino, pesquisa e extensão sobre temas agrícolas.

As mudanças da agricultura têm sido muito expressivas, e o efeito das plantas daninhas estão diretamente associados com estas mudanças na maioria das culturas. A capina acompanha o homem desde a mudança do nomadismo e seguiu através da domesticação de plantas até os dias atuais. Diversos fatos históricos demonstram a importância do cultivo de alimentos e do efeito das plantas daninhas para o homem. Atualmente, estima-se que os efeitos das plantas daninhas diminuem a produção de alimentos em até 35% em países subdesenvolvidos e de 15 % em países desenvolvidos. Ou seja, parte do problema de disponibilidade e custo da alimentação ainda está relacionado ao efeito das plantas daninhas. O custo do controle de plantas daninhas em algumas áreas tem superado o custo de fertilizantes, que sempre foi o principal fator de produção. Tecnologias de alta complexidade como transgenia, silenciamento gênico, química fina, inteligência artificial, e robótica, entre outras, já foram desenvolvidas e estão em desenvolvimento para o controle de plantas daninhas. Estes fatores são indicativos da importância das plantas daninhas para a produção de alimentos e para as mudanças atuais da agricultura. Temos então mais uma virtude deste livro, que está relacionada com a apresentação de conteúdos técnicos de forma didática para treinamento de estudantes e técnicos sobre assuntos importantes para formação acadêmica e exercício

profissional. O domínio destes conteúdos tem importância científica na área agrícola e também prática para profissionais e produtores rurais.

A complexidade da intensificação da agricultura, dos custos de produção e do atendimento aos requerimentos ambientais e toxicológicos exigem que o controle de plantas daninhas seja cada vez mais responsável e tecnificado. Os conteúdos ditos básicos de biologia de plantas, identificação, ecologia da interferência, níveis de dano e períodos críticos, especificações dos diversos métodos de controle, modo de ação dos herbicidas, tecnologias de aplicação, resistência de plantas a herbicidas e profissionalização fitossanitária, entre outros, são assuntos que possuem aplicação prática direta na agricultura. Temos então outra virtude deste livro que é abordagem ampla de vários conteúdos com o embasamento necessário para que o leitor obtenha conhecimento técnico. No mundo atual de disponibilidade de informações de diversas formas, o livro científico, como o presente, é uma das formas mais seguras e eficientes de obtenção do segundo produto mais precioso para a humanidade, que após o alimento, é o conhecimento.

Aldo Merotto Jr.

Professor de Herbologia, UFRGS, Porto Alegre, RS

Presidente da Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas SBCPD. Gestão 2021-22

SOBRE OS ORGANIZADORES



Edmilson Igor Bernardo Almeida: Engenheiro Agrônomo (Universidade Federal da Paraíba, 2011), Mestrado em Agronomia (Universidade Federal do Ceará, 2013), Doutorado em Agronomia (Universidade Federal do Ceará, 2015) e Pós-Doutorado em Produção Vegetal (EMBRAPA Roraima, 2015). É Professor Adjunto C, nível 3, Curso de Agronomia, Universidade Federal do Maranhão, onde ministra a disciplina de Biologia e Controle de Plantas Invasoras. É membro do quadro permanente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCAM/UFMA). Foi coordenador de estágios do curso de Agronomia (2017-2019) e membro do Comitê PIBIC/UFMA (2019-2022). É líder do Núcleo de Estudos e Pesquisas em Fitotecnia (NEPF/UFMA), que desempenha ações de pesquisa e extensão, notadamente com produtores rurais, consultorias e revendas agrícolas no Leste Maranhense. Tem experiência na área de produção vegetal com enfoque em biologia e manejo de plantas daninhas, seleção e uso de herbicidas em culturas anuais, tecnologias agrícolas, ecofisiologia vegetal e fisiologia pós-colheita.



Gregori da Encarnação Ferrão: Possui graduação em Agronomia pela UFSM (2003), mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas pela Esalq/USP (2006) e doutorado pelo CENA/USP (2013). Lotado desde 2013 na Coordenação do Curso de Agronomia/UFMA (Campus de Chapadinha/MA), coordenou o curso de Agronomia de 04/2016 a 04/2018. Coordenou o Estágio Obrigatório e não Obrigatório do curso de Agronomia de 09/2019 a 09/2021. Atualmente é Professor Associado I e Conselheiro na Câmara Especializada de Agronomia (CREA-MA). Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Nutrição Mineral de Plantas, Solos e Ecofisiologia Vegetal.

COLABORADORES

- Alencar Junior Zanon** – Professor Adjunto no Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Atua em ecofisiologia vegetal. E-mail: alencarzanon@hotmail.com.
- Allan Lopes Bacha** – Pós-doutorando da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Atua em matologia. E-mail: allan.bacha@unesp.br.
- Ana Karyne Pereira Melo** – Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Federal de Roraima (UFRR) em parceria com a EMBRAPA Roraima. Atua em fitotecnia, com enfoque em matologia. E-mail: anakarynemelo@hotmail.com.
- Andre da Rosa Ulguim** – Professor Adjunto no Departamento de Defesa Fitossanitária, Universidade Federal de Santa Maria. Atua em ecofisiologia vegetal, resistência e manejo de plantas daninhas. E-mail: andre_ulguim@yahoo.com.br.
- Arthur Arrobas Martins Barroso** – Professor Doutor da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, Brasil. Atua em biologia e manejo de plantas daninhas. E-mail: arrobas@ufpr.br.
- Betina Claudia Kruk** – Professora da Faculdade de Agronomia, Universidade de Buenos Aires (FAUBA). Cátedra de Cerealicultura e Departamento de Producción Vegetal. Atua em biologia e manejo de plantas daninhas e cultivo de grãos. E-mail: bkruk@agro.uba.ar.
- Bruno França da Trindade Lessa** – Professor Adjunto do Colegiado de Engenharia Agrônoma, Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF). Doutor em Agronomia/Fitotecnia. Atua em biologia e controle de plantas daninhas em ambientes cultivados e manejo de ecossistemas florestais. E-mail: bruno.ftlessa@univasf.edu.br.
- Camila Jorge Bernabé Ferreira** – Professora do Curso de Agronomia da Universidade de Rio Verde (UniRV), Rio Verde-GO, Brasil. Atua em manejo integrado de plantas daninhas. E-mail: camilajbferreira@gmail.com.
- Daniel Valadão Silva** – Professor Doutor do Curso de Agronomia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, Brasil. Atua em manejo de plantas daninhas e comportamento de herbicidas no solo. E-mail: danielvaladaos@yahoo.com.br.
- Edgley Soares da Silva** – Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Federal de Roraima (UFRR) em parceria com a EMBRAPA Roraima. Atuam em fitotecnia, com enfoque em matologia. E-mail: edgley_agro2008@hotmail.com.
- Francielli Santos de Oliveira** – Mestranda em Fitotecnia pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP). Atua em biologia e manejo de plantas daninhas, monitoramento de resistência de plantas daninhas a herbicidas e comportamento de herbicidas no solo. E-mail: francielli.oliveira@usp.br.
- Glauber Ferreira Barreto** – Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Federal de Roraima (UFRR) em parceria com a

EMBRAPA Roraima. Atua em fitotecnia, com enfoque em matologia. E-mail: glauberfbarreto@gmail.com.

Guilherme Braga Pereira Braz – Professor do Curso de Agronomia da Universidade de Rio Verde (UniRV), Rio Verde-GO, Brasil. Atua em manejo integrado de plantas daninhas em grandes culturas. E-mail: guilhermebraz@unirv.edu.br.

Guilherme Chudzik – Mestrando no Departamento de Agronomia pela Universidade de Wisconsin-Madison. Atua em biologia e manejo de plantas daninhas, com enfoque em herbicidas pré-emergentes. E-mail: chudzik@wis.edu.

Isabela Bulegon Pilecco – Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Atua em ecofisiologia vegetal e grandes culturas.

Isabela Cristina Gomes Pires – Doutora em Ciências, Universidade de São Paulo (USP), Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA). Atua na área de gestão ambiental. E-mail: isabela.pires@ipam.org.br.

João Pedro de Barros Leinecker – Graduando em Agronomia, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, Brasil. Atua em biologia e manejo de plantas daninhas. E-mail: joaobarros@ufpr.br.

Jordean Costa dos Santos – Graduado em Agronomia na Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Atua em fitotecnia. E-mail: jordean.costa@discente.ufma.br.

José de Anchieta Alves de Albuquerque – Professor Doutor da Universidade Federal de Roraima (UFRR). Atua em plantas daninhas e seu controle, morfologia e sistemática vegetal, e grandes culturas agrícolas. E-mail: anchietaufr@gmail.com.

José Eduardo Minussi Winck – Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), sócio-proprietário da empresa Crops Team e da Plataforma Árion Carbon Store. Atua em ecofisiologia vegetal, grandes culturas e inovações tecnológicas.

Laís Sousa Resende – Doutoranda em Fitotecnia pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP). Atua em biologia e manejo de plantas daninhas, resistência de plantas daninhas a herbicidas. E-mail: sialresende@gmail.com.

Leonardo de Oliveira Semensato – Graduando em Engenharia Agrônômica na Universidade Federal de São Carlos, CCA/UFSCar, Campus de Araras, São Paulo. Atua em manejo de plantas daninhas. E-mail: leonardosemensato@estudande.ufscar.br.

Marcelo de Sousa da Silva – Graduado em Agronomia na Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Atua em fitotecnia, com enfoque em biologia e manejo de plantas daninhas, uso de herbicidas pré-emergentes na cultura da soja. E-mail: marcelo.ss@discente.ufma.br.

Marcelo Rodrigues Barbosa Júnior – Doutorando em Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal. Atua em agricultura digital. E-mail: marcelo.junior@unesp.br.

Marcos Sales Rodrigues – Professor Adjunto, Colegiado de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal do Vale do São Francisco. Doutor em Agronomia/Produção

Vegetal. Atua em pedometria e mapeamento de solos. E-mail: marcos.rodrigues@univasf.edu.br.

Maria Beatriz Bernardes Soares – Pesquisadora Doutora da Agência Paulista de Tecnologias do Agronegócio, APTA, Pindorama-SP. Atua em produção vegetal, com enfoque em fruticultura e matologia. E-mail: maria.soares@sp.gov.br.

Matheus de Freitas Souza – Professor do Curso de Agronomia da Universidade de Rio Verde (UniRV), Rio Verde-GO, Brasil. Atua em inteligência artificial e agricultura de precisão no manejo integrado de plantas daninhas. E-mail: matheusfreitas@unirv.edu.br.

Matheus Eduardo de Carvalho Lima – Graduado em Agronomia na Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Centro de Ciências de Chapadinha. Atua em fitotecnia, com enfoque em biologia de plantas daninhas e pós colheita de grãos. E-mail: matheus.eduardo@discente.ufma.br.

Maurício Lourenzoni Augusti – Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Roraima (UFRR). Atua em biologia e manejo de plantas daninhas. E-mail: mauricioaugusti86@gmail.com.

Nagilla Moraes Ribeiro – Doutoranda em Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal. Atua em matologia. E-mail: nagilla.moraes@unesp.br.

Natália Almeida Mitroszewski – Mestranda da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, Brasil. Atua em biologia e manejo de plantas daninhas. E-mail: natalia.mitroszewski@ufpr.br.

Pablo Alves de Sousa – Mestrando no Departamento de Agronomia pela Universidade de Wisconsin-Madison. Atua em biologia e manejo de plantas, com enfoque em herbicidas pré-emergentes.

Pablo Nascimento de Oliveira França – Engenheiro Agrônomo, Sócio-fundador da Agrárion. Atua em ciência do solo. E-mail: pnof@hotmail.com.

Paulo Roberto Ribeiro Rocha – Professor Doutor do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Roraima. Atua em biologia e controle de plantas daninhas, e grandes culturas. E-mail: paulo.rocha@ufrr.br.

Pedro Jacob Christoffoleti – PhD. em Weed Science pela Colorado State University - CSU (1992). Atuou durante 30 anos como docente e pesquisador em disciplinas voltadas para biologia e manejo de plantas daninhas na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP. Atualmente, é consultor e pesquisador na PJC Consultoria Agrônômica, empresa própria focada no segmento de pesquisa, capacitação e assessoria agrônômica.

Pedro Luís da Costa Aguiar Alves – Professor da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Atua em matologia. E-mail: pl.alves@unesp.br.

Rafael Stellato Liu – Engenheiro Agrônomo, Gerente de Produtos Adjuvantes na Rizobacter. Atua na área de tecnologia de aplicação.

- Ramon Leon Gonzalez** – Professor da University Faculty Scholar Weed Biology (North Carolina). Atua em biologia e manejo de plantas daninhas. E-mail: rgleong@gmail.com.
- Renan Gonçalves da Silva** – Graduando em Agronomia, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, Brasil. Atua em biologia e manejo de plantas daninhas. E-mail: renan2000goncalves@gmail.com,
- Roberto Avila Neto** – Professor da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), Campus Santo Ângelo. Atua em manejo de plantas daninhas e tecnologia de aplicação de insumos agrícolas.
- Rodolfo César de Albuquerque Araújo** – Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). Atua em biologia e manejo de plantas daninhas. E-mail: rcesar_fi@hotmail.com.
- Rouverson Pereira da Silva** – Professor Adjunto III, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal. Atua em agricultura digital. E-mail: rouverson.silva@unesp.br.
- Samia Rayara de Sousa Ribeiro** – Doutoranda da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, Brasil. Atua em manejo de plantas daninhas em sistemas de produção e dinâmica de herbicidas. E-mail: samiaribeiro@ufpr.br.
- Susi Meire Maximino Leite** – Professora Doutora da Faculdade de Tecnologia de Pompéia (FATEC) “Shunji Nishimura”. Atua em tecnologia de aplicação de insumos agrícolas.
- Sylvio Henrique Bidel Dornelles** – Professor Associado do Departamento de Biologia/CCNE, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Atua em proteção de plantas, plantas daninhas, culturas anuais e botânica. E-mail: sylviobidel@gmail.com.
- Taliane Maria da Silva Teófilo** – Pós-doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuru (UFVJM), Diamantina-MG, Brasil. Atua em comportamento de herbicidas no solo e técnicas de remediação. E-mail: talianeteofilo23@gmail.com.
- Tatiane Severo Silva** – Doutoranda da University of Wisconsin-Madison, United States. Atua em manejo integrado de plantas daninhas na cultura do milho e soja. E-mail: severosilva@wisc.edu.
- Thaís Buwai Lucif** – Graduando em Agronomia, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, Brasil. Atua em biologia e manejo de plantas daninhas. E-mail: thaislucif@ufpr.br.
- Vinicius dos Santos Carreira** – Mestre em Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal. Atua em processamento de imagens e tecnologias embarcadas nas operações agrícolas, sensoriamento remoto e máquinas agrícolas. E-mail: vs.carreira@unesp.br.
- Willians César Carrega** – Pós-doutorando da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Atua em matologia. E-mail: willians.carrega@unesp.br.

SUMÁRIO

Capítulo 1 – Introdução à ciência das plantas daninhas	13
Capítulo 2 – Banco de sementes de plantas daninhas	29
Capítulo 3 – Levantamento de plantas daninhas	41
Capítulo 4 - Monitoramento de plantas daninhas com vant's	54
Capítulo 5 – Herbário de plantas daninhas.....	67
Capítulo 6 - Métodos de controle de plantas daninhas.....	82
Capítulo 7 – Herbicidologia	95
Capítulo 8 – Dinâmica de herbicidas no ambiente.....	118
Capítulo 9 – Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas	137
Capítulo 10 – Resistência de plantas daninhas a herbicidas.....	149
Capítulo 11 – Potencial de produtividade de culturas agrícolas e a interferência das plantas daninhas.....	165
Capítulo 12 – Composição florística de plantas daninhas em cultivos anuais.....	179
Referências	196

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO À CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS

Matheus Edhuardo de Carvalho Lima¹

Betina Claudia Kruk²

Gregori da Encarnação Ferrão³

Edmilson Igor Bernardo Almeida³

Rodolfo César de Albuquerque Araújo⁴

¹Graduado em Agronomia na Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Centro de Ciências de Chapadinha.

²Professora da Faculdade de Agronomia | Universidade de Buenos Aires (FAUBA). Sub-Secretaria Académica FAUBA, Cátedra de Cerealicultura e Departamento de Producción Vegetal.

³Professor da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Centro de Ciências de Chapadinha.

⁴Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD).

Origem e fundamentos

Dizem que a necessidade é a mãe da evolução e foi por conta dela, da necessidade, que o ser humano passou de mero nômade coletor, a agricultor, e com isso conseguiu prosperar mediante a hostilidade do ambiente. Se pararmos para pensar ou pesquisar, descobriremos que a relação do homem com as plantas é tão antiga quanto a própria história da humanidade (SOUZA, 2021). Acredita-se que a agricultura, de forma primitiva, tenha iniciado no período neolítico (15.000 a 10.000 a.C.) e muito provavelmente neste período que o homem tem seus primeiros contatos com o que denominamos, atualmente, por plantas daninhas (WELLS, 1961).

Botanicamente, as plantas daninhas não se distinguem das demais plantas e o homem primitivo também não via distinções. Ainda muito amarrado a seus instintos primais, tudo que ele poderia fazer era separar aqueles vegetais comestíveis, dentre os outros que cresciam naturalmente. Foi a partir desse processo que o ser humano passou de nômade e coletor, a sedentário agricultor. Com isso, podemos inferir que o homem, provavelmente, foi o principal responsável pela evolução das plantas daninhas e plantas cultivadas (LORENZI, 2008).

Baker (1974) propôs três teorias para descrever a influência do homem na evolução das plantas daninhas: (i) as espécies selvagens adaptaram-se continuamente aos distúrbios no habitat causados pela interferência humana; (ii) ocorrência de hibridações entre espécies selvagens e espécies cultivadas; e (iii) espécies que foram abandonadas no processo de domesticação passaram a atuar como daninhas. Ainda não sabemos qual das opções está correta, ou se ocorreram simultaneamente, mas o fato é que para qualquer uma destas três alternativas, sabe-se que tanto plantas daninhas quanto as de interesse econômico mantiveram um ciclo de coevolução dentre os campos, o que permitiu presenciarmos o atual cenário agrícola.

Acredita-se que as primeiras atividades agrícolas humanas tenham sido realizadas com uma espécie primitiva do trigo (*Triticum spp.*), em áreas periféricas de rios numa região denominada de Crescente Fértil (CISCATI, 2016). É possível que a capina manual tenha sido praticada para remover plantas indesejadas. O desenvolvimento da irrigação ao longo dos rios Tigre e Eufrates (Mesopotâmia), e Rio Nilo, a cerca de 6.500 a.C. foi o que provavelmente marcou o início da agricultura estabilizada (WELLS, 1961).

Histórico dos métodos de controle

Com o surgimento da agricultura estabilizada surgiu a necessidade quanto ao preparo de um grande volume de terras. Desde então, muitas invenções acabaram surgindo, como uma enxada primitiva para realizar o roço, bem como implementos de tração animal. Mas, aparentemente nenhum destes inventos tinham como foco o controle das plantas daninhas, pois estas ainda não eram reconhecidas como desagregadoras de valor das culturas plantadas (BARON; ANJOS, 1983).

Foi somente no primeiro século depois de Cristo, quando um escritor romano reconheceu que, se a capina fosse negligenciada, a produção dos campos seria reduzida. A partir disto, o termo planta daninha começa a ser mencionado na história, como Clark e Fletcher (1909) que incluíram muitas citações sobre plantas daninhas e controle de

plantas daninhas às primeiras publicações britânicas. Ao longo do tempo, as menções ficaram cada vez mais frequentes, com um rápido aumento das publicações após 1.900 d.C., estimulado pela pesquisa de produtos (TIMONNS, 1970).

Os métodos de controle rudimentares que utilizavam ferramentas, persistiram por vários séculos. O controle mecânico de plantas daninhas tomou impulso com o uso de tração animal ocupando grande importância na história até o surgimento dos tratores agrícolas, no final do século XIX (VIAN; ANDRADE Jr., 2010). Em 1837, o ferreiro John Deere desenvolveu um arado de ferro forjado liso, que permitiu que áreas até então consideradas inutilizadas nos EUA fossem aproveitadas para agricultura, o que reforçou o simbolismo de que foi o arado o grande responsável pelo progresso da agricultura (VIAN; ANDRADE Jr., 2010).

Ao final do século XIX e início do século XX iniciou um período de intensa transformação na agricultura. As descobertas científicas, aliadas ao desenvolvimento tecnológico abriram portas para o progresso de sistemas mais intensivos de produção, marcando o começo de uma etapa na história da agricultura, chamada de Revolução Verde (EHLERS, 1996). A chamada Revolução Verde ocorreu no contexto da Guerra Fria, a partir de 1945, época de grande fome e crescente aumento da populacional, com isso a estratégia central desse processo denominado Revolução Verde foi a de atacar a deficiência de alimentos, via aplicação massiva de inovações tecnológicas no campo. O objetivo era o de maximizar a produtividade agrícola, se tornando assim um marco importante, pois além do uso de fertilizantes químicos e melhoramento genético, há o advento da indústria química de herbicidas (CONWAY; BARBIER, 1990).

O curioso sobre o desenvolvimento das plantas daninhas como ciência é o fato de que não se sabe ao certo quando começou. Embora as histórias relatadas na literatura sejam minuciosas, todas elas estão relacionadas exclusivamente a história do controle químico de plantas daninhas (ZIMDAHL, 2011). Desta forma, é destacado que tanto a ciência das plantas daninhas quanto o controle químico começaram depois da segunda Guerra Mundial, com a descoberta do ácido diclorofenoxiacético (2,4-D), entre 1942 e 1944.

Assim, o interesse pelo estudo das plantas daninhas começou a surgir, tanto por parte de cientistas quanto de governos federal e estadual, indústrias e público em geral, de forma que o termo “planta daninha” começou a aparecer nos títulos de cursos universitários e de extensão, nos Estados Unidos (TIMONNS, 1970). Também nos Estados Unidos, houve a criação da revista científica *Weeds* (atual *Weed Science*) fundada em 1951, e a *Weed Science Society of America*, fundada em 1959. A primeira revista científica européia, *Weed Research*, foi fundada em 1961 (ZIMDAHL, 2011).

Embora o uso comercial de herbicidas para finalidade de controle químico tenha iniciado em meados de 1940, Crafts (1960) descreveu um histórico sobre herbicidas, citando trabalhos que antes de 1920 haviam descoberto uma solução de arsenito de sódio para finalidade de controle de plantas daninhas de forma seletiva. Porém, nenhuma substância tão barata, efetiva e/ou seletiva quanto o 2,4-D.

Com relação ao uso de substâncias inorgânicas, o cloreto de sódio (sal de cozinha), provavelmente foi o primeiro composto utilizado para controle químico de plantas daninhas. Os romanos, empregaram-no para esterilizar terras de Cartago no final da

terceira guerra púnica. Após o enforcamento de Tiradentes em 1792, os portugueses espalharam sal no quintal de sua casa para que ali não brotasse mais nada. Outros compostos, como ácido sulfúrico, sulfato de cobre, sulfato de amônio e de ferro, nitrato ou tiocianato de amônio e cinzas, também foram utilizados em algumas situações para a finalidade de suprimir plantas daninhas (CONCENÇO *et al.*, 2014). Essas substâncias, no entanto, não são mais utilizadas na agricultura moderna por exigirem altas doses, inviabilizarem cultivos e por promoverem maior contaminação do solo e água.

Definições de plantas daninhas

Atualmente não existe uma definição única para planta daninha, sendo esta definida muitas vezes em função do seu habitat, comportamento e grau de indesejabilidade, como proposto por Ferreira (2019): “ervas daninhas são plantas que, espontaneamente, emergem nos ecossistemas agrícolas, onde através da competição por água, luz e nutrientes acabam causando prejuízos de graus variados, a depender da comunidade infestante, fatores ligados à cultura, ambiente e período de convivência”.

Em 1995, quando da mudança do nome da Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD), foi também discutido o termo "planta daninha". Naquele momento considerou-se que a nomenclatura "daninha" é adequada devido à derivação de "dano" e, neste caso, associado à principal característica das plantas daninhas em lavouras, que é o dano econômico decorrente da diminuição de produção na cultura de interesse.

Neste aspecto, dentre as várias definições também podem ser destacadas as seguintes:

“Qualquer planta, cujas virtudes não têm sido ainda descobertas” (EMERSON, 1876).

“Uma planta fora de lugar ou crescendo onde ela não é desejada” (BLATCHLEY, 1912).

“Uma planta originada de um ambiente natural em resposta a mudanças no ambiente, que evoluiu e continua evoluindo como um organismo que interfere com o desenvolvimento das culturas e atividades associadas” (ALDRICH, 1984).

Em todas as definições de planta daninha os interesses do homem é sempre utilizado como foco principal. Aldrich (1984), por outro lado, ressalta dois fatores cruciais para o entendimento de plantas daninhas: (i) origem e (ii) ambiente. Dentro dessa perspectiva, as plantas daninhas são colocadas como aquelas que dotam de características e adaptações únicas que as capacitam para sobreviver e prosperar em ambientes perturbados.

Corriqueiramente há confusão quanto ao emprego dos termos “planta daninha”, “erva daninha” e “planta invasora”, os quais são usados como sinônimos, porém há certas diferenças que permitem realizar a distinção destes termos. Planta daninha refere-se ao fato de se atribuir a esta planta, características danosas às atividades humanas, geralmente com perdas na produção, dada a alta capacidade de competição (PITELLI, 2015). Ervas daninhas são plantas daninhas herbáceas, ou seja, aquelas com baixa lignificação do caule e ramos (BRIGHENTI; OLIVEIRA, 2011). Planta invasora é um termo designado para

plantas silvestres (origem não endêmica), mato ou inço, desconsiderando sua indesejabilidade em relação à atividade humana (PITELLI, 2015; HARLAN, J. R.; DE WET, 1965). Então, pode-se concluir que no sentido agrônômico, o termo “Planta Daninha” é o mais adequado para se referir a todas as plantas que interferem nas atividades humanas.

Classificação de plantas daninhas

As plantas daninhas podem ser classificadas quanto a diferentes critérios, dentre estes, grupo de plantas, habitat, hábito de crescimento, ciclo de vida e taxonomia.

Quanto ao grupo de plantas

Surgiu com o aparecimento dos primeiros herbicidas orgânicos. Por este critério, as plantas daninhas dividem-se em folhas largas, que são plantas de limbo foliar largo, nervação dos tipos palminéria, peltinéria e peninéria; e folhas estreitas, que apresentam nervação dos tipos uninéria e paralelinéria e, raramente, curvinéria. Neste agrupamento de folhas estreitas estão, especialmente, poáceas e ciperáceas. Porém, estes conceitos são contraditórios, pois poucos herbicidas conseguem ser considerados específicos ou seletivos dentro de distintos níveis botânicos (OLIVEIRA Jr., 2011).

Quanto ao habitat

Em relação ao habitat há três categorias básicas: terrestres, aquáticas e aéreas. As plantas daninhas terrestres são aquelas que vivem sobre o solo utilizando-o como base de subsistência nutricional e fonte de água; aquáticas, desenvolvem-se em meio aquático, podendo ser ancoradas ou não ao substrato no fundo dos corpos d’água; e aéreas, plantas que conseguem sobreviver acima do solo e da água, através do processo de parasitismo e/ou usando outras plantas como suporte (MARTINELLI, 2019).

Quanto ao hábito de crescimento

De acordo com Carvalho (2013) neste grupo encontram-se as plantas daninhas herbáceas, arbustivas e subarbustivas, arbóreas, trepadeiras, parasitas, epífitas e hemiepífitas. (a) As plantas herbáceas compreendem espécies de pequeno porte, eretas ou prostradas, que em geral, apresentam caules ou colmos não lignificados; (b) plantas arbustivas e subarbustivas, as quais apresentam médio porte (abaixo de 3 m de altura), com caule lignificado e ramificado desde a base; (c) plantas arbóreas, eretas de grande porte (acima de 3 m de altura), com caule lignificado e ramificações acima da base do caule; (d) plantas trepadeiras, que crescem sobre outras, utilizando-as como suporte; (e) plantas parasitas, que se utilizam dos fotoassimilados da planta hospedeira; e (f) plantas epífitas e hemiepífitas, cujo hábito é semelhante ao das parasitas, porém não utilizam os fotoassimilados da planta sobre a qual se desenvolve.

Quanto ao ciclo de vida

Com base no ciclo de vida, as plantas daninhas podem ser classificadas em anuais, bienais ou perenes. As plantas daninhas anuais são aquelas conseguem completar seu ciclo de vida em menos de um ano, com rápido crescimento e elevada produção de sementes. As plantas bienais completam o seu ciclo num período entre um e dois anos. Já as plantas daninhas perenes são aquelas que apresentam um ciclo de vida superior a dois anos. Estas podem ser divididas em rastejantes e simples. As perenes simples podem até se multiplicar por propagação vegetativa, caso tenha um de seus brotos cortados ou feridos, mas a sua multiplicação normalmente ocorre através de sementes; as perenes rastejantes se multiplicam por sementes e vegetativamente (ZIMDAHL, 2018).

Para Fontes (2009), o polimorfismo e as diferentes fisiologias apresentadas pelas plantas daninhas são resultados de variações ocorridas em nível genético (mutações, recombinações, fluxos cromossômicos e aberrações cromossômicas), onde por intermédio destes processos, as espécies ocuparam diferentes nichos ecológicos, microhabitats (variações localizadas de fertilidade, textura e disponibilidade de água no solo).

Quanto à taxonomia

A taxonomia é um dos mais importantes critérios de classificação, uma vez que oportuniza a correta identificação de plantas daninhas, podendo indicar medidas e estratégias de controle eficazes. Atualmente, há dois sistemas de classificação de plantas daninhas: morfológico e filogenético. O primeiro se baseia na morfologia (sistemas de Engler-Wettstein e Cronquist) e é o mais utilizado, atualmente. O sistema de Cronquist foi desenvolvido por Arthur Cronquist com intuito de classificar plantas que possuem flores, cuja primeira versão foi publicada em 1981. Neste sistema há duas grandes classes utilizadas para a distinção das plantas daninhas: Magnoliopsida (eudicotiledôneas) e Liliopsida (monocotiledôneas).

Por sua vez, o sistema APG (sigla do inglês para Angiosperm Phylogeny Group) se baseia em aspectos filogenéticos de plantas daninhas. Este sistema surgiu em 1998, cuja sua versão mais atual é a classificação APG III (2003). O APG utiliza avançados recursos gênicos em sua classificação, na qual a diferenciação entre famílias e espécies não é baseada na morfologia, o que o torna menos usual e de difícil aplicação em nível de campo (CARVALHO, 2013).

Interferência de plantas daninhas

Devido à elevada pluralidade nos níveis de adaptação, as plantas daninhas tornam-se verdadeiros “nêmesis” das plantas cultivadas, causando diferentes tipos de interferência no desenvolvimento das mesmas. Dentre as principais formas de interferência direta, pode-se citar a competição, alelopatia e parasitismo.

Para Gallandt e Weiner (2015), a competição é o fator biológico mais importante na redução do rendimento das culturas, devido as plantas daninhas usarem água, luz e nutrientes, recursos potencialmente limitantes, que deveriam estar à disposição da cultura de interesse econômico. Outro recurso que pode limitar o desenvolvimento das plantas é o CO₂, mas devido à alta concentração de CO₂ disponível no ambiente, acredita-se que

difícilmente esse recurso promova a competição entre as plantas (CRAINE & DYBZINSKI, 2013).

A alelopatia ocorre quando uma planta inibe o desenvolvimento de plantas vizinhas, através da liberação de substâncias químicas, denominadas de aleloquímicos (ZIMDAHL, 2018). Segundo Duke *et al.* (2002) os compostos aleloquímicos surgem com os metabólitos secundários das plantas, e eles representam um vasto repositório de materiais cujo os estudos realizados sobre eles permitem que alguns desses compostos podem ser úteis diretamente como herbicidas ou como moldes para o desenvolvimento de herbicidas. Chengxu *et al.* (2011) cita que um exemplo claro de alelopatia é o da ambrósia (*Ambrosia artemisiifolia*). Esta tem a capacidade de liberar substâncias alelopáticas capazes de inibir a germinação e desenvolvimento de plântulas de diversas culturas. Isto causou vários danos as lavouras de milho e soja da China, quando foi introduzida no país, em 1930.

As plantas daninhas também podem interferir de maneira indireta nas culturas agrícolas, principalmente, servindo como hospedeiro alternativo de pragas e doenças de plantas cultivadas. Lopes *et al.*, (2019) demonstraram que plantas daninhas como a *Ipomoea grandifolia* e *Amaranthus deflexus* podem hospedar o *Meloidogyne javanica*, conhecido como nematoide das galhas.

Além disso a presença dessas plantas em convivência com as culturas de interesse econômico pode prejudicar certas práticas culturais, como as atividades de manejo. Na colheita, por exemplo, as daninhas podem prejudicar a eficiência operacional, retardando a ação de colhedoras e/ou provocando entupimento de seus dispositivos operacionais, o que também interfere negativamente na qualidade de grãos e sementes. Portanto faz-se necessário investimentos para controle dessas plantas indesejáveis, mesmo em períodos cuja cultura de interesse não se apresenta na área (SALES; CONSTANTIN, 2000 apud CAMPOS *et al.*, 2005).

Grau de interferência de plantas daninhas

O grau de interferência (Figura 1) imposto às culturas é afetado pelas espécies de plantas daninhas que ocorrem na área (espécies, densidade e distribuição), cultura de interesse (espaçamento, densidade e cultivar), ambiente (solo, clima e manejo), período e época de convivência entre a cultura e comunidade infestante (época e duração) (BACHEGA *et al.*, 1987).

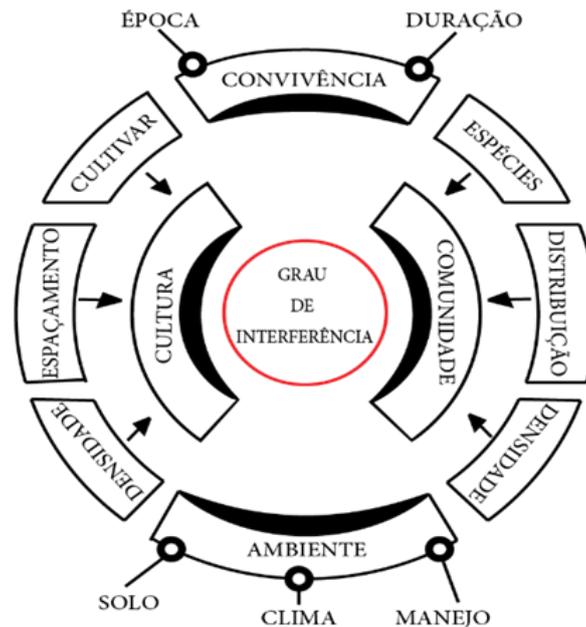


Figura 1. Diagrama esquemático dos principais fatores que afetam o grau de interferência entre culturas de interesse econômico e plantas daninhas. Fonte: Pitelli (1987).

As espécies cultivadas pelo homem apresentam diferentes capacidades de competição frente as plantas daninhas. Culturas como a soja e milho, por exemplo, apresentam maiores capacidades competitivas se comparadas ao feijão e cebola, culturas de porte baixo e com reduzida capacidade de interceptação de luz. Isso demonstra que a intensidade de competição imprimida nas lavouras está diretamente relacionada com a espécie cultivada (PITELLI, 1987).

Segundo Pitelli (1987), o rápido desenvolvimento inicial, eficiência na absorção de recursos do meio e alta capacidade de interceptação luminosa são as principais características que conferem às culturas, capacidade de competir com a comunidade infestante. Essas características quando aliadas ao uso de maiores densidades de semeadura e espaçamento reduzido podem conferir às culturas de interesse econômico um elevado grau de supressão sobre as plantas daninhas, permitindo um rápido fechamento das entrelinhas. Dessa forma, limitando o suprimento de radiação solar para comunidade infestante que poderia surgir nesses espaços.

Além disso, observa-se que o uso de cultivares adaptadas a região de cultivo e eficiente calendário de plantio são fatores que também geram vantagens competitivas para as culturas, em relação às plantas daninhas (CARVALHO, 2011). É importante ressaltar que na comunidade infestante, as plantas daninhas podem exercer diferentes intensidades de interferência sobre a cultura. Fernández-Quintanilla *et al.* (1991) relataram que a comunidade de plantas daninhas presentes numa lavoura pode ser estrategicamente dividida em: (i) espécies dominantes, as quais promovem maior intensidade de interferência sobre a cultura; (ii) espécies secundárias, que se apresentam com menor densidade e cobertura, e (iii) espécies acompanhantes, que se apresentam de forma eventual na área e dificilmente resultam em perdas de produtividade das culturas.

Geralmente, quanto maior a similaridade morfológica e fisiológica entre as plantas daninhas e a cultura (mimetismo agrícola), mais intenso é o processo de competição entre elas, devido à similaridade nas exigências de recursos disponíveis para o desenvolvimento. Também vale destacar, a importância da destruição das plantas daninhas na área, de modo que a proximidade de determinadas plantas daninhas em relação a linha de plantio pode resultar em maiores interferências sobre a cultura (BRIGHENTI; OLIVEIRA, 2011).

Outros fatores que modificam a intensidade de interferência entre a cultura e plantas daninhas são: (i) época e (ii) período de convivência. Esses fatores são de grande importância, pois podem ser alterados em função do manejo adotado (PITELLI, 1985).

Com base no período de incidência das plantas daninhas na lavoura, pode-se definir as interferências em três períodos, Período Anterior a Interferência (PAI), Prevenção da Interferência (PCPI), Período Total de Prevenção a Interferência (PTPI), os quais serão didaticamente discutidos, a seguir:

- Período Anterior a Interferência (PAI): ocorre após a emergência da cultura. Nesta fase, a cultura convive com uma população de plantas daninhas sem que ocorra prejuízos na produtividade.
- Período de Prevenção da Interferência (PCPI): corresponde à diferença entre o PAI e o PTPI (Período Total de Prevenção a Interferência). Ocorre quando a competição é elevada e torna-se necessário efetivo manejo das plantas daninhas. Nesta fase o prejuízo sobre a cultura é evidente (GALON *et al.*, 2018).
- Período Total de Prevenção a Interferência (PTPI): período total em que a cultura deve ser mantida livre de acentuada infestação de plantas daninhas, para que não seja afetada negativamente.

A exemplo de culturas economicamente importante e que são bastante afetadas por plantas daninhas, temos o milho e soja. Ambas de grande relevância para a economia brasileira, atualmente. O milho, apesar de ser considerado competitivo, pode ser severamente afetado pela interferência de plantas daninhas, as quais reduzem seu crescimento e produtividade, devendo-se prevenir a interferência no período compreendido entre 15 e 45 dias após a sua emergência (PITELLI, 1985 apud SPADER, 2000).

O número e o tamanho de espigas de milho normalmente são os parâmetros mais afetados pela interferência de plantas daninhas. Franceschetti *et al.* (2018) relataram que a interferência de plantas daninhas reduziu em 15% o tamanho de espigas de milho e em 28% o peso de grãos, resultando em 32% de perdas no rendimento de grãos. Assim, o conhecimento da interferência de diferentes espécies daninhas sobre os componentes culturais é importante para melhorias no manejo, visando aumento do rendimento cultural e redução de prejuízos causados pelas plantas daninhas.

Quanto à cultura da soja, há diferentes estudos científicos que buscam chegar a um consenso sobre as épocas de interferência das plantas daninhas na cultura da soja, dentre estes, Nepomuceno *et al.* (2007). Estes autores evidenciaram que a produtividade da soja passou a ser afetada pela convivência com plantas daninhas, a partir de 34 dias após a emergência (DAE) (PAI). O PTPI foi estimado em 76 DAE, conseqüentemente, o PCPI

foi dos 34 aos 76 dias após a emergência da soja. O PCPI corresponde ao período em que efetivamente a cultura deve ser mantida na ausência das plantas daninhas.

A competição com plantas daninhas durante o ciclo da soja (*Glycine max*) pode reduzir o rendimento desta cultura em até 82%. Contudo, depende de características fisiológicas, nutricionais e ambientais, e também está relacionada à interação dessas espécies com diversos grupos de microrganismos, pois como sabemos, por se tratar de uma leguminosa, a soja obtém seu nitrogênio através da associação com as bactérias nitrificantes do solo, mas para isso a sua interação com estes organismos deve ser o mais estável possível.

Neste sentido, Fialho *et al.* (2020) demonstraram que a convivência da soja com algumas plantas daninhas, como a *Bidens pilosa*, *Urochloa decumbens* e *Eleusine indica* alterou a atividade da comunidade microbiana associada à rizosfera da espécie, demonstrando que a relação das plantas daninhas com as plantas de interesse econômico pode ser mais problemática do que é estimado, atualmente.

Habilidade competitiva de plantas daninhas

Um importante aspecto quanto a interferência de plantas daninhas é a dinâmica de populações, especialmente em áreas agrícolas, pois há favorecimento para disseminação de espécies, dadas as frequentes operações (PEREIRA *et al.*, 2021). A dinâmica de populações surge como influência de uma série de fatores que podem atuar isoladamente ou interagindo entre si. As espécies que conseguem se estabelecer com sucesso em determinado ambiente possuem mecanismos que permitem tirar proveito de certas situações e, ou minimizar efeitos prejudiciais de outros (FONTES, 2009).

Dentre os mecanismos em questão podemos destacar a produção de sementes. A sobrevivência de muitas plantas com flores depende da produção de um número suficiente de sementes viáveis. Isto é especialmente verdadeiro para plantas daninhas anuais que se reproduzem por sementes e, portanto, a prevenção da produção de sementes é a chave da perpetuação biológica destas espécies. A falha em prevenir a produção de sementes de plantas daninhas, geralmente resulta no aumento do número de sementes no solo e, posteriormente, de plantas daninhas emergidas na lavoura (NICOLETTI, 2022).

As sementes produzidas pela maioria das plantas daninhas são pequenas (ZIMDAHL, 2018). Por exemplo, Fleck *et al.* (2003), em estudo com *B. pilosa* e *S. rhombifolia*, na cultura da soja, relataram variação de 5,9 a 101,2 mil sementes m⁻² de *B. pilosa* e de 1,4 a 28,2 mil sementes m⁻² de *S. rhombifolia*, de acordo com a densidade de plantas. O sucesso da sobrevivência das plantas daninhas está diretamente relacionado a permanência das sementes no solo, seu grande banco de reserva. Isso é possível, porque as espécies desenvolveram evolutivamente mecanismos que permitissem a sua sobrevivência (GARDARIN; COLBACH, 2014). Dentre estes, a dormência de sementes representa uma das principais habilidades das espécies vegetais de garantir a sobrevivência e perpetuação da espécie.

A dormência é diretamente regulada pelo ambiente (temperatura, luz, umidade do solo) e fatores endógenos e exógenos da semente, envolvidos na regulação do metabolismo e germinação (NÉE *et al.*, 2017). O nível de dormência e a viabilidade das

sementes no tempo pode ser afetado pelas práticas culturais como o revolvimento do solo, causando mudanças temporais de temperatura e conteúdo de água no perfil do solo (YAMASHITA, 2010). Portanto, as medidas que controlam apenas as plantas são insuficientes para reduzir a dinâmica populacional em níveis de convivência.

As sementes de plantas daninhas podem permanecer viáveis por curtos ou longos períodos, dependendo das condições as quais são submetidas. As que estão na parte mais superficial ou incorporadas no solo estão sujeitas a perda de vigor e viabilidade com o decorrer do tempo, que é variável, dependendo da espécie. O manejo do solo e os sistemas de cultivo são um dos maiores influenciadores da dinâmica do banco de sementes (DALANHOL, 2017).

WENNECK *et al.* (2021) em pesquisa científica sobre envelhecimento acelerado de sementes de capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*), capim-colchão (*Digitaria horizontalis*), caruru (*Amaranthus viridis*) e corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia*), constataram que estas plantas conseguem atingir porcentagens de germinação superiores a 50%, mesmo após envelhecimento de longa duração (74 horas). Isto evidencia que as sementes de plantas daninhas detêm de mecanismos evolutivos que lhes conferem maior persistência para que sua reincidência nas áreas agrícolas seja facilitada.

Uma grande parte de plantas daninhas, em especial as que produzem sementes com baixa reserva energética, conseguem germinar apenas quando distribuídas nas camadas mais superficiais do solo, pois geralmente, as sementes dessas espécies necessitam de estímulos luminosos para terminar a dormência e iniciar o processo de germinação (BENECH-ARNOLD *et al.*, 2000). Estas espécies são denominadas de fotoblásticas positivas.

Contudo, existem espécies que não estão condicionadas a estímulos da luz para dar início ao processo germinativo, com isso, suas sementes se beneficiam da capacidade de emergir, mesmo estando distribuídas espacialmente em maiores profundidades, onde a luz é fortemente atenuada (CANOSSA *et al.*, 2007). Orzari *et al.* (2013) demonstra que a corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia*) é um exemplo claro de planta daninha com presença dessa característica de agressividade, classificada como fotoblástica negativa, essa espécie pode germinar mesmo na ausência de luz e em uma profundidade de até 20 cm.

O conhecimento da emergência de plantas daninhas se apresenta como um aspecto importante na tomada de decisão no controle e prevenção de novas infestações (DIESEL *et al.*, 2020). É fato, que se a germinação de plantas daninhas ocorresse de maneira uniforme o seu controle seria facilitado, mas geralmente isso não acontece, pois as plantas daninhas utilizam artifícios que promovem desuniformidade no seu processo germinativo e lhes garantem permanência na área (ZANDONÁ *et al.*, 2018). Um desses artifícios está relacionado com o mecanismo de dormência, cujas sementes não germinam mesmo em condições adequadas (BLANCO, 2014).

Outro aspecto citado por Blanco (2014) que ajuda a promover a desuniformidade do processo germinativo é a distribuição espacial de sementes. Estas é bastante afetada pelas práticas de preparo do solo, fazendo que as sementes por estarem amplamente distribuídas na área, recebam diferentes estímulos (TORRESEN *et al.*, 2017). Durante a colheita, por exemplo, dependendo do tipo de limpeza que a colhedora apresenta, pode

contribuir para a dispersão das sementes (BALLARE *et al.*, 1990). Sementes pesadas ou mal dispersáveis são espalhadas pela cauda da colhedora.

A reprodução de plantas daninhas por diferentes tipos de dissemináculos é uma das ferramentas de adaptação às variações do ambiente e para a manutenção e perpetuação das espécies. Por exemplo, tiririca (*Cyperus sp.*) reproduz-se por tubérculos, rizomas, bulbos e sementes; e a grama-seda (*Cynodon dactylon*) reproduz-se por estolões e sementes (BRIGHENTI *et al.*, 2011).

A ocupação rápida e efetiva do ecossistema agrícola é outro atributo muito importante no ciclo de vida das plantas daninhas. A largada inicial precoce de uma espécie confere vantagem no processo competitivo. Certas espécies que possuem o metabolismo fotossintético C₄ têm maior habilidade em retirar do meio os fatores necessários aos seus crescimento e desenvolvimento, uma vez que são mais eficientes na utilização do CO₂ atmosférico, conferindo-lhes, por conseguinte, maior taxa de crescimento, com menor gasto hídrico e melhor aproveitamento da energia luminosa. Como exemplo de plantas daninhas com metabolismo fotossintético C₄, pode citar o capim-amargoso (*Digitaria insularis*), capim carrapicho (*Cenchrus echinatus*) capim pé-de-galinha (*Eleusine indica*) e tiririca (*Cyperus sp.*) (GLIESSMAN, 2000).

Notoriamente, as plantas daninhas têm diversos mecanismos de reprodução, dispersão e crescimento, mas o que explica sua alta capacidade de gerar danos às plantas cultivadas? Para tentar explicar isto, há duas hipóteses.

A primeira hipótese versa sobre dois tipos de estratégias de dispersão, R e K. As plantas do tipo R, quando estabelecidas num ambiente, alocam mais energia para a reprodução, no geral tem vidas curtas e ocupam ambientes de maior perturbação. Já as estrategistas K, alocam mais energia para o crescimento vegetativo, costumam ter ciclos de vida longos e estádios vegetativos prolongado e ocorrem em ambientes de menor perturbação. As populações R tem seu tamanho determinado, principalmente em função dos fatores físicos do que bióticos, ao passo que nas populações K os fatores bióticos têm maior importância. Não existem indivíduos puramente R ou K, mas sim aqueles que combinam estratégias em maior ou menor grau (GLIESSMAN, 2000).

A segunda hipótese foi proposta por Grime (1977) e estabelece que as plantas crescem e se reproduzem em resposta a dois fatores: estresse e distúrbio. O estresse é um fenômeno externo que atua como impedimento ao crescimento e ao desenvolvimento da planta (excesso ou falta de água, variações na luminosidade, deficiência de nutrientes, extremos de temperatura, competição, etc.). A ação conjunta desses fatores condiciona a classificação de plantas daninhas em três tipos ecológicos básicos:

- *Tolerantes ao estresse*: quando a intensidade do distúrbio é baixa e a intensidade do estresse é alta. Essas plantas empregam pequenas quantidades de recursos para o crescimento vegetativo e para a produção de estruturas de reprodução. Agroecossistemas degradados ou intensivamente utilizados, onde o estresse é periódico (seca, por exemplo) favorecem o crescimento desse tipo de planta.
- *Competidoras*: quando a intensidade do distúrbio e do estresse é baixa. Predominam as espécies com grande mobilização de recursos para o crescimento vegetativo. São mais comuns em ecossistemas naturais ou agroecossistemas perenes.

- *Ruderais*: quando a intensidade do distúrbio é alta e a intensidade do estresse é baixa. Estas espécies apresentam rápido crescimento vegetativo e grande produção de propágulos. É o caso da maioria dos agrossistemas.

Ciência das plantas daninhas no Brasil

O período compreendido entre os anos de 1975 e 2007 pode ser considerado o apogeu do agronegócio brasileiro, pois foi neste interstício que as atividades de fornecimento de bens e serviços à agricultura passaram por uma grande expansão. As atuais terras de altas produtividades, como as situadas no Paraná e Mato Grosso do Sul já haviam sido conquistadas. A industrialização avançava à passos largos, com ela a acelerada urbanização, trazendo um novo desafio: abastecer com alimentos mais baratos, a crescente população urbana, aumentar e diversificar as exportações de produtos agropecuários, garantindo divisas para a importação de bens de capital para a indústria (ALVES *et al.*, 2008). Em resposta a essa contenda ocorre a chamada modernização da agricultura brasileira, baseado nas seguintes ideias:

- a) Pelas teses da Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (Cepal), liderada por Raul Prebisch, a relação de troca movia-se contra os países exportadores de matérias-primas. E, assim, a política econômica deveria favorecer o desenvolvimento do mercado interno e a diversificação da pauta de exportações. E o caminho era a industrialização.
- b) Os modelos de dois setores, como proposto por William Arthur Lewis, se assentaram na hipótese de produtividade marginal do trabalho nula na agricultura. O caminho era remover o excesso de trabalhadores rurais para a indústria e para o setor de serviços.
- c) A guerra mostrou que o poderio militar dependia fortemente da indústria e, ainda mais, as economias diversificadas tinham muito mais capacidade de gerar empregos, tão necessários em tempos de aceleração das taxas de natalidade.

Entretanto, a celebre história do Brasil se tornando um grande *player* no negócio agrícola global teve um começo bem conturbado. No começo da década de 1950 até o início da década de 1970, o governo brasileiro adotou a *draft industrialization* (industrialização forçada). Neste período inúmeras “regalias” foram criadas para a indústria, discriminando fortemente a agricultura, com isso o poder de atração das cidades aumentou causando maciço êxodo rural.

Até este ponto, a industrialização já havia cumprido o objetivo de criar uma economia diversificada e urbanizada, e aumentou substancialmente o poder de compra dos brasileiros. Mas, em conjunção com o rápido crescimento da população, a demanda de alimentos cresce, dando à agricultura um ambiente muito favorável para crescimento e modernização (ALVES *et al.*, 2008). O custo de oportunidade do trabalho põe os agricultores em foco, mas com uma rápida necessidade de intensificar a agricultura e mecanizar a exploração.

Na modernização da agricultura, destacaram-se três políticas: o crédito subsidiado, extensão rural e pesquisa agropecuária. Como a tecnologia na época baseava-se no mercado de insumos modernos, o crédito rural logo se tornou um dos instrumentos de

política agrícola mais importante (COELHO, 2001). Tanto quanto os subsídios, o extensionismo agrícola foi imposto de modo ferrenho, movido pela hipótese de que já existia um vasto estoque de tecnologias, com isso negligenciou-se a pesquisa.

Foi somente no início da década de 1970 que se percebeu que a hipótese era infundada, percebendo-se também que não era mais tão conveniente para o Brasil expandir a produção apenas por meio do aumento de área cultivada. Dessa forma, a melhor opção seria expandir a produção pelo incremento de produtividade, reduzindo o ímpeto de conquista da fronteira agrícola (ALVES *et al.*, 2008).

Por isto, passou-se a investir maciçamente em pesquisa agrícola, com o advento da Embrapa em 1973, e nos cursos de pós-graduação, sem reduzir os investimentos do governo federal em extensão rural (PORTAL EMBRAPA, 2005). Com o apoio da ciência, disponibilidade de insumos modernos, maquinário e instrumentos de política agrícola, a agricultura se moderniza, aumenta significativamente a produtividade da terra, trabalho e capital.

Essa evolução tardia das instituições de pesquisa científica voltadas para a agricultura, podem ser responsáveis pela lacuna histórica apresentada pelo Brasil no desenvolvimento da Ciência das Plantas Daninhas. Pois, uma vez que não haviam meios de câmbio de conhecimento e disseminação de pesquisas, parte do histórico da Ciência das Plantas Daninhas encontra-se ocluso, possivelmente sendo transmitido de maneira empírica de produtor para produtor.

Oficialmente, a história da Ciência das Plantas Daninhas, no Brasil, inicia na década de 1950, ou para ser mais exato, em 4 de julho de 1956 onde, no Rio de Janeiro, ocorreu o I Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, cujos trabalhos científicos publicados foram compilados em anais.

Tabela 1. Breve histórico da Ciências das Plantas Daninhas, no Brasil e no Mundo (adaptado de Concenço *et al.*, 2014)

No Mundo	No Brasil
1908 (Estados Unidos) – Relatos quanto ao controle de plantas daninhas com sal de cozinha, sulfato de ferro e cobre, e arsenito de sódio.	Não há relatos para este período.
1941 (Estados Unidos) – Fabricação do 2,4-D.	Não há relatos para este período.
1942 (Estados Unidos) – Determina-se que o mecanismo de ação do 2,4-D é a mimetização de substâncias de crescimento.	Não há relatos para este período.
1945 (Inglaterra) – Estabelecidos protocolos sobre o controle pré-emergente e seletivo de plantas daninhas.	Não há relatos para este período.
1951 (Estados Unidos) – Criação do periódico científico Weeds.	Não há relatos para este período.
1955 (Inglaterra) – Criação do herbicida “paraquat” pela Imperial Chemical Industries (ICI). Dessecante que deu impulso a fundamentos do sistema de plantio direto.	Não há relatos para este período.

1956 (Estados Unidos) – Criação da Weed Science Society of America. Assume o periódico científico Weeds e altera seu nome para Weed Science.	1956 – I Seminário Brasileiro de Herbicidas e Ervas Daninhas.
1960 (Europa) – Criação do European Weed Research Council (EWRC), o qual criou a revista Weed Research.	Não há relatos para este período.
Não há relatos para este período.	1963 – Criação da Sociedade Brasileira de Herbicidas e Ervas Daninhas.
Não há relatos para este período.	1969 - Introdução do sistema de plantio direto que colaborou para o controle de ampla gama de espécies daninhas.
1975 (Europa) – Criação da European Weed Research Society (EWRS).	Não há relatos para este período.
1976 (Australia) – Criação da International Weed Science Society.	Não há relatos para este período.
Não há relatos para este período.	1978 – Criação do periódico científico Planta Daninha
Não há relatos para este período.	1981 - Oficialização do programa Pro-Várzeas, inicialmente instalado no vale do rio Araranguá (SC), que colaborou no manejo de plantas daninhas do arroz
1996 (Estados Unidos) – Liberação do cultivo de soja transgênica tolerante ao herbicida glyphosate	Não há relatos para este período.
2000 (Vários países) – Criação da HRAC (Comitê de Ação à Resistência aos Herbicidas)	2000 – Criação da HRAC Brasil (<u>Comitê de Ação a Resistência aos Herbicidas no Brasil</u>)
Não há relatos para este período.	2005 – Liberação do cultivo de soja transgênica tolerante ao herbicida glyphosate.
2007 – Início dos estudos utilizando o RNAi (RNA de interferência) para o controle de plantas daninhas.	2007 – I Simpósio Internacional Amazônico Sobre Plantas Daninhas.
Não há relatos para este período.	2015 – Simpósio Nacional Sobre Plantas Daninhas Em Sistemas De Produção Tropical
Não há relatos para este período.	2017 – Campeonato Brasileiro De Herbologia.

É notório que em decorrências das tecnologias empregadas na época, todos os trabalhos apresentam temática semelhante, como controles alternativos, teste de produtos e biologia de plantas daninhas. Entre as culturas mais estudadas, encontravam-se cana-de-açúcar, trigo, milho, laranja, pastagens e hortifrutícolas, ou seja, aquelas de maior importância econômica e alimentícia na época.

Considerações finais

Diante do exposto pode-se enfatizar que: (i) a história das plantas daninhas atrela-se a história da humanidade e ao surgimento da agricultura; (ii) o homem é o principal responsável pela evolução das plantas cultivadas e plantas daninhas; (iii) plantas cultivadas e daninhas coevoluíram de maneira dinâmica, mas enquanto as plantas cultivadas tinham sua rusticidade e agressividade reduzidas gradativamente, as plantas daninhas percorreram o caminho inverso, tornando-se cada vez mais agressivas dada as perturbações no seu espaço. Como dito por Zimdahl (2011):

“A breve história da ciência das ervas daninhas foi impregnada com o que Veblen chama de conhecimento exotérico. É um conhecimento que tem um prestígio acadêmico desprezível, mas é muito útil. É um conhecimento pragmático e de resolução de problemas. A ciência das ervas daninhas é dominada pelo pragmatismo” (ZIMDAHL, 2011, p.14).

Desta forma, esta nova Ciência das Plantas Daninhas é pragmática, em que a validade de suas ideias é determinada pelo bom êxito prático, cujo homem se posiciona como principal solucionador dos problemas que as plantas daninhas ocasionam em lavouras.

CAPÍTULO 2

BANCO DE SEMENTES DE PLANTAS DANINHAS

Willians César Carrega¹

Allan Lopes Bacha¹

Pablo Nascimento de Oliveira França²

Pedro Luís da Costa Aguiar Alves³

¹Pós-doutorandos da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

²Engenheiro Agrônomo, Sócio-fundador da Agrárion.

³Professor da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

Introdução

A presença de plantas daninhas causa sérios impactos nos ecossistemas, levando a problemas ambientais, econômicos e colocando em risco a disponibilidade global de alimentos (LEE; THIERFELDER, 2017). Dentre os desafios enfrentados na agricultura, a competição das plantas daninhas com as culturas de interesse acarreta nas maiores perdas de rendimento quando comparada a outros fatores (doenças, pragas e vírus). Segundo Oerke (2006), as perdas causadas mundiais pelas plantas daninhas são estimadas em 34%, enquanto por doenças, pragas e vírus promovem perdas de 18%, 16% e 2%, respectivamente.

Devido ao impacto causado pela interferência das plantas daninhas, o principal objetivo de qualquer sistema de manejo (cultural, físico, mecânico, biológico e químico) é criar um ambiente prejudicial para a comunidade infestante (HARKER; O'DONOVAN, 2013). Para o sucesso de qualquer estratégia de manejo, conhecer o banco de sementes das áreas agrícolas é de fundamental importância para minimizar a competição com as culturas e, assim, assegurar o máximo potencial produtivo das lavouras, buscando os menores impactos ambientais e financeiros.

Em virtude do exposto, neste capítulo será apresentada uma visão geral sobre conceito, importância, dinâmica e resultados científicos que podem acelerar o decréscimo das sementes/propágulos nos bancos de sementes de plantas daninhas em solos agrícolas.

Conceito, importância, dinâmica e estudos recentes

A denominação "banco de sementes" ou "reservatório de sementes" no solo tem sido empregada em nível internacional para descrever a quantidade de sementes viáveis e outras estruturas de propagação (diásporos) que estão presentes na superfície e/ou enterradas no substrato ou em restos vegetais (CARMONA, 1992).

Os bancos de sementes apresentam papel ecológico extremamente importante no fornecimento de novos indivíduos para as comunidades vegetais ao longo do tempo (ROBERTS, 1981). Todos os habitats vegetáveis possuem, em maior ou menor quantidade, sementes no solo (CARMONA, 1992). A importância do banco de sementes presentes no solo pode ser encarada de duas formas: (i) a primeira, como fonte fundamental para a recuperação ambiental, sendo de grande impacto na restauração de áreas degradadas; e a (ii) segunda, como a capacidade de infestação de áreas agrícolas por meio de espécies daninhas que podem competir direta e indiretamente com as culturas de interesse econômico. Por isso, conhecer sua distribuição, quantificar e determinar a composição populacional das espécies daninhas no solo é crucial para a tomada de decisão das estratégias de manejo de futuras plantas infestantes.

A dinâmica do banco de sementes (Figura 1) é determinada pelo balanço entre a entrada (novas infestações) e a saída (perdas) de sementes no perfil do solo (CARMONA, 1992). O tamanho, densidade e a composição botânica do banco de sementes são variáveis de acordo com o histórico de uso da área, condições climáticas e práticas de manejo adotadas.

A entrada de sementes no solo é o resultado de áreas que sofrem novas infestações e/ou fontes de contaminação, por meio da disseminação, via transporte de sementes por

animais, água, vento ou pela ação antrópica. A saída de sementes (perdas) está relacionada à germinação, atividade de microrganismos, predadores, senescência e deterioração (CARMONA, 1992).

Neste capítulo, além dos fatores mencionados por Carmona (1992), incluímos outros dois elementos que atuam na dinâmica do banco de sementes. O primeiro diz respeito ao clima (temperatura, umidade, etc.), que atua diretamente no processo de germinação, emergência e estabelecimento das plantas durante o ciclo de desenvolvimento, e também no processo de deterioração e dormência das sementes. O segundo fato está relacionado ao efeito alelopático, que por meio da liberação no solo de substâncias químicas do metabolismo secundário de outras plantas, pode inibir a germinação/emergência de espécies suscetíveis.

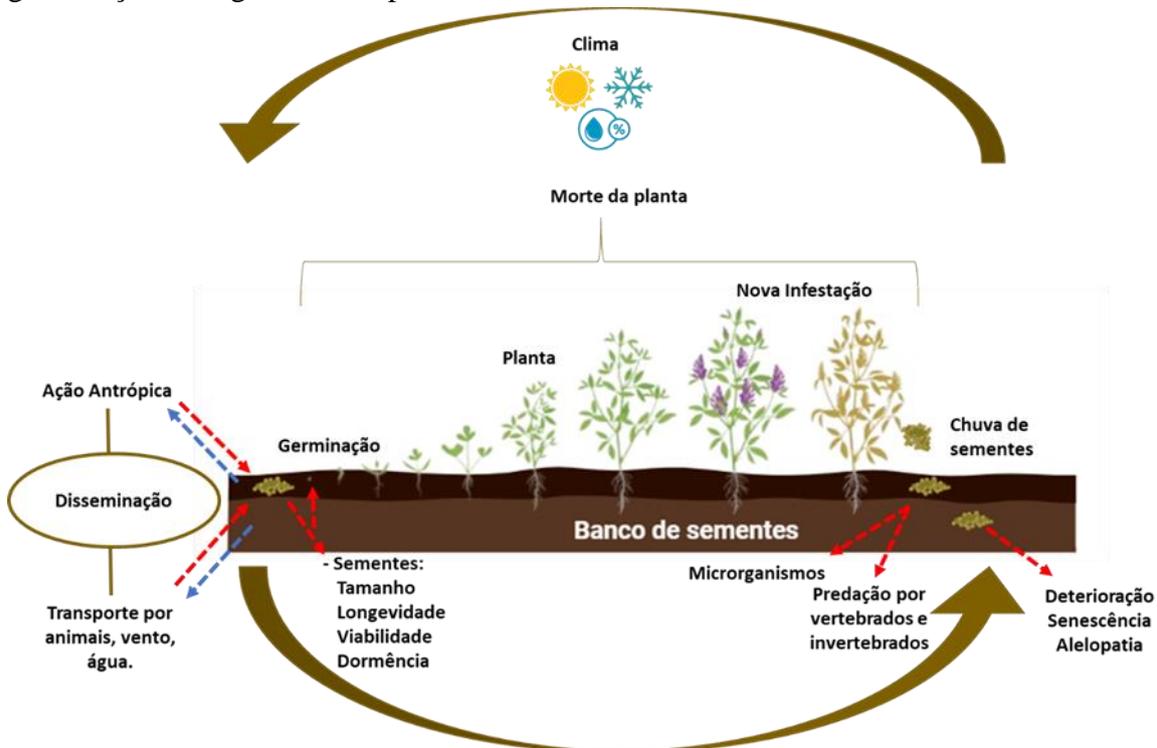


Figura 1. Dinâmica de banco de sementes. Adaptado de Carmona, 1992.

De maneira geral, os bancos de sementes são classificados como transitórios e persistentes. Os transitórios são os bancos de sementes que em condições favoráveis germinam dentro do período de um ano após a dispersão. São raras as espécies de plantas daninhas que fazem parte desse tipo de banco (p.e. *Avenua fatua* e *Matricaria perforata*). Já os persistentes são aqueles que após um ano da dispersão ainda se mantem viáveis no solo (THOMPSON; GRIME, 1979). Nesse tipo de banco, as estruturas apresentam diversos e complexos mecanismos de dormência ou estão enterradas em profundidades que limitam a obtenção de oxigênio e luz, recursos requeridos para germinação.

Considerando as áreas de produção agrícola, Roberts (1981) menciona que a maioria das sementes de plantas daninhas presentes no solo é proveniente, principalmente, de espécies daninhas anuais e das próprias culturas (Figura 2A). Dentre estas, as anuais destacam-se como as mais problemáticas, visto que as espécies cultivadas

passaram por algum processo de melhoramento genético, para melhorar a tolerância a doenças, pragas, aumento de produtividade e etc., tornando-as menos rústicas.

De acordo com Cavers e Benoit (1989), normalmente as espécies cultivadas apresentam baixa longevidade devido a ação de microrganismos no solo, por serem suscetíveis a predação e também por apresentarem rápido potencial germinativo devido à ausência de dormência. Feledyn-Szewczyk *et al.* (2020) observaram maior presença de plantas daninhas anuais e bianuais, em relação às plantas daninhas perenes, em diferentes sistemas de semeadura (Figura 2B-2D).

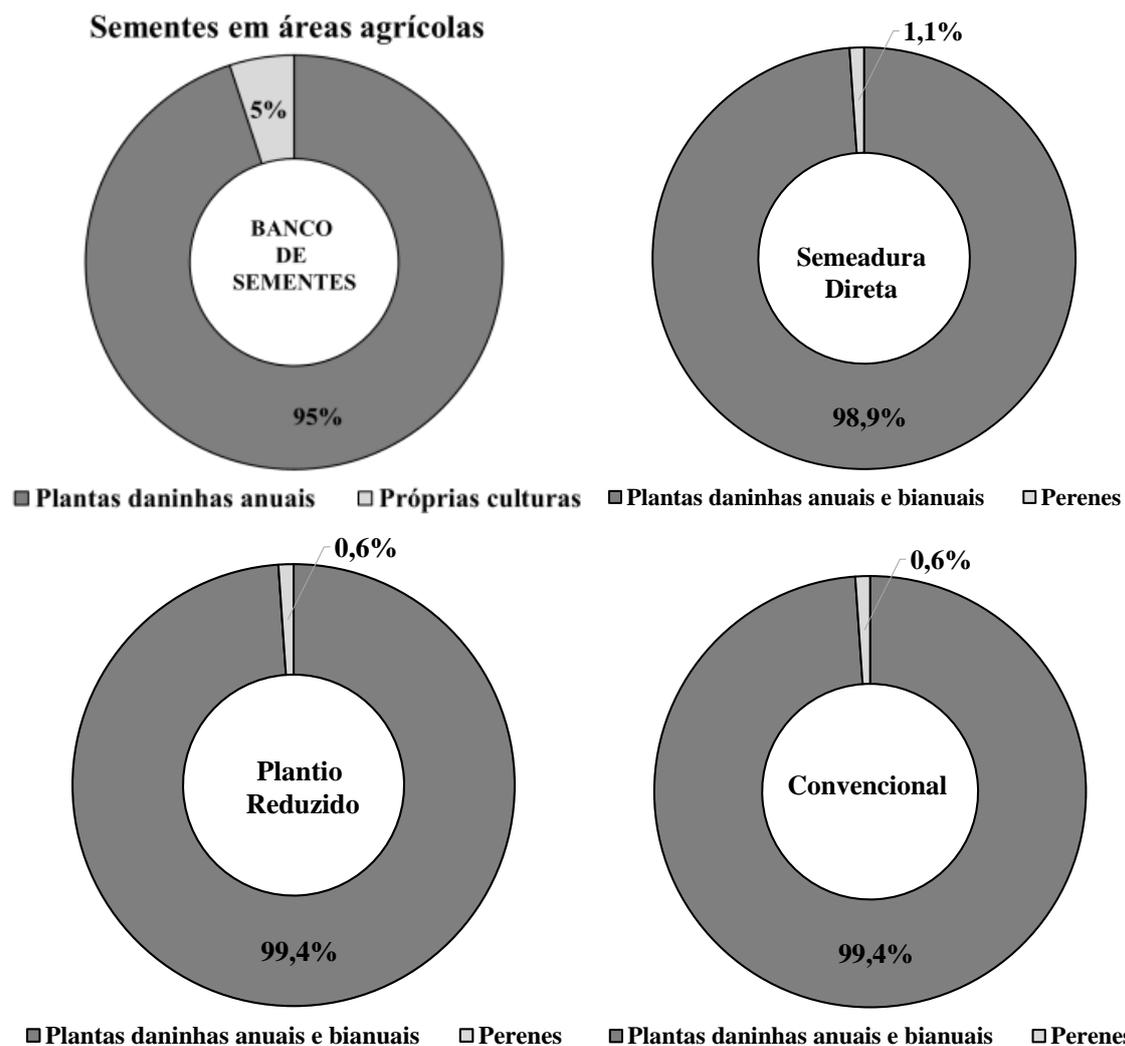


Figura 2. (A) Porcentagem de sementes em áreas agrícolas de acordo com Roberts (1981); (B, C e D) Porcentagem de espécies anuais/bianuais e perenes na densidade total de comunidades de plantas daninhas sob diferentes sistemas de preparo do solo, segundo Feledyn-Szewczyk *et al.* (2020).

De acordo Feledyn-Szewczyk *et al.* (2020), o banco de sementes em diferentes sistemas de plantio em rotação de cultura, apresentou diferenças significativas. Comparando três manejos (plantio direto, cultivo mínimo e convencional), os autores verificaram que o banco de sementes no sistema de semeadura direta apresentou 6.518 sementes m⁻², enquanto no cultivo mínimo, 4.511 sementes m⁻², e no convencional, 2.081

sementes m^{-2} . No geral, considerando a profundidade de 0-20 cm, o manejo convencional reduziu cerca de 70% o banco de sementes da área.

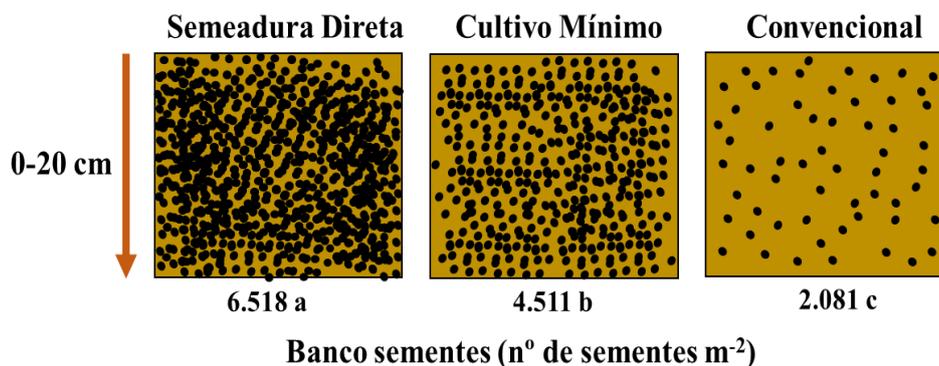


Figura 3. Número de sementes na camada de solo de 0-20 cm em diferentes sistemas de preparo (semeadura direta, cultivo mínimo e convencional). Adaptado de Feledyn-Szewczyk *et al.* (2020). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os sistemas de preparo de acordo com o teste de Kruskal-Wallis $p \leq 0,05$.

Analisando o banco de sementes em diferentes sistemas e profundidades, Feledyn-Szewczyk *et al.* (2020) verificaram que no sistema de plantio direto, na camada de 0-5 cm o banco de sementes foi maior, totalizando 4.351 sementes m^{-2} . Conforme a profundidade de coleta foi aumentada, o número de sementes m^{-2} reduziu progressivamente, com valores de 1.536 sementes m^{-2} (5-10 cm) e 631 sementes m^{-2} (10-20 cm). No sistema de cultivo mínimo, a quantidade de sementes se manteve próxima, independente da profundidade, com valores de 1.556 (0-5 cm), 1.773 (5-10 cm) e 1.182 (10-20cm). Contudo, no sistema de cultivo convencional, a resposta foi inversa ao observado no plantio direto. Ou seja, nesse sistema, os autores constataram menor número de sementes m^{-2} na profundidade de 0-5 cm (427 sementes m^{-2}) e foi aumentando conforme avaliou-se as demais profundidades 5-10 cm (707 sementes m^{-2}) e 10-20 cm (947 sementes m^{-2}). Apesar dessa resposta inversa, vale salientar que o banco de sementes da área com o manejo convencional, foi cerca de 70% menor, quando comparado com o plantio direto.

Dentre os fatores de importância para a germinação de plantas daninhas, a luz exerce papel fundamental, pois grande parte das sementes anuais são fotoblásticas positivas, ou seja, precisam de luz para germinar. Devido a esse fator, o sistema de preparo do solo (convencional e mínimo) tem influência direta no banco de sementes. A exposição das sementes à luz proporciona maior potencial germinativo e de emergência das plantas. Além disso, o revolvimento do solo pode contribuir para a quebra de dormência de sementes duras (dormência mecânica) e, assim, podem facilitar o controle de plantas daninhas e reduzir o banco de sementes da área. Conforme apresentado por Feledyn-Szewczyk *et al.* (2020), o banco de sementes no sistema convencional (revolvimento do solo), apresenta menor número de sementes m^{-2} na camada superficial (0-5 cm), quando comparado ao número de sementes da camada de 10-20 cm.

No sistema de plantio direto, a ausência de revolvimento do solo proporciona a maioria (cerca de 85%) das sementes concentradas na camada mais superficial (0-5 cm),

e isso possibilita redução do banco de sementes devido à exposição das sementes às condições adversas, como intempéries climáticas, predação e ação de microrganismos. O cultivo mínimo, apesar de expor algumas sementes tal como ocorre no sistema de plantio direto, também proporciona a deposição de algumas sementes nas camadas mais profundas, resultando numa distribuição mais uniforme no perfil do solo.

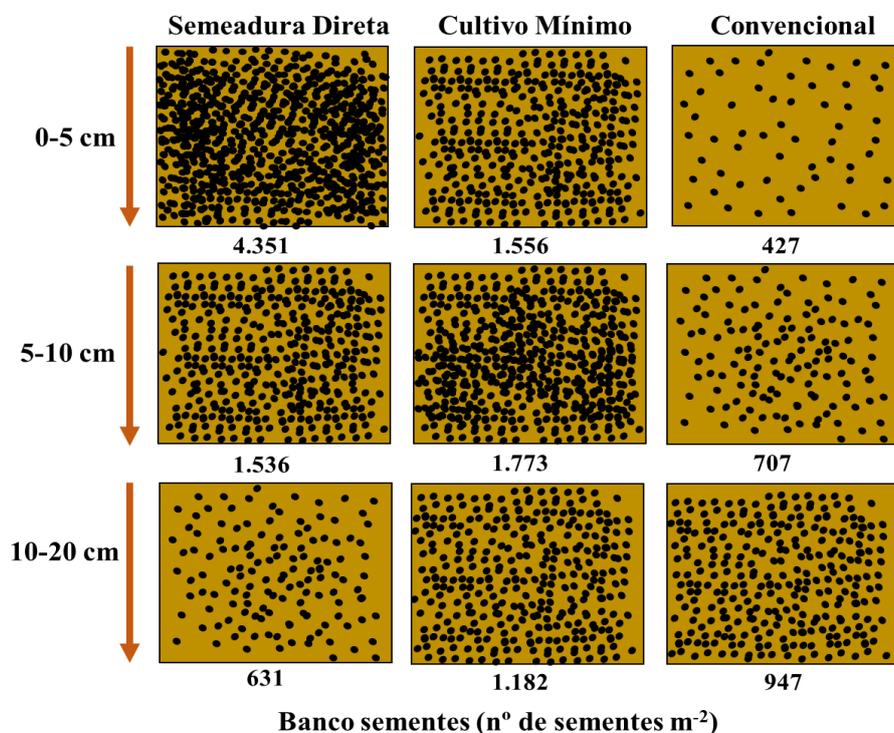


Figura 4. Número de sementes em três camadas do solo: 0–5, 5–10, 10–20 cm em diferentes sistemas de preparo (semeadura direta, cultivo mínimo e convencional). Adaptado de Feledyn-Szewczyk *et al.* (2020).

No decorrer do seu longo processo evolutivo, as plantas habitualmente daninhas desenvolveram uma série de características que as tornaram habilitadas a se estabelecerem e se perpetuarem mesmo em ambientes desfavoráveis ao seu crescimento e desenvolvimento. Quanto a estas características, destacam-se a produção de grande número de sementes, associadas ao desenvolvimento de mecanismos de distribuição da prole, no tempo e espaço. Dentre este último, destacam-se os mecanismos de dispersão, dormência e superação da dormência, associados a elevada longevidade de sementes. Tais características combinadas têm levado à formação de grandes bancos de sementes de plantas daninhas na maioria, ou talvez, na totalidade dos solos agrícolas.

Estas sementes presentes nos solos agrícolas das mais diversas regiões constituem a principal fonte de infestações futuras de plantas daninhas nas áreas. Assim, a estimativa do potencial de sementes no solo pode permitir um conhecimento melhor da dinâmica das espécies presentes na área e, conseqüentemente, na proposição de programas de manejo de plantas daninhas mais assertivos. Por exemplo, em área comercial de eucalipto localizada no município de Araraquara-SP realizou-se levantamento do banco de sementes em diversos talhões antes do plantio da cultura (rotação do eucalipto), em que

os pontos amostrais ficavam, em média, a 60 e 120 metros dos carregadores. As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0-10 centímetros. O conteúdo e a composição do banco de sementes de cada amostra foram obtidos mediante a técnica de peneiramento e/ou flotação descrita por Roberts (1981). A partir desses dados, foi estimado o conteúdo de sementes total e de cada espécie por metro quadrado, para a área total de estudo (Tabela 1).

O índice de dispersão (ID) de cada espécie foi estimado pela relação entre a variância (S^2) e a média (x). O índice de dispersão refere-se a localização espacial da população na área. Quando ID é menor que 1, a população apresenta distribuição geográfica casualizada; já em caso de valor igual a 1, a distribuição populacional é uniforme; e para ID maior que 1, a população é considerada como distribuição espacial agregada ou contagiosa.

A frequência relativa de ocorrência da espécie por talhão (FRO) foi calculada de acordo com a fórmula $FRO = n^\circ \text{ de pontos amostrais com a espécie presente} / n^\circ \text{ total de pontos amostrais efetuados}$.

O total de sementes de plantas daninhas avaliadas nos cinco talhões estudados variou de 14.637 a 20 sementes m^{-2} (Tabela 1). As espécies presentes na área, quanto ao conteúdo de sementes viáveis presentes no solo, foram *Portulaca oleracea* (beldroega), *Cyperus flavus* (junquinho, tiririca), *Spermacoce latifolia* (erva-quente), *Brachiaria decumbens* (capim-braquiária), *Sida glaziovii* (guanxuma), *Amaranthus hybridus* (caruru), *Ipomoea* sp. (corda-de-viola) e *Nicandra physaloides* (juá-de-capote) (Tabela 1).

Tabela 1. Resultados da análise do banco de sementes (no m^{-2}) em área comercial de eucalipto na região de Araraquara-SP. Número médio de sementes por m^2 , com participação percentual de cada espécie, índice de dispersão (ID) e frequência relativa de ocorrência específica, em um talhão com 36,9 ha, em que foram coletadas 42 amostras.

ESPÉCIES	Total de sementes m^{-2} (5 talhões)	Talhão com 42 amostras			
		Nº médio de sementes m^{-2}	B. Sem. (%)	ID	FRO (%)
<i>Spermacoce latifolia</i> (erva-quente)	2.140,00	689,00	9,18	2,80	56,60
<i>Cyperus flavus</i> (tiririca)	3.824,00	1.412,00	18,83	32,00	76,70
<i>Portulaca oleracea</i> (beldroega)	14.637,00	4.699,00	62,64	16,80	96,70
<i>Braquiaria decumbens</i> (braquiária)	1.648,00	628,00	8,37	18,80	20,00
<i>Nicandra physaloides</i> (juá-de-capote)	29,00	---	---	---	---
<i>Amaranthus hybridus</i> (caruru)	70,00	---	---	---	---
<i>Sida glaziovii</i> (guanxuma)	266,00	73,00	0,97	5,30	20,00
<i>Ipomoea</i> sp. (corda-de-viola)	20,00	---	---	---	---

Já na segunda área comercial de eucalipto, localizada em Guatapar-SP, e utilizando-se da mesma metodologia, observou-se um total de sementes de plantas daninhas (seis talhões avaliados) ainda maior, variando entre 47.503 a 11 sementes m⁻² (Tabela 2). As espécies presentes na área foram *Portulaca oleracea* (beldroega), *Cyperus flavus* (junquinho, tiririca), *Spermacoce latifolia* (erva-quente), *Brachiaria decumbens* (capim-braquiária), *Sida glaziovii* (guanxuma), *Amaranthus hybridus* (caruru), *Nicandra physaloides* (ju-de-capote), *Portulaca grandiflora* (onze-horas), *Phyllanthus tenellus* (quebra-pedra), *Croton glandulosus* (croton) e *Commelina benghalensis* (trapoeraba) (Tabela 2).

Tabela 2. Resultados da análise do banco de sementes (nó m⁻²) em área comercial de eucalipto na região de Guatapar-SP. Número médio de sementes por m², com participao percentual de cada espécie, ndice de dispersão (ID) e frequência relativa de ocorrência específica, em um talhão com 46,7 ha, em que foram coletadas 50 amostras.

ESPCIAS	Total de sementes m ⁻² (6 talhões)	Talhão com 50 amostras			
		Não médio de sementes m ⁻²	B. Sem. (%)	ID	FRO (%)
<i>Spermacoce latifolia</i> (erva-quente)	789,00	181,00	1,22	5,20	21,20
<i>Cyperus flavus</i> (tiririca)	12.875,00	1.528,00	10,28	45,80	60,60
<i>Portulaca oleracea</i> (beldroega)	47.503,00	12.739,00	85,68	117,60	90,90
<i>Braquiaria decumbens</i> (braquiária)	619,00	268,00	1,80	7,10	15,20
<i>Nicandra physaloides</i> (ju-de-capote)	477,00	150,00	1,01	7,10	12,10
<i>Amaranthus hybridus</i> (caruru)	3.409,00	678,00	4,56	11,80	36,40
<i>Sida glaziovii</i> (guanxuma)	142,00	32,00	0,22	1,40	9,10
<i>Portulaca grandiflora</i> (onze-horas)	4.612,00	985,00	6,62	21,70	24,20
<i>Phyllanthus tenellus</i> (quebra-pedra)	141,00	16,00	0,11	2,00	3,00
<i>Croton glandulosus</i> (croton)	11,00	---	---	---	---
<i>Commelina benghalensis</i> (trapoeraba)	43,00	---	---	---	---

Portulaca oleracea (beldroega) foi a espécie dominante em ambos os municípios, com mdias de 4.699 e 12.739 sementes m⁻², para Araraquara-SP e Guatapar-SP, respectivamente. Ocorreu praticamente em toda área (presente em 90% das amostras) e com distribuio contagiosa (Tabelas 1 e 2). Esta espécie é uma planta altamente frequente em solos cultivados, principalmente em hortas, pastagens antigas e milho. É considerada uma espécie prolífica, uma vez que uma planta pode produzir até 10.000 sementes, as quais têm potencial de permanecer viáveis no solo por mais de 19 anos (BRIGHENTI, 2010).

Cyperus flavus (junquinho, tiririca) foi a segunda espécie mais abundante na amostragem, ocorrendo também em todos os talhões com densidade média de 1.412 e 1.528 sementes m⁻², para Araraquara-SP e Guataporã-SP, respectivamente. Presente em 70% das amostras e com distribuição contagiosa (Tabelas 1 e 2). Esta espécie é frequente em quase todo território brasileiro, infestando principalmente pastagens. É uma planta perene que se reproduz por sementes e também a partir de curtos rizomas (MOREIRA; BRAGANÇA, 2010).

Conforme exposto, é possível observar a relevância no banco de sementes de *Portulaca oleracea* (beldroega) e *Cyperus flavus* (tiririca) em áreas florestais comerciais. Além disso, também há considerável quantidade de sementes de outras espécies, tais como *Spermacoce latifolia* (erva-quente), *Portulaca grandiflora* (onze-horas), *Amaranthus hybridus* (caruru). Desta maneira, os dados possibilitaram às empresas florestais a escolha de um manejo por manter as espécies gramíneas (já presentes nessas áreas) em níveis adequados de infestação (em faixas de controle, por exemplo), em detrimento da limpeza total da área e possibilidade de aparecimento de “novas” espécies com as quais essas empresas não possuíam estratégias de manejo pré-estabelecidas.

O sistema de manejo da cultura adotado pelos produtores também pode ser determinante na dinâmica populacional de plantas daninhas e, conseqüentemente, no banco de sementes da área (KUYA *et al.*, 2008; MONQUERO *et al.*, 2011). Nesse sentido, Pavani *et al.* (2014) realizaram um monitoramento durante cinco anos consecutivos em áreas de soja Roundup Ready® (RR) em diversos estados brasileiros. Para tanto, em cada uma das localidades avaliadas (Ponta Grossa-PR, Santo Gabriel do Oeste-MS, Sorriso-MT, Santa Helena de Goiás-GO e Barreiras-BA) foram previamente selecionados cinco pontos amostrais, de onde foram coletadas 125 sub-amostras (25 para cada ponto amostral), na camada de 0-10 cm de profundidade. O banco de diásporos foi avaliado pela contagem direta no solo, juntamente com o método de germinação (BROWN, 1992). O ciclo de germinação pelo revolvimento do solo foi repetido por três vezes. Em tais amostras, foram determinados os números médios de indivíduos e espécies. Em seguida, calculou-se o índice de diversidade de Shannon (H') (PIELOU, 1977).

Pavani *et al.* (2014) observaram que, de maneira geral, em todas as áreas avaliadas, o número médio de indivíduos reduziu quando se utilizou o sistema de manejo com soja e herbicida Roundup Ready® (SRR/HRR) (Figura 1). Por sua vez, quando se optou pela aplicação de herbicida convencional na soja RR (SRR/HCV), o número de diásporos contados nas amostras coletadas aumentou significativamente. De outra maneira, o sistema de manejo que se utilizou de herbicida e soja convencionais (SCV/HCV) obteve número médio de indivíduos intermediário, com exceção à área de Santa Helena de Goiás-GO, que apresentou considerável redução em comparação aos demais sistemas de manejo adotados (Figura 1).

A diminuição de indivíduos no banco de sementes pode ser desejável em áreas agrícolas comerciais, uma vez que pode resultar em economia para os produtores considerando os processos de manejo de plantas daninhas (MONQUERO; CHRISTOFFOLETI, 2005).

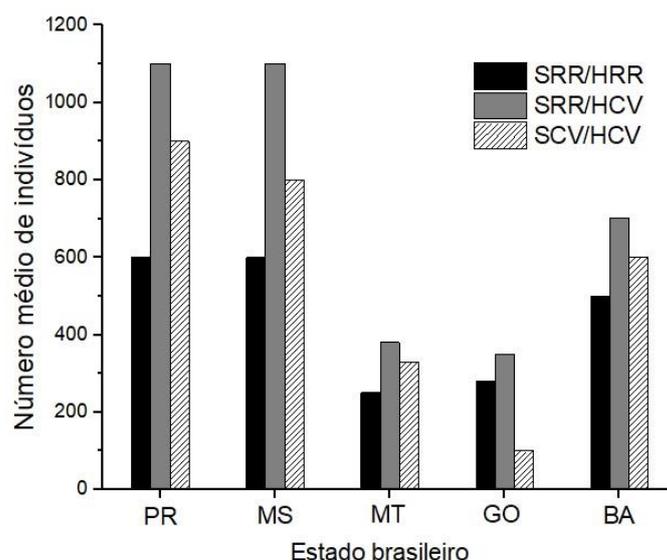


Figura 1. Média do número de indivíduos do banco de sementes coletados em diferentes áreas do Brasil, sob sistemas de manejos distintos. Coletas realizadas nas safras de 2005/2006 a 2009/2010. SRR = Soja Roundup Ready®; HRR = Herbicida Roundup Ready®; SCV = Soja Convencional; e HCV = Herbicida Convencional. PR = Ponta Grossa; MS = Santo Gabriel do Oeste; MT = Sorriso; GO = Santa Helena de Goiás; e BA = Barreiras. Adaptado de Pavani *et al.* (2014).

Considerando o número médio de espécies daninhas, Pavani *et al.* (2014) observaram um decréscimo em todos os sistemas de manejo avaliados, a partir do primeiro ano (Figura 2). O número de espécie foi reduzido especialmente quando se optou pelo sistema utilizando a soja e o herbicida Roundup Ready®; de maneira oposta, a combinação de SRR/HCV ocasionou a maior média de espécies infestantes considerando todas as áreas avaliadas (Ponta Grossa-PR, Santo Gabriel do Oeste-MS, Sorriso-MT, Santa Helena de Goiás-GO e Barreiras-BA) (Figura 2).

O amplo espectro de controle de plantas daninhas ocasionado pelo herbicida glyphosate é uma das causas da diminuição no número médio de espécies observadas. No entanto, é importante ressaltar que o uso repetitivo de um mesmo mecanismo de ação pode selecionar populações resistentes ou tolerantes numa determinada área. De maneira semelhante, produtos com efeito residual curto podem selecionar espécies com germinação tardia. Assim, a rotação de mecanismos de ação de herbicidas é recomendada (MONQUERO; CHRISTOFFOLETI, 2005).

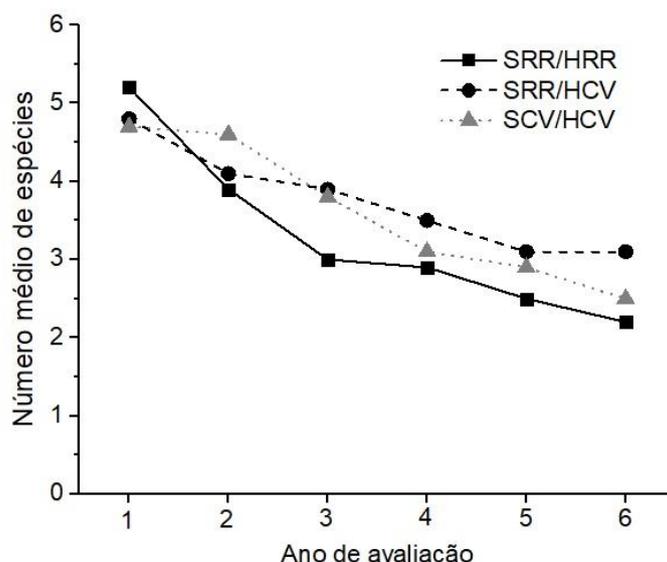


Figura 2. Média do número de espécies encontradas nos bancos de sementes coletados em diferentes áreas do Brasil, sob sistemas de manejos distintos. Coletas realizadas nas safras de 2005/2006 a 2009/2010. Os valores indicam as médias de todas as áreas avaliadas. SRR = Soja Roundup Ready®; HRR = Herbicida Roundup Ready®; SCV = Soja Convencional; e HCV = Herbicida Convencional. Adaptado de Pavani *et al.* (2014).

O uso repetitivo do herbicida glyphosate foi fator determinante na dinâmica do banco de sementes de espécies daninhas avaliadas por Monquero e Christoffoleti (2003). Ao testarem doses crescentes deste herbicida de amplo espectro de ação, os autores observaram que após dois anos, as espécies tolerantes *Commelina benghalensis*, *Ipomoea grandifolia* e *Richardia brasiliensis* obtiveram um aumento significativo na quantidade de sementes depositadas no solo (cerca de 12 milhões ha^{-1}) em detrimento das plantas daninhas suscetíveis (*Amaranthus hybridus* e *Galinsoga parviflora*, com média de 4 milhões de sementes ha^{-1}).

Com o uso de herbicidas aplicados em pré-emergência da comunidade infestante, Amim *et al.* (2016) observaram que o banco de sementes das famílias Poaceae e Asteraceae não foram afetados nas camadas do solo de 10 a 20 cm com a aplicação de indaziflam, indaziflam + metribuzim e diuron + hexazinone, durante quatro safras consecutivas em áreas de cana-de-açúcar. No entanto, na camada de 0 a 10 cm, essas combinações de herbicidas foram eficientes para a redução do banco de sementes da maioria das espécies avaliadas, com exceção da *Portulaca oleracea*.

Como foi apresentado nos exemplos acima, o levantamento do banco de sementes pode ser uma estratégia viável para a prospecção de futuras infestações e dinâmicas populacionais de espécies daninhas. Assim, é possível a elaboração de estratégias de manejo mais assertivas. Além disso, é importante ressaltar que a avaliação do banco de sementes também pode ser uma alternativa viável para mensurar o sucesso das estratégias de controle de plantas daninhas empregadas nas diversas áreas agrícolas, seja pela utilização de culturas com potencial alelopático [tais como sorgo (CHEEMA *et al.*, 2004; GLAB *et al.*, 2017), tremoço (BENEDITO *et al.*, 2021), alfafa (CHUNG; MILLER, 1995; XUAN; TSUZUKI, 2001) ou crotalária (MOSJIDIS; WEHTJE, 2011; MORRIS *et al.*, 2015)], solarização dos solos (COHEN *et al.*, 2008, 2019; KUVA *et al.*, 1995 a,b) ou

aplicação de herbicidas pulverizados em pré-emergência das plantas daninhas (VASILEIADIS *et al.*, 2007; AMIM *et al.*, 2016).

O banco de sementes pode ser determinado por dois métodos: a) através da lavagem de uma amostra do solo para remover as partículas sólidas, seguida da análise do material remanescente em peneiras, das quais as sementes são removidas, identificadas e contadas, por meio da indução da germinação das sementes nesta amostra de solo em condições específicas, conforme prescrito por Victoria Filho e Christoffoleti (2013).

Considerações finais

As plantas daninhas apresentam uma série de estratégias de sobrevivência, visando a perpetuação das espécies. Dentre as principais, a capacidade de reprodução e disseminação de sementes são de grande impacto. Por isso, entender a importância do banco de sementes e do ciclo das plantas, desde a germinação até a planta adulta e sua dinâmica com o ambiente, possibilita compreender melhor a dinâmica da infestação e determinar o melhor método de manejo, visando reduzir ou eliminar as plantas daninhas da área de produção agrícola.

CAPÍTULO 3

LEVANTAMENTO DE PLANTAS DANINHAS: FITOSSOCIOLOGIA E ANÁLISE ESPACIAL DA INFESTAÇÃO

Bruno França da Trindade Lessa¹
Marcos Sales Rodrigues²

¹Professor Adjunto, Colegiado de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal do Vale do São Francisco.
Doutor em Agronomia/Fitotecnia.

²Professor Adjunto, Colegiado de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal do Vale do São Francisco.
Doutor em Agronomia/Produção Vegetal.

Introdução

Para o planejamento das estratégias adequadas no manejo de plantas daninhas, é necessário identificar as espécies que compõe a comunidade vegetal infestante naquele local e tempo, assim como conhecer suas características morfofisiológicas, distribuição e potencial de interferência sobre as culturas agrícolas. Auxiliando, assim, na tomada de decisões quanto às estratégias de manejo mais apropriadas, principalmente quanto às técnicas de controle remediativas, em especial no que tange ao uso de herbicidas.

Citando a exemplo o livro *Plantas Daninhas do Brasil*, em sua quarta edição (LORENZI, 2008), são reportadas mais de 600 espécies vegetais com algum caráter de indesejabilidade, entre terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas. Estas, pertencentes a 92 famílias botânicas, com características e potenciais de interferência particulares apresentando diferentes origens: cultivadas, exóticas, naturalizadas e nativas.

Os pontos em comum entre muitas destas espécies são características que as tornam altamente competitivas e persistentes, chamadas de plantas daninhas verdadeiras e apresentam rápido crescimento vegetativo, alta capacidade de florescimento, produção elevada de sementes, existência de mecanismos de dormência, facilidade de dispersão, formação de banco de disseminulos no solo, alta plasticidade fenotípica e germinação e crescimento em condições adversas (CARVALHO, 2013).

O estudo das comunidades infestantes pode ainda ser associado ao conhecimento do modo como as populações estão distribuídas na área: generalizada (uniforme) ou local (reboleiras). Este tipo de estudo auxilia no planejamento do manejo sustentável, realizando atividades de controle de forma pontual, ou seja, onde são estritamente necessárias, trazendo benefícios como maior retorno econômico e menor impacto ambiental. Portanto, a geoestatística, surge como uma ferramenta que permite o mapeamento das populações de plantas daninhas, facilitando o entendimento da distribuição espacial e ajudando quanto ao manejo estratégico e específico das lavouras.

Levantamento florístico e fitossociológico

Cada propriedade ou até mesmo cada lote de produção podem apresentar uma variação florística distinta (e geralmente apresentam), fazendo necessário conhecer ao menos as espécies predominantes, ou seja, populações que se destacam na paisagem pelo grande número de indivíduos ou grande produção de biomassa verde, o que termina afetando a capacidade de suporte da área e o desenvolvimento das culturas. Ou, ainda, àquelas com importância, mesmo que em baixa quantidade, à exemplo de plantas tóxicas no meio da pastagem ou parasitas num cultivo perene; nestes casos, inclusive um pequeno número de indivíduos pode causar grandes prejuízos.

Portanto, recomenda-se um estudo fitossociológico da comunidade infestante, o que permite identificar, quantificar, classificar e conhecer a dinâmica das plantas daninhas num determinado sistema agrícola, incluindo sua distribuição e relações com as características de solo e clima da região. Alguns protocolos são fundamentais ao processo, como a definição da unidade amostral e critério de inclusão, registro das variáveis numéricas para indivíduos incluídos e o cálculo dos índices fitossociológicos (CARDOSO *et al.*, 2013; SARMENTO *et al.*, 2015; KUVA *et al.*, 2021).

Os levantamentos podem ser isolados para diagnóstico pontual, o qual é muito utilizado nas pesquisas científicas; ou contínuo, para o monitoramento da evolução da infestação e análises das mudanças da flora, sendo este último recomendado como suporte técnico nas áreas de produção para indicação de manejo. Geralmente, seguem um método padrão conhecido por Método do Quadrado Inventário, que consiste no lançamento de um quadro vazado de dimensão conhecida, geralmente entre 0,25 a 1 m² (Figura 1). O quadro vazado é lançado sobre as populações infestantes e as plantas contidas em seu interior são separadas por espécie e contabilizadas. Pode-se, ainda, serem coletadas, contando-as rente ao solo para posterior secagem em estufa (70°C por 72 horas) e pesagem, determinando-se a biomassa seca (SANTOS *et al.*, 2016).



Figura 1. Método do Quadrado Inventário para levantamento fitossociológico de plantas daninhas.

No momento da amostragem, quando não é possível a identificação da espécie de imediato, é importante que um indivíduo desta, seja coletado e encaminhado à especialistas ou profissionais experientes. Outras formas de consulta podem ser através de herbários oficiais, em geral vinculados à institutos de pesquisa e universidades, ou, ainda por meio de manuais de identificação disponível na literatura técnica, como Lorenzi (2008), Moreira e Bragança (2011), Gazziero (2015) e Lessa (2021).

Os dados obtidos em campo servem para calcular os parâmetros fitossociológicos de interesse, em seus valores absolutos e relativos, como a frequência (F e Fr), densidade (D e Dr), abundância (A e Ar), dominância (Do e Dor) e índice de valor de importância (IVI e IVIr), através das formulas propostas por Mueller-Dombois e ElleMBERG (1974), e amplamente utilizadas em trabalhos técnicos e científicos sobre dinâmica vegetal (Eq. 1 a 8). Assim, as espécies podem ser ranqueadas e agrupadas por classes de importância, baseando-se nos valores obtidos de IVI ou IVIr e suas proximidades numéricas, a exemplo da Tabela 1.

Frequência (F):

$$F = \frac{\text{n}^\circ \text{ de parcelas que contêm a espécies}}{\text{n}^\circ \text{ total de parcelas utilizadas}} \quad (1)$$

Densidade (D):

$$D = \frac{\text{n}^\circ \text{ total de indivíduos por espécies}}{\text{área total coletada}} \quad (2)$$

Dominância (Do):

$$Do = \frac{\text{biomassa seca total da espécie}}{\text{área total coletada}} \quad (3)$$

Frequência relativa (Fr):

$$Fr = \left(\frac{\text{freqüência da espécie}}{\text{freqüência total de todas as espécies}} \right) \times 100 \quad (4)$$

Densidade relativa (Dr):

$$Dr = \left(\frac{\text{densidade da espécies}}{\text{densidade total de todas as espécies}} \right) \times 100 \quad (5)$$

Dominância relativa (Dor):

$$Dor = \left(\frac{\text{dominância da espécies}}{\text{dominância total de todas as espécies}} \right) \times 100 \quad (6)$$

Índice de valor de importância (IVI):

$$IVI = Fr + Dr + Dor \quad (7)$$

Índice de valor de importância relativo (IVIr)

$$IVIr = \left(\frac{\text{IVI da espécies}}{\text{somatório do IVI de todas as espécies}} \right) \quad (8)$$

Tabela 1. Parâmetros fitossociológicos obtidos de um levantamento de plantas daninhas na cultura da soja em Luís Eduardo Magalhães-BA. Fonte: Caetano *et al.* (2018).

Espécie	NQ	NI	F	Fr	D	Dr	A	Ar	IVI	IVIr
<i>Digitaria sp.</i>	53	309	1,0	22,3	5,8	39,02	5,8	27,2	88,5	29,5
<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	51	185	1,0	21,4	3,5	23,36	3,6	16,9	61,7	20,5
<i>Cyperus sp.</i>	44	132	0,8	18,5	2,5	16,67	3,0	14,0	49,2	16,4
<i>Praxelis pauciflora</i> (Kunth) R.M. King & H. Rob.	25	61	0,5	10,5	1,1	7,70	2,4	11,4	29,6	9,9
<i>Trindax procumbens</i> L.	22	41	0,4	9,3	0,8	5,18	1,9	8,7	23,1	7,7
<i>Amaranthus deflexuz</i> L.	21	27	0,4	8,8	0,5	3,41	1,3	6,0	18,2	6,1
<i>Ipomoea sp.</i>	15	25	0,3	6,3	0,5	3,16	1,7	7,8	17,2	5,7
<i>Portulaca oleraceae</i> L.	7	12	0,1	2,9	0,2	1,52	1,7	8,0	12,5	4,2
Total Geral	238	792	4,5	100	14,9	100	21,4	100	300	100

Número de presença em quadrados (NQ), número de indivíduos (NI), frequência (F), frequência relativa (Fr), densidade (D), densidade relativa (Dr), abundância (A), abundância relativa (Ar), índice de valor de importância (IVI) e índice de valor de importância relativo (IVIr) das espécies de plantas daninhas coletadas aos 35 dias após o plantio (DAP) em área de soja, cultivar IPRO 4283. **Fonte:** Caetano *et al.* (2018).

Legenda:

	<i>Espécie mais importante</i>
	<i>Grupo de espécies com importância intermediária</i>
	<i>Grupo de espécies com baixa importância</i>

Em caso de impossibilidade da quantificação da biomassa seca para o cálculo do IVI, em razão da falta de equipamentos, como estufas de secagem artificial ou balanças (0,1 g), este pode ser calculado alternativamente substituindo a dominância pela abundância (Eq. 9 a 11), como em trabalho de Adegas *et al.* (2011) e Caetano *et al.* (2018).

Abundância (A):

$$A = \frac{\text{n}^\circ \text{ total de indivíduos por espécies}}{\text{n}^\circ \text{ total de quadros contendo a espécie}} \quad (9)$$

Abundância relativa (Ar):

$$Ar = \left(\frac{\text{abundância da espécies}}{\text{abundância total de todas as espécies}} \right) \times 100 \quad (10)$$

Índice de valor de importância (IVI):

$$IVI = Fr + Dr + Ar \quad (11)$$

Para complemento das análises ou necessidade de comparação entre diferentes locais são frequentemente utilizados os índices de diversidade e similaridade, baseados nas quantidades de espécies em cada área inventariada. Para a diversidade, citam-se os índices de Shannon-Wiener e Simpson; e quanto à similaridade, índices de Jaccard e Sorensen (SIMPSON, 1949; SORENSEN, 1972; MUELLER-DOMBOIS E ELLENBERG, 1974; ODUM, 1995).

No tocante à diversidade, ressalta-se que o Índice de Shannon-Wiener é utilizado para inferir se a comunidade X é mais diversa que a comunidade Y. Enquanto que o Índice de Simpson indica a probabilidade de dois indivíduos retirados ao acaso nas comunidades pertencerem a espécies diferentes (MELO, 2008).

Coefficiente de Similaridade de Jaccard (Sj):

$$Sj = \left(\frac{A}{A+B+C} \right) \quad (12)$$

Coefficiente de Similaridade de Sorensen (Ss):

$$Ss = \left(\frac{2A}{2A+B+C} \right) \quad (13)$$

Onde: “A” é o número de espécies comuns às áreas; “B” é o número de espécies na área 1; e “C” é o número de espécies na área 2.

Índice de Diversidade de Shannon-Wiener (H):

$$H = - \sum p_i \ln(p_i) \quad (14)$$

Índice de Diversidade de Simpson (D):

$$D = 1 - \sum p_i^2 \quad (15)$$

Onde $\pi_i = n_i/N$; sendo “ n_i ” o número de indivíduos de uma dada espécie; e “ N ” o número total de indivíduos.

Análise espacial e estudo geostatístico

O estudo das comunidades infestantes pode ainda ser associado ao conhecimento do modo de distribuição da comunidade infestante na área amostral: generalizada (uniforme) ou local (reboleiras). Este estudo auxilia no planejamento do controle sustentável, realizando atividades de forma pontual onde é estritamente necessário, trazendo benefícios como maior retorno econômico e menor impacto ambiental (ROCHA *et al.*, 2015).

Além dos fatores inerentes à espécie e biotipo, fatores climáticos, fisiográficos e antrópicos (manejo agrícola) determinam a ocorrência e permanência de determinada planta num dado ambiente (BOOTH, MURPHY, SWANTON, 2003), o que interfere no modo como as populações se distribuem. Balastreire e Baio (2001) afirmam que a habilidade de descrever e mapear a distribuição espacial das plantas daninhas é o primeiro passo para o estudo da variabilidade espacial, podendo garantir o manejo consciente em acordo com a agricultura de precisão e viabilizando gerência tecnológica e digital.

Na fitossanidade, o padrão espacial das populações indesejadas pode ser estudado através de índices estatísticos, que conferem o grau de agregação das pragas. Este grau pode variar entre altamente agregado, agregado, uniforme ou aleatório. E, como muitos trabalhos já apresentaram (SILVA *et al.*, 2017; MARTÍN *et al.*, 2018; LOPES *et al.*, 2020; LESSA *et al.*, 2021), o grau de distribuição de plantas daninhas na lavoura, em geral com padrão agregado para as populações.

O caráter de agrupamento das populações, que mostra quando as plantas estão distribuídas em forma de “reboleiras” ou uniformemente distribuídas, pode ser estudado por meio de métodos envolvendo atributos estatísticos básicos dos conjuntos de dados levantados em campo. Citam-se a razão variância/média (eq. 12), coeficiente de Green (eq. 13) e 3), expoente k da distribuição binomial negativa (eq. 14). Para estas análises são necessários os cálculos de variância (s^2) e média amostral (\bar{x}) por espécie, e em geral, leva-se em consideração o total de indivíduos amostrados (n).

1) Razão variância/média - I : é o método mais comum em áreas agrícolas. Quando esta razão resulta em valores menores que 1 indica distribuição espacial aleatória. Valores superiores a 1 indicam distribuição agregada. Valor próximo a 0 é considerado um padrão de distribuição uniforme (MONQUERO, HIRATA E PITELLI, 2014).

$$I = \frac{s^2}{\bar{x}} \quad (12)$$

2) Coeficiente de Green - C_x : também é baseado na relação variância/média. Valores negativos indicam um padrão uniforme de distribuição e valores positivos indicam padrão agregado (GREEN, 1966). O coeficiente é dado pela seguinte expressão:

$$C_x = \frac{(s^2/\bar{x})}{(n-1)} \quad (13)$$

3) Expoente k da distribuição binomial negativa - k: Quando os valores são negativos indicam uma distribuição uniforme, quando são baixos e positivos ($k < 2$) indicam uma disposição altamente agregada, valores de k variando de 2 a 8 ($2 > k > 8$) indicam uma agregação moderada e valores superiores a 8 ($k > 8$) indicam disposição aleatória (ELLIOTT, 1979). A estimativa dos valores de k é baseada no método dos momentos (COSTA *et al.*, 2006), através da seguinte expressão:

$$k = \frac{\bar{x}^2}{(s^2 - \bar{x})} \quad (14)$$

Contudo, Schaffrath *et al.* (2007) afirmam que estas tradicionais medidas de tendência e dispersão são de pouca utilidade e podem induzir a superestimativas, pois não é considerada a posição dos indivíduos no espaço. Neste sentido, o uso da geoestatística em estudos de distribuição espacial de plantas daninhas apresenta potencial tecnológico e ambiental (SCHAFFRATH *et al.*, 2007), possibilitando técnicas mais precisas de mapeamento, como a Krigagem, que é baseada na teoria das variáveis regionalizadas e permite validação dos dados, checagem dos erros e maior detalhamento local (JACOB E YOUNG, 2006; KRAHMER *et al.*, 2020).

Nesses casos, os dados geográficos dos pontos amostrados (quadros) no momento do levantamento em campo são coletados com uso de receptor GNSS (Global Navigation Satellite System), sendo as variáveis de estudo, em geral, o número de indivíduos e/ou a biomassa, por categorias de plantas (família, espécie, biótipo, etc.), ou infestação total de cada quadro. Como exemplo, na Figura 2 é possível visualizar um mapeamento da ocorrência de plantas daninhas das famílias Cyperaceae e Malvaceae, em áreas distintas no município de Dianópolis-TO.

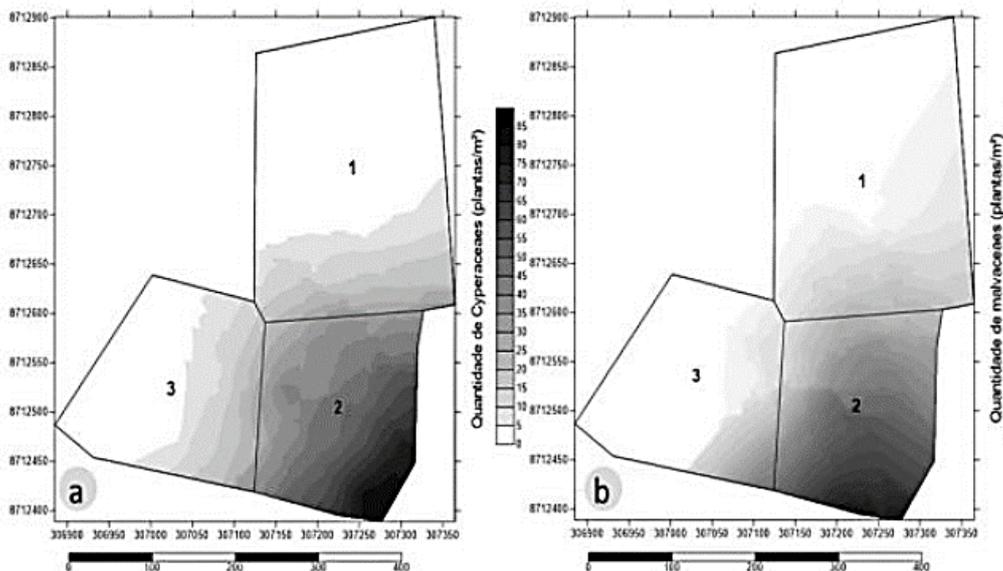


Figura 2. Variabilidade espacial de plantas daninhas das famílias Cyperaceae (a) e Malvaceae (b). Área 1 (pastagem), Área 2 (cultivo perene), Área 3 (pousio). **Fonte:** Sena *et al.* (2021).

A geostatística é uma das mais importantes ferramentas da agricultura de precisão. Ela foi desenvolvida pelo matemático francês George Matheron e descrita em seu clássico artigo intitulado *Principles of Geostatistics*. Inicialmente, a geostatística foi desenvolvida para o uso na mineração, porém, atualmente, diversas áreas do conhecimento têm utilizado seus conceitos e aplicado no mapeamento de suas variáveis. Contrariamente a estatística tradicional onde é assumido a independência das amostras, na geostatística considera que a distância entre as amostras interfere na estimativa da variável. Portanto, um dos princípios da geostatística é assumir que amostras mais próximas, são mais semelhantes que amostras mais distantes, permitindo desta forma quantificar a correlação espacial (MATHERON, 1963; RODRIGUES, 2016; RODRIGUES *et al.*, 2020).

Na prática, a geostatística é utilizada para criar mapas de diversas variáveis relacionadas a produção agrícola, tais como solo, produtividade das culturas e, portanto, variáveis relacionadas as infestações de plantas daninhas. Para avaliar se os dados são espacialmente correlacionados, o semivariograma é utilizado. O semivariograma é um modelo que representa o grau de continuidade de uma variável no espaço e é ferramenta fundamental para produção dos mapas por meio da Krigagem (MATHERON, 1963; RODRIGUES *et al.*, 2020).

Diversos trabalhos têm mostrado que a distribuição das plantas daninhas em áreas agrícolas não é aleatória, mas obedece a uma dependência espacial. Na literatura encontram-se relatos de dependência espacial de moderada a forte para variáveis de plantas daninhas quando observado os parâmetros dos semivariogramas (CHIBA *et al.*, 2010; KALIVAS *et al.*, 2012; METCALFE *et al.*, 2016, SIQUEIRA *et al.*, 2016; AVILA *et al.*, 2019; IZQUIERDO *et al.*, 2020).

O grau de dependência espacial é um indicativo da qualidade do mapa, pois quanto maior o grau de dependência, menor será o efeito pepita (erro) e por consequência menor será o erro na estimativa dos mapas na krigagem (CAMBERDELLA *et al.*, 1994). Entre as espécies infestantes encontradas em campos agrícolas de estudos recentes com verificação de dependência espacial, citam-se: *Abutilon theopasti*, *Bidens pilosa*, *Bromus diandrus*, *Cenchrus equinatus*, *Commelina* spp., *Convolvulus arvensis*, *Conyza* spp., *Cynodon dactylon*, *Cyperus rotundus*, *Datura ferox*, *Euphorbia* spp., *Eleusine indica*, *Heliotropium indicum*, *Ipomoea triloba*, *Solanum nigrum*, *Sorghum halepense* e *Xanthium strumarium* (CHIBA *et al.*, 2010; KALIVAS *et al.*, 2012; SCHAFFRATH *et al.*, 2007; ROCHA *et al.*, 2015, KRAHMER *et al.*, 2020; IZQUIERDO *et al.*, 2020).

Em análise da comunidade infestante em área sob semeadura direta, Chiba et al. (2010) encontram dependência espacial definida (moderada) independentemente do tipo de planta (folhas estreitas e largas). Os modelos matemáticos que apresentaram os melhores ajustes foram o esférico e o exponencial (Figura 3), modelos comuns em estudos com plantas daninhas. Os autores ainda relataram que plantas daninhas importantes, como *Amaranthus* spp. e *Portulaca oleraceae* já foram submetidas a estudos geostatísticos apresentando ajustes aos modelos citados e permitindo a geração de mapas de densidade populacional com alta confiabilidade.

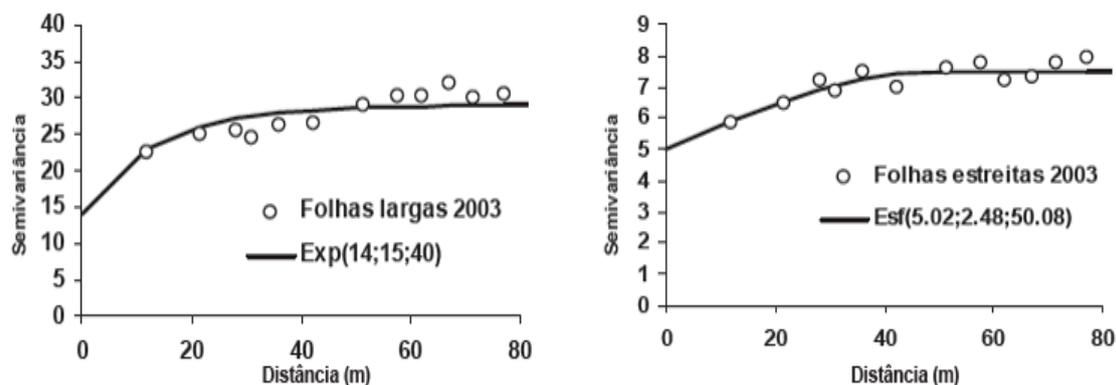


Figura 3. Semivariogramas de plantas daninhas, em função do tipo de folha, em área sob semeadura direta, no ano de 2003, Campinas, São Paulo. Modelos Esf = esférico / Exp = exponencial e parâmetros (efeito pepita, variância estrutural e alcance). **Fonte:** Chiba *et al.* (2010).

Contudo, algumas vezes não é possível utilizar a geoestatística para criação de mapas de plantas daninhas, em decorrência do número insuficiente de amostras para realizar a Krigagem, ou ausência de conhecimento na modelagem do semivariograma. Nestes casos, existe a alternativa de usar métodos determinísticos para a interpolação dos dados. A interpolação é uma técnica matemática que ajusta uma função a pontos não amostrados, baseando-se em valores obtidos em pontos amostrados. Esta técnica tem sido largamente utilizada na agricultura de precisão para a confecção de mapas de atributos do solo, recomendação de fertilizantes e corretivos, produtividade das culturas, plantas daninhas entre outros.

Os métodos de interpolação podem ser divididos em (i) determinísticos, no qual utilizam-se funções matemáticas para interpolação, e (ii) geoestatísticos, que se baseia em métodos estatísticos que consideram a dependência espacial das amostras, podem ser utilizados para criar mapas de superfícies e também permite avaliar a incerteza da predição (Krigagem) (JOHNSTON *et al.*, 2001).

Os métodos de interpolação determinísticos podem ser divididos em dois grupos: global e local. As técnicas globais calculam a predição usando todo o banco de dados, enquanto que as técnicas locais calculam a predição com a medida dos pontos no alcance estabelecido para os vizinhos (JOHNSTON *et al.*, 2001). Os métodos de interpolação determinísticos mais comumente utilizados são o Inverso do Quadrado da Distância (IQD), Interpolação Polinomial Local (IPL) e Funções de Base Radial (FBR).

Um interpolador determinístico pode forçar ou não, o resultado da interpolação a passar pelo valor real. A técnica de interpolação que prediz um valor idêntico com o valor medido na mesma posição de amostragem é conhecida como interpolador exato. Um interpolador inexato prediz um valor que pode ser diferente do valor medido na mesma posição. O IQD e FBR são interpoladores exatos, enquanto que o IPL é inexato (JOHNSTON *et al.*, 2001).

O inverso do quadrado da distância implementa a suposição de que um valor de um atributo num local não amostrado é a média ponderada de pontos conhecidos dentro dos vizinhos circundantes ao local não amostrado (BURROUGH; MCDONNELL, 1998). A

interpolação polinomial local ajusta um polinômio de uma ordem específica (primeira, segunda e terceira ordem), usando somente os valores dos vizinhos previamente definidos. Os vizinhos se sobrepõem e o valor usado para cada predição é o valor do polinômio ajustado no centro do valor do vizinho (JOHNSTON *et al.*, 2001).

Por sua vez, o método de interpolação de Funções de Base Radial consiste de polinômios que descrevem partes de uma linha ou superfície, que são encaixados de modo que os pontos se juntem por meio de uma suavização (WEBSTER; OLIVER, 2007). Para determinar qual o melhor interpolador a se utilizar é preciso utilizar algumas medidas de qualidade de mapa. A qualidade de um mapa é tipicamente determinada pela comparação de valores observados nos mapas com aqueles obtidos por várias técnicas analíticas, tanto quantitativas como qualitativas. Gráficos de valores preditos versus valores medidos devem ser visualmente examinados para avaliar a qualidade de predição de um determinado interpolador.

Uma das medidas quantitativas é a precisão do mapa que é calculada como sendo o desvio padrão dos resíduos. A acurácia do mapa é uma outra medida quantitativa de qualidade, que consiste do quadrado do viés (erro sistemático) e o viés da média dos resíduos. O erro quadrático médio é a soma da precisão e da acurácia (MUELLER *et al.*, 2004). Diversos sistemas de informações geográficas (SIGs) possuem a opção de escolher algum destes interpoladores apresentados, assim como auxiliam na definição do melhor interpolador com base nas medidas de qualidade de mapas.

Os estudos de análise espacial, com o uso de geoestatística e interpoladores determinísticos podem auxiliar no planejamento sustentável do controle químico de plantas daninhas, pela pulverização localizada, onde é estritamente necessária, trazendo benefícios como maior retorno econômico e menor impacto ambiental (ROCHA *et al.*, 2015; MARTÍN *et al.*, 2018). Como exemplo, tem-se a possibilidade da técnica de agricultura de precisão denominada Taxa Variável de Aplicação, ou seja, quando o insumo, neste caso o herbicida, é aplicado tendo por base a distribuição espacial do alvo a controlar. Esta técnica pode maximizar a eficácia do manejo químico e conforme alguns estudos, gerar economia na ordem de 25% (GUNDY *et al.*, 2017; KEMPENAAR, 2017).

Adicionalmente, uma importante característica deste tipo de estudo é a possibilidade de análise correlacional com variáveis agroambientais de mesma coordenada, para ajudar no entendimento da ocorrência das plantas daninhas. Entre estas variáveis, citam-se os dados métricos ou qualitativos das propriedades edáficas, tipos de manejo e características de culturas (COMAS *et al.*, 2016; AVILA *et al.*, 2019). Ao estudar a comunidade infestante de um campo de produção de milho, Martin *et al.* (2018) verificaram maiores variações de populações de *S. halepense* e *A. theofhasti*, quando em distâncias superiores a 5 m entre amostras, indicando influência de propriedades do solo, tratos culturais e colheita.

Pätzold *et al.* (2019) consideram que os mapas de populações infestantes com base em dados de solo espacialmente definidos podem ser potencialmente integrados no planejamento e gestão do manejo de plantas daninhas, para assim estimar a requisição de herbicida ou atender às limitações de aplicação. Portanto, o mapeamento das plantas daninhas favorece o entendimento de sua distribuição na lavoura e as razões desta distribuição, sejam elas de origem ecológicas ou antrópicas; possibilitando, não apenas

um manejo agrofitossanitário mais eficiente, mas também um entendimento profundo de sua biologia e ecofisiologia (BOTTEGA *et al.*, 2018; MARTÍN *et al.*, 2018; KRAHMER *et al.*, 2020).

Em trabalho de Shiratsuchi *et al.* (2005), os quais identificaram correlações entre o banco de sementes das plantas daninhas e os atributos de fertilidade do solo numa lavoura de milho irrigado, encontraram-se alta correlação com o banco seminal de *Commelina benghalensis* e *Brachiaria plantaginea* com a saturação de bases e alumínio, respectivamente, como no exemplo da Figura 4, ilustrando *B. plantaginea* versus alumínio.

Por sua vez, Avila *et al.* (2019), ao correlacionar o banco de sementes de plantas daninhas em lavoura de soja com os atributos do solo, verificaram correlação significativa negativa entre o banco seminal de espécies gramíneas e a variação do teor de areia. Enquanto que para as espécies de folhas largas, suas infestações foram justificadas pelos atributos de fertilidade Ca, Mg e V%, como exemplificado pela Figura 5 (folhas largas *versus* magnésio). Os autores recomendam o uso da informação na gestão de campo quanto ao manejo químico e relatam, em razão deste resultado, que doses mais baixas de pré-emergentes poderiam ser aplicadas nas áreas arenosas, alertando sobre as aplicações de taxa fixa.

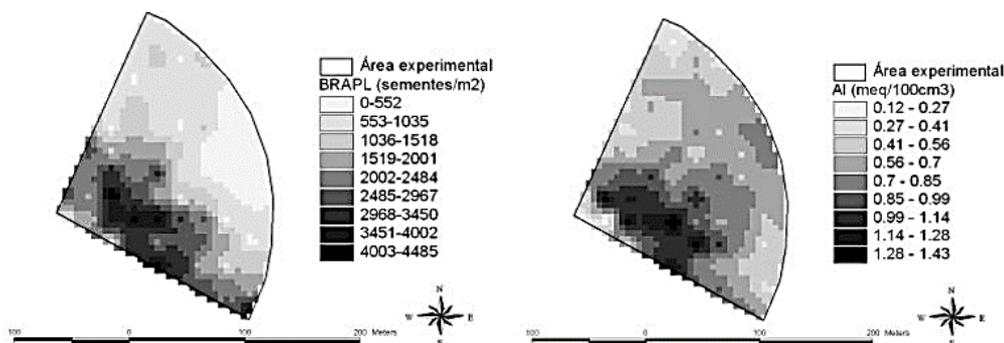


Figura 4. Mapas interpolados da infestação do banco de sementes de *Brachiaria plantaginea* e da saturação por alumínio. **Fonte:** Shiratsuchi *et al.* (2005).

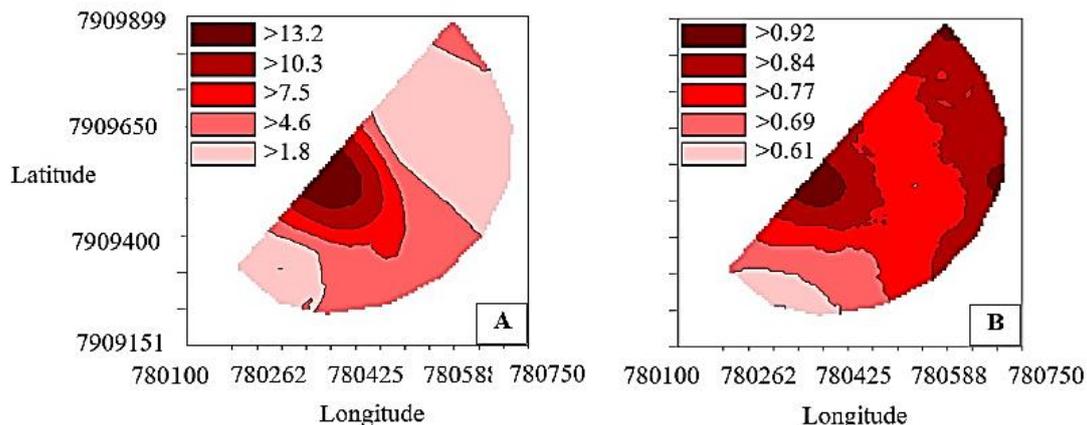


Figura 5. Mapas interpolados pelo método da Krigagem para os atributos: A) plantas daninhas de folhas largas (plantas/bandejas) e B) magnésio (cmolc/dm³). **Fonte:** Avila *et al.* (2019).

Krahmer *et al.* (2020) apontam ainda como potencialidades e objetivos para trabalhos de mapeamento de infestações: ensaios comparativos para diferentes localidades, melhoria de mapas existentes para espécies mais frequentes, padronização e expansão de mapas de resistência a herbicidas e mapeamento de plantas daninhas raras. Com o avanço da agricultura de precisão, aliada à agricultura 4.0 (agricultura digital) ressalta-se o potencial da análise de distribuição das infestações e confecção de mapas, por meio do sensoriamento remoto, podendo-se obter imagens através de satélites, aeronaves, veículos aéreos não tripulados (VANTs) e máquinas agrícolas (BERNADI *et al.*, 2014). Sendo, tais ferramentas, utilizadas para mapeamento e análises de grandes áreas com o objetivo de diagnosticar a ocorrência das populações e em alguns casos a intensidade da infestação.

Caminhamento e disposição das unidades de amostra

O caminhamento para alocação das amostras (quadros) dependerá do(s) objetivo(s) do levantamento, condições de distribuição e diversidade da comunidade infestante, arranjo espacial da cultura e viabilidade laboral para detalhar as informações. A disposição das parcelas pode ser aleatória, sistemática ou contígua (KUVA *et al.*, 2021), sendo as mais utilizadas do tipo aleatória ou sistemática (Figura 6). Como exemplo, se o objetivo é conhecer a flora e sua diversidade, o lançamento dos quadros deve ser aleatório ao longo da área infestada, seguindo as linhas de plantio, de modo a concluir os lançamentos até não mais encontrar novas espécies. Já quando o objetivo é mapear e incluir atributos como presença/ausência das plantas daninhas ou populações, sugere-se uma amostragem sistemática, em grade, com pontos de coleta equidistantes sempre que possível.

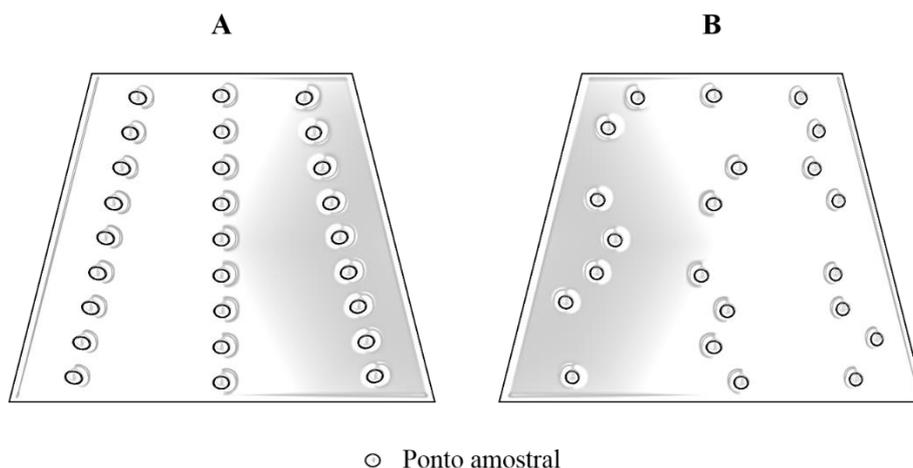


Figura 6. Amostragem sistemática (A) e aleatória (B) para levantamento de plantas daninhas visando análises fitossociológicas e geoestatísticas. Fonte: Autores (2022).

Considerações finais

A infestação das plantas daninhas é um processo dinâmico e dependente de fatores edafoclimáticos, antrópicos e intrínsecos à biologia de cada espécie. Esta dinâmica promove variações de distribuição das populações ao longo da lavoura. Entender esta variabilidade espacial pode auxiliar na elaboração de estratégias de manejo mais pontuais, tornando a atividade menos onerosa e mais sustentável.

A sustentabilidade no agrossistema e, mais especificamente, a eficiência do controle de plantas daninhas dependem rigorosamente de monitoramento e identificação das espécies que compõem a comunidade infestante. Assim, estudos fitossociológicos de plantas daninhas, onde se permitem o conhecimento da flora e sua distribuição, devem se fazer frequentes na literatura técnico-científica de modo a abordar as diferentes culturas agrícolas e regiões. Logo, os protocolos de levantamento devem sempre estar presentes nos programas fitossanitários das propriedades agrícolas, devendo cada unidade ser analisada no espaço e tempo necessários para uma tomada de decisão embasada e coerente com a situação diagnosticada.

CAPÍTULO 4

MONITORAMENTO DE PLANTAS DANINHAS COM VANT'S

Marcelo Rodrigues Barbosa Júnior¹

Nagilla Moraes Ribeiro²

Rouverson Pereira da Silva³

¹Doutorando em Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal.

²Doutoranda em Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal.

³Professor Adjunto III, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal.

Introdução

Detectar e controlar plantas daninhas é, hoje mais do que nunca, um requisito imperativo para garantir altas produtividades das culturas agrícolas. Infestações incontroláveis de plantas daninhas prejudicam efetivamente o desenvolvimento de plantas cultivadas e tratos culturais, ao mesmo tempo em que impedem diretamente retorno econômico. Técnicas de monitoramento tradicionais atualmente adotadas pelos produtores são comparativamente lentas, trabalhosas e não são facilmente aplicáveis em grandes áreas devido número de amostras a serem consideradas e à necessidade frequente de amostragem destrutiva. Portanto, é interessante estudar soluções práticas e que forneçam resultados mais realistas e eficientes baseado em técnicas holísticas.

Nas últimas décadas, surgiu interesse crescente na adoção de veículos aéreos não tripulados (VANT's) para fins de monitoramento agrícola. Maiores vantagens da tecnologia correspondem à cobertura espacial expandida, menor tempo de resposta e baixo custo no monitoramento. Os VANT's podem fornecer preciosa fonte de dados para auxiliar sistemas de monitoramento e controle de plantas daninhas, principalmente devido suportarem diferentes sensores embarcados e superar algumas limitações encontradas por plataforma terrestre, aéreas tripuladas e orbitais, como, por exemplo, acessar ambientes hostis, operar em condições nubladas e obter informações centimetricamente detalhadas.

O uso de VANT's traz novas oportunidades para manejar plantas daninhas na agricultura. Os VANT's podem oferecer capacidade de contabilizar infestação de plantas daninhas com alta acurácia e eficiência. Além disso, são capazes de operar como pulverizadores e controlar diretamente a população infestante. Aplicação de VANT's no manejo de plantas daninhas ainda está em evolução. Alguns desafios ainda precisam ser superados para que a plataforma possa ter mais eficiência e atenda todas as necessidades exigidas. Com isso, neste capítulo abordamos as principais aplicações de VANT's no monitoramento e controle de plantas daninhas. O capítulo está dividido em cinco seções principais: breve histórico, conceitos iniciais e importância, processamento e interpretação de imagens, uso de VANT's no controle químico de plantas daninhas, resultados científicos e considerações finais.

Breve histórico

Monitorar plantas daninhas permite compreender a dinâmica das populações ao longo dos anos e, aliado com a correta identificação das espécies, contribui com manejo integrado de plantas daninhas (MIPD). Além disto, permite monitoramento e mapeamento preciso e contínuo das populações de plantas daninhas tolerantes ou resistentes. Existem vários métodos de levantamento de plantas daninhas, que vão desde avaliações visuais de porcentagem de cobertura do solo até mapeamentos com equipamentos sofisticados. Em geral, o levantamento permite monitoramento da comunidade infestante.

Os métodos convencionais necessitam de uma equipe treinada para realização do levantamento da comunidade de plantas daninhas por meio de amostragem. No entanto, este método é uma tarefa desafiadora em grandes áreas agrícolas, especialmente sob

condições climáticas desfavoráveis, muitas vezes é impreciso devido à baixa cobertura espacial e subjetividade humana. Trata-se de um método trabalhoso e oneroso, para representação precisa da área demanda elevada quantidade de amostras e tempo. Por isso, novos métodos para monitorar plantas daninhas têm sido empregados.

O sensoriamento remoto pode fornecer soluções para monitoramento preciso e em tempo adequado de campos agrícolas. Nas últimas décadas, houve progresso significativo na utilização de tecnologias de sensoriamento remoto para detecção de plantas daninhas. Esta técnica possibilitou diminuição de custos e maior estimativa da composição e distribuição da comunidade de plantas daninhas. Estudos baseados em sensoriamento remoto evidenciaram sua eficiência baseado na discriminação de espécies de plantas daninhas (GRAY; SHAW; BRUCE, 2009), detecção de deriva de herbicidas (HUANG *et al.*, 2016; SUAREZ; APAN; WERTH, 2017) e identificação de plantas daninhas resistentes à glifosato (SHIRZADIFAR *et al.*, 2020).

O sensoriamento remoto orbital (satélites) é capaz de cobrir maiores áreas em menos tempo para criação de mapas de precisão de plantas daninhas, todavia, a resolução espacial alcançada com pode não ser suficiente para detectar espécies daninhas em estágios iniciais de desenvolvimento e, por outro lado, o tempo de revisita dos satélites pode não atender ao momento ideal para monitoramento da infestação de plantas daninhas na área. Estas limitações, portanto, podem ser superadas adotando plataformas suborbitais (aéreas) tais como aeronaves tripuladas e, mais recentemente, uso de VANT's. Os VANT's sem dúvidas apresentam grandes vantagens nestas aplicações, podendo atuar desde a detecção das plantas daninhas, como também no controle efetivo.

Conceitos iniciais e importância

Plantas daninhas, mato, tiguera, planta guaxa, inço, juquirá, plantas infestantes, plantas silvestres, plantas invasoras, plantas voluntárias, plantas espontâneas, ervas daninhas, estes são alguns dos inúmeros termos utilizados para definir o que é uma “planta daninha”. Plantas daninhas são consideradas toda e qualquer planta que ocorre e não é desejada. Geralmente, estas plantas crescem espontaneamente em local de atividade humana e causam prejuízos a essa atividade. Sempre estão presentes nos agrossistemas e são de difícil controle (BLANCO, 2014).

As plantas daninhas interferem nas culturas de forma direta e indireta. Dentre os efeitos diretos, os mais importantes mecanismos de interferência são alelopatia e a competição (PITELLI, 2014). As plantas daninhas competem por recursos do meio como água, luz, CO₂, nutrientes e espaço. Indiretamente, por serem hospedeiras de pragas, doenças e nematoides, e podem causar prejuízos na colheita (embuchamento) e impedir tratamentos culturais.

A presença de plantas daninhas contribui significativamente para redução de produtividade e qualidade das culturas. Dentre as principais culturas cultivadas no mundo, cerca de 34% das perdas de produtividade são por interferência de plantas daninhas (DOMINSCHEK *et al.*, 2021). Na cultura da soja (*Glycine max*), por exemplo, a presença de buva (*Conyza* spp.) pode reduzir produtividade entre 12 e 14,6% (ALBRECHT, 2018). Enquanto capim-amargoso (*Digitaria insularis*) pode reduzir

produtividade em 44% (GAZZIERO *et al.*, 2012). No entanto, os prejuízos ocasionados pelas plantas daninhas não se resumem apenas em redução de produtividade das culturas, mas também tempo e custos para controle (SILVA *et al.*, 2021). Para controlar *Conyza* spp., o custo seria de R\$ 95,40 ha⁻¹, passando para R\$ 126,20 ha⁻¹ em caso de plantas resistentes a glyphosate (ADEGAS *et al.*, 2017). Por outro lado, em situações de infestação mista de *Conyza* spp. E *Digitaria insularis*, custos totais para o controle em lavouras de soja aumentam para R\$ 479,50.

O período e época em que plantas daninhas convivem com culturas agrícolas é um dos principais fatores que compõem o nível de infestação grau de interferência. De maneira geral, quanto mais longo o período de convivência, mais intenso poderá ser o grau de interferência. Desta maneira, conhecer as épocas e períodos que a convivência com plantas daninhas não traz prejuízos à produtividade é de fundamental importância no manejo da cultura. Os períodos de convivência ou de controle das plantas daninhas foram definidos por Pitelli e Durigan (1984) em período anterior à interferência (PAI), período a partir da emergência ou do plantio em que a cultura pode conviver com a comunidade infestante antes que a produtividade ou outras características sejam impactadas negativamente; período total de prevenção à interferência (PTPI), período a partir da emergência ou do plantio que a cultura deve ser mantida livre da presença da comunidade infestante para que a produtividade e qualidade da produção ou outras características não sejam alteradas negativamente; e período crítico de prevenção à interferência (PCPI), período que o controle da vegetação infestante deve ser realizado obrigatoriamente, situando-se entre os limites superiores do PAI e do PTPI.

Conhecer os períodos de interferência viabiliza manejo integrado de plantas daninhas. Esta é uma tarefa importante para controlar plantas daninhas e reduzir prejuízos quantitativo e qualitativos na produtividade de culturas. Por isso, é necessário associar estes períodos com outros fatores que podem alterar o grau de interferência das plantas daninhas com a cultura, como espaçamento utilizado, local de cultivo, comunidade infestante e sistema de cultivo (BORCHARTT *et al.*, 2011; HIJANO, 2021).

A composição da comunidade de plantas daninhas depende principalmente de fatores climáticos e biogeográficos, como histórico de uso da terra, anos sob cultivo contínuo, época de semeadura, herbicidas aplicados nas safras anteriores, manejo de solo e rotação de culturas (RAUBER *et al.*, 2021). A determinação do nível de importância das espécies de plantas daninhas é definida através dos índices fitossociológicos. Pois, em uma comunidade de plantas daninhas, nem todas as espécies têm a mesma importância ou participação na interferência imposta ao desenvolvimento e à produtividade da cultura.

Os índices fitossociológicos são importantes para analisar os impactos que sistemas de manejo e práticas agrícolas exercem sobre a dinâmica de crescimento, composição e ocupação de comunidades de plantas daninhas em sistemas agrícolas (PITELLI, 2000). Estes índices são quantificados e determinados através de vários parâmetros fitossociológicos, tais como abundância, densidade absoluta e relativa, frequência absoluta e relativa, dominância absoluta e relativa, valor de cobertura, índice de valor de importância e importância relativa.

Existem também os índices de similaridade (Índice de Jaccard - S_j e índice de Sorensen - S_s, equitabilidade (Índice de equabilidade de Pielou - J), diversidade de

espécies (Índice de Shannon – H') e riqueza de espécies. Portanto, entender a composição, densidade e distribuição das populações de plantas daninhas pode contribuir para simplificar o processo de monitoramento. O manejo eficiente de plantas daninhas depende de monitoramento eficaz para identificar espécies dominantes e sua distribuição espacial dentro de uma lavoura (SINGH *et al.*, 2020).

Mapas precisos de plantas daninhas fornecem vários benefícios aos agricultores e consultores, no início da estação podem ser usados para calcular economias potenciais de herbicidas e planejar aplicação de controle de plantas daninhas localizadas. Próximo à colheita podem ser usados para controlar reboleiras de plantas daninhas de hábito trepador.

A forma mais adequada de controle de plantas daninhas é o uso combinado de diferentes práticas que visem ao aproveitamento dos recursos disponíveis, proporcionando maior eficácia, redução de custos, máxima segurança para o homem e mínima contaminação/alteração do ambiente. O manejo integrado de plantas daninhas combina métodos químicos, biológicos, mecânicos e/ou de manejo de culturas e representa um modelo para melhorar a eficiência e sustentabilidade do controle de plantas daninhas (ESPOSITO *et al.*, 2021; KAUR; SINGH BRAR; SHETE, 2019).

O método de controle mais utilizado é o químico. Este é o método mais rápido, prático e eficiente, permitindo aplicações em diversas fases da cultura. Herbicidas seletivos ou não podem ser posicionados antes do plantio, na dessecação, em pré-plantio-incorporado (PPI), pré-emergência (PRE) e em pós-emergência (POS) da cultura e das plantas daninhas. Entretanto, deve ser utilizado seguindo recomendações técnicas, com rotação de mecanismo de ação de herbicidas, pois pode selecionar biótipos de plantas daninhas resistentes.

Processamento e interpretação de imagens

Uso de imagens tem se tornado um tópico de pesquisa interessante e ativo na agricultura, apoiando decisões na identificação de pequenas alterações na lavoura e, muitas vezes, superando o desempenho da visão humana. No entanto, garantir que resultados potencialmente satisfatórios sejam adquiridos, técnicas de processamento de imagens devem ser adotadas. Movida diretamente pelos avanços computacionais, as técnicas de processamento de imagens têm sido aperfeiçoadas a cada dia, capazes de processar inúmeros conjuntos de dados.

Isso é um ponto importante para os usuários de VANT's. Com a crescente aplicação de VANT's no mapeamento agrícola, técnicas para analisar as imagens também foram sendo necessárias. Pois, o alto detalhamento das imagens e quantidade de dados disponíveis torna essa operação demorada. Potenciais aplicações de VANT's na agricultura é devido ao surgimento de câmeras digitais. O uso de imagens digitais tem sido adotado para superar diagnósticos até então subjetivos. Isso porque as imagens podem fornecer riqueza de detalhes jamais alcançadas por técnicas tradicionais, principalmente baseadas na visão humana.

Quando falamos de VANT's na agricultura, em primeiro instante nos referimos às aplicações desta plataforma para aquisição de imagens (prática mais usual). No campo de

plantas daninhas, imagens capturadas por câmeras embarcadas em VANT's surgiram para atuar de maneira efetiva, principalmente devido aos custos para aquisição das imagens e flexibilidade de aplicação da plataforma em termos de altura e dia de voo.

Embora aplicações de VANT's para detecção de plantas daninhas sejam recentes, abordagens incluindo informações espectrais e até mesmo em imagens já vêm sendo consideradas há algum tempo, porém, em condições de laboratório. De certa forma, esses estudos têm contribuições potenciais, no entanto, limitadas às condições reais de campo. Por outro lado, tecnologias baseadas em VANT's são preferíveis ao setor pela combinação entre precisão no detalhamento das imagens e aplicação realista em áreas extensas.

Para trabalhar com imagens de VANT's são necessárias técnicas de pré-processamento (processamento inicial) e pós-processamento (processamento avançado). Em geral, o processamento de imagens de VANT's envolve técnicas específicas para extrair informações de interesse das imagens. Mas, para garantir qualidade na classificação e padrões desejados, devemos nos certificar que o conjunto “VANT e câmera” utilizados na operação foram adequados. Além disso, garantir que os parâmetros do plano de voo atenderam aos objetivos.

O processamento inicial aplicado às imagens consiste na transformação de um conjunto de imagens projetadas em uma estrutura de dados tridimensional. O objetivo desta etapa é criar o produto cartográfico chamado ortomosaico. As imagens capturadas pelo VANT obedecem a critérios de sobreposição, entre elas no momento da captura, para que no processamento hajam pontos homólogos. Em outras palavras, cada objeto de interesse no solo estará presente em mais de uma imagem, facilitando o reconhecimento desses pontos para formação do ortomosaico.

A primeira etapa do pré-processamento é o alinhamento das imagens. Nesta etapa, as coordenadas do centro de perspectiva das imagens são utilizadas para o agrupamento das imagens individuais sobrepostas. Uma nuvem de pontos tridimensional é formada logo após representando o terreno. Posteriormente, essa nuvem de pontos é densificada e alguns produtos cartográficos podem ser extraídos a partir dela. Um destes produtos pode ser um modelo digital de elevação (MDE). Este modelo pode ser empregado para obtermos informações relacionadas ao perfil de elevação do terreno. Por outro lado, também podemos aplica-lo para informações de altura de planta. Outro produto cartográfico é o ortomosaico. Para identificação de plantas daninhas, este é o produto mais importante neste processamento. Uma ilustração das etapas de pré-processamento pode ser observada na Figura 1.

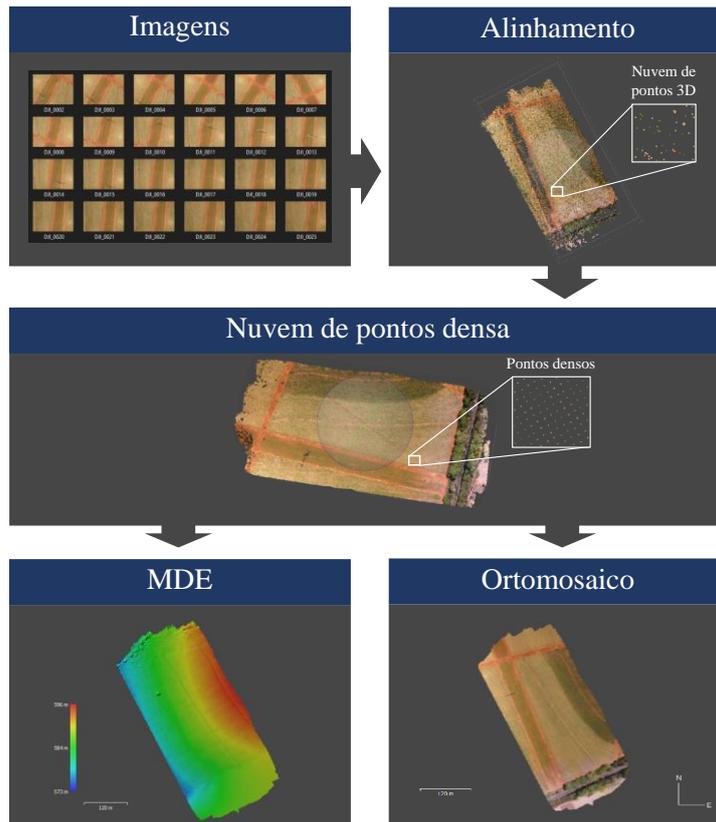


Figura 1. Etapas do pré-processamento de imagens de VANT's.

Gerado o ortomosaico, agora podemos iniciar com a etapa mais avançada para identificação de plantas daninhas em imagens. Podemos dividir a etapa de pós-processamento em duas classes: 1) processamento baseado em assinatura espectral e 2) processamento baseado em identificação de objeto. Podemos adiantar que, processamento baseado em assinatura espectral são mais práticos e, portanto, mais usuais quando a estrutura das plantas daninhas é semelhante à das plantas cultivadas. Por outro lado, processamentos que utilizam reconhecimento de padrões específicos para classificação são mais robustos e mais preciso para classificar plantas daninhas quando a estrutura da planta é característica.

Processamento baseado em assinatura espectral

Diferenciar plantas daninhas de plantas cultivadas se tornou uma tarefa mais eficiente com auxílio de câmeras embarcadas em VANT's. Essas câmeras são capazes de coletar informações da energia que está sendo refletida pelas plantas e caracterizar sua assinatura espectral. Assinatura espectral representa a variação de energia refletida pelas plantas em diferentes comprimentos de onda. E o que torna essa tarefa de diferenciação possível é devido cada variedade de planta possuir sua própria assinatura espectral.

Para caracterizar a assinatura espectral das plantas podemos usar câmeras, por sua vez, disponível em infinitos modelos e compatíveis com os mais diversos modelos de VANT. Definir corretamente o modelo de câmera para utilizar é quem de fato garantirá resultados confiáveis. Câmeras convencionais funcionam, especialmente, capturando imagens no comprimento de onda visível, ou seja, informações que são perceptíveis à

visão humana. Essas são as famosas câmeras RGB. Maiores vantagens deste modelo de câmera é o custo de aquisição relativamente baixo. No entanto, por capturar imagens apenas no comprimento de onda visível, sua aplicação muitas vezes é limitada à pequenas mudanças na reflectância das plantas. Por isso, câmeras multiespectrais são preferíveis na maioria dos casos.

As câmeras multiespectrais são capazes de capturar imagens além do comprimento de onda visível. Modelos mais modernos capturam imagens nas bandas espectrais visíveis (RGB), RedEdge e Infravermelho próximo. Essas duas últimas bandas espectrais, em especial, abrem mais um leque de opções para analisar o comportamento espectral das plantas. Mas, quando se deseja explorar ainda mais propriedades de plantas baseado em imagens, outra opção é utilizar câmeras hiperespectrais. Estes modelos podem capturar imagens em centenas de bandas espectrais, detalhando minuciosamente mudanças espectrais na vegetação.

No entanto, o investimento necessário para adquirir um modelo de câmera como este é mais alto. Em resumo, devemos analisar cautelosamente nossa necessidade antes de fazer altos investimentos. Uma aplicação de VANT equipado com câmera RGB foi realizada para diferenciar plantas de soja de planta daninha, podemos observar os resultados na Figura 2.

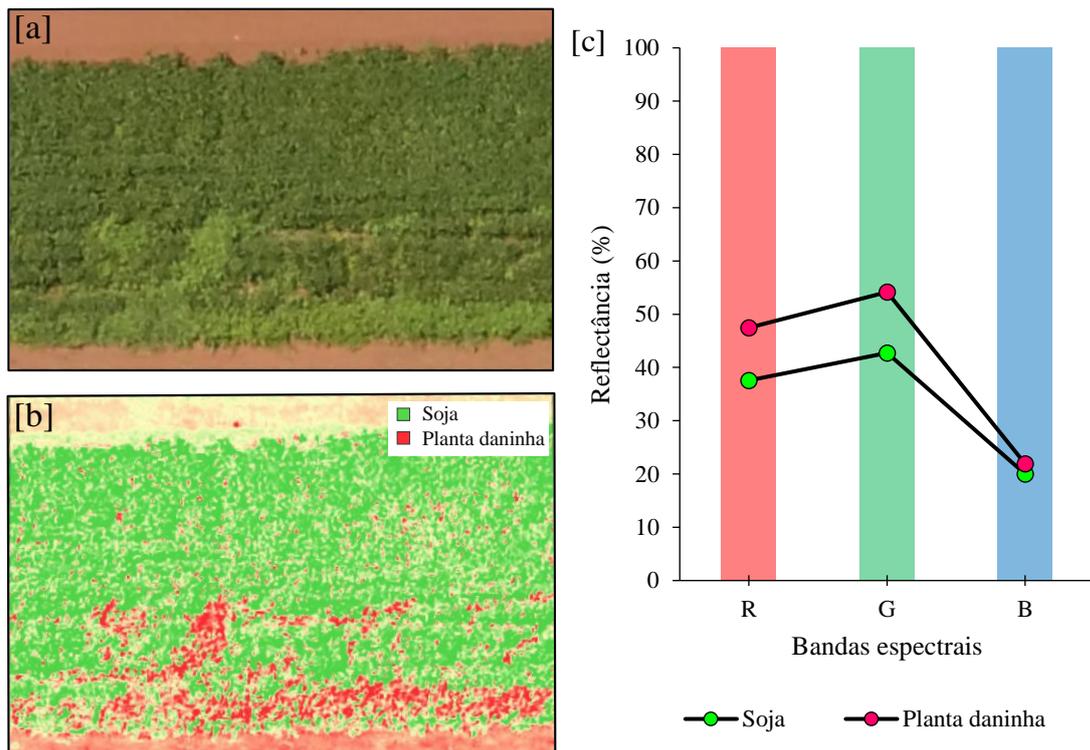


Figura 2. Ortomosaico obtido por imagens capturadas por câmera RGB embarcada em VANT. (a) ortomosaico RGB. (b) classificação de plantas de soja e plantas daninhas por assinatura espectral. (c) Percentual de energia refletida (reflectância) pela cultura da soja e plantas daninhas no comprimento de onda visível.

A classificação observada na Figura 2 é uma aplicação comum baseada na reflectância das plantas. Na Figura 2a podemos observar diferença sutil entre a

intensidade de verde que representa plantas de soja e plantas daninhas. Isso demonstra o que falamos anteriormente em relação às limitações da visão humana. Na Figura 2b aplicamos uma classificação baseada em reflectância e atribuímos duas classes (soja e planta daninha). Observamos que está mais claro que há diferenças entre as classes. Isso ocorre porque deixamos de lado avaliações de “visualização da cor”, e passamos a focar em “valores de reflectância”. Para ficar mais claro, observemos a Figura 2c, aqui define bem o porquê de conseguirmos diferenciar entre plantas de soja e plantas daninhas. Neste exemplo, notamos que as plantas daninhas refletiram mais energia nas bandas R e G, principalmente, em comparação às plantas de soja. No entanto, os resultados podem ser diferentes baseado em qual espécie de planta daninha está presente na área.

Utilizar assinatura espectral para diferenciar variedades de planta é uma prática potencial e permite caracterizar essas diferenças com êxito. Mas, em alguns casos, podemos encontrar limitações, o que dificultaria aplicação desta técnica. Por exemplo, diferenciar variedades/cultivares de uma mesma espécie ou; diferenciar plantas daninhas de plantas cultivadas quando ambas estão em fase inicial de desenvolvimento não é uma tarefa muito simples, pois a assinatura espectral pode ser semelhante entre elas, confundindo a diferenciação (BARBOSA JÚNIOR *et al.*, 2022b; SOUZA *et al.*, 2020).

Por isso, a cada dia, novas investigações têm sido realizadas para tentar superar essas limitações. Uma delas seria diferenciar plantas não apenas baseado na assinatura espectral, mas sim considerando o formato da arquitetura foliar. Sobre isso, abordaremos mais detalhadamente no tópico a seguir.

Processamento baseado em identificação de objeto

Maiores vantagens de utilizar imagens capturadas por VANT é o alto nível de detalhamento espacial dos alvos, podendo atingir resoluções milimétricas. Em contraste, este “alto nível” de detalhamento pode ser, para algumas aplicações, um dos principais problemas no processamento de imagens. Quando imagens possuem alta resolução espacial, os pixels destas imagens são pequenos (de poucos centímetros à milímetros) e, usar estes pixels para distinguir os alvos investigados, muitas vezes, não é uma tarefa possível, gerando alta variabilidade dentro de uma mesma classe. Portanto, outras técnicas baseadas não apenas em informações espectrais são empregadas.

Técnicas de processamento de imagens baseadas em objeto (do inglês, *Object-Based Image Analysis - OBIA*) são mais recentes para aplicações em plantas daninhas. No entanto, devido ao potencial para resolver problemas de reconhecimento e diferenciação entre plantas daninhas e culturas, esta técnica tem crescido rapidamente. Em resumo, processamento baseado em objeto utiliza técnicas de segmentação de imagens com base nas texturas, objetos e características de cores. Este processamento divide uma imagem digital em regiões. Estas regiões são formadas por conjunto de pixels próximos entre si e que possuem informações espectrais semelhantes. Para os casos em que plantas daninhas apresentam grandes contrastes da vegetação cultivada, esta técnica de processamento tem sido uma opção aplicada.

Na Figura 3 podemos observar um exemplo aplicando esta técnica de diferenciação entre plantas daninhas e soja. Observamos a presença de plantas daninhas em um

ortomosaico RGB de um cultivo de soja (Figura 3a) e usamos da técnica OBIA para classificar essas plantas daninhas. Após o processamento notamos que as plantas daninhas foram precisamente classificadas (Figura 3b). Vejamos que mesmo no ortomosaico RGB a estrutura das plantas daninhas se destaca em meio as plantas de soja (Figura 3a), e isso contribui significativamente para o sucesso da classificação. No entanto, a precisão na classificação pode ser baixa quando plantas daninhas estão em fase inicial de desenvolvimento devido pequeno porte das plantas, apresentando poucos pixels representando as plantas, o que torna difícil a segmentação (HUANG *et al.*, 2020).

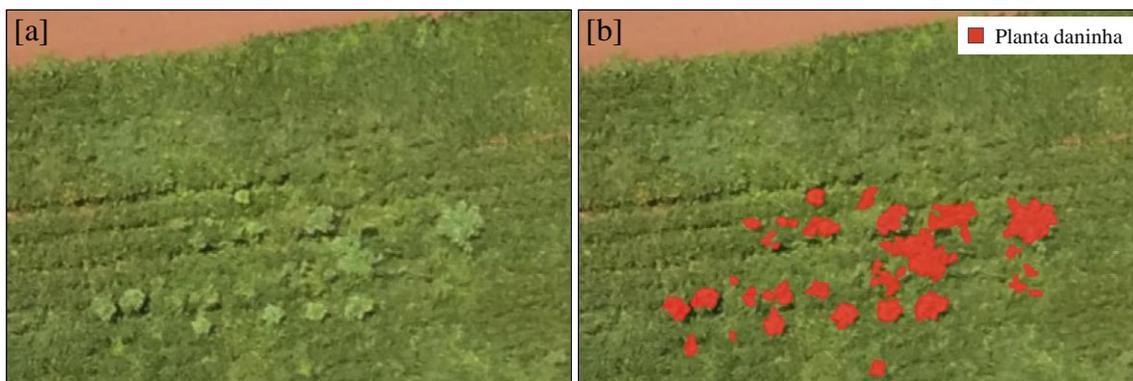


Figura 3. Ortomosaico obtido por imagens capturadas por câmera RGB embarcada em VANT. (a) ortomosaico RGB. (b) classificação de plantas daninhas por processamento de imagem baseado em objeto.

Uso de vant's no controle químico de plantas daninhas

Os VANT's têm sido ferramenta potencial para monitoramento de plantas daninhas, o que vem facilitando nas tomadas de decisão. Recentemente, o setor dos VANT's foi ampliado e agora estão disponíveis comercialmente VANT's com capacidade de pulverização. VANT's pulverizadores são capazes de fazer aplicações em locais de difícil acesso por máquinas terrestres e, principalmente, aplicações em regiões localizadas da lavoura. Além disso, são potencialmente úteis na redução de danos aos seres humanos e meio ambiente durante o processo de aplicação de produtos químicos. Em geral, os VANT's pulverizadores foram programados para aplicar produtos químicos de maneira precisa e dinâmica e apresentar melhoria nos resultados da pulverização nos mais diferentes ambientes.

A pulverização por VANT's pode ser classificada com base na estratégia de aplicação, neste caso podemos dividir em duas categorias: pulverização uniforme e pulverização localizada. A pulverização uniforme objetiva aplicar produtos em área total sem variação da taxa de aplicação, esta, por sua vez, uma das aplicações mais populares entre os usuários (WANG *et al.*, 2022). Mas, por outro lado, temos a pulverização localizada. Aqui é levada em consideração a variabilidade espacial e em seguida são adotadas práticas de ajuste automático de vazão baseada na necessidade de aplicação em regiões específicas da área, assim, visando melhor uniformidade de distribuição do produto aplicado.

Muitos estudos são realizados para avaliar parâmetros de VANT's pulverizadores na eficácia do controle de pragas e doenças. No entanto, a pulverização baseada em

herbicidas ainda está em fase inicial de desenvolvimento, porém crescente. Alguns estudos sobre pulverização com VANT's provaram que a plataforma é uma alternativa vantajosa para aplicação de herbicidas.

No estudo de Martin *et al.* (2020), os autores compararam resultados da pulverização realizada por VANT e pulverizador costal. Nesta pesquisa, um dos destaques foi a maior proporção de gotas na superfície abaxial das folhas das plantas daninhas quando utilizado VANT. Estes resultados são interessantes e são condizentes com uma das vantagens de usar VANT.

No momento da pulverização, o VANT sobrevoa à poucos metros da cultura, isso permite que o efeito chamado Downwash ocorra. Este efeito é definido pela mudança de direção do ar ocasionado pela força exercida pelas hélices do VANT, permitindo movimentação da arquitetura das plantas e, portanto, deposição do produto aplicado na superfície inferior da copa das plantas daninhas. Em geral, investigações para aplicação desta tecnologia estão aumentando e resultados oportunos têm sido alcançados até o momento. No entanto, muitos desafios ainda precisam ser superados.

Pulverizar de forma localizada é a principal atividade dos VANT's pulverizadores, principalmente pela flexibilidade de uso da plataforma, mas, devido capacidade de carga útil e autonomia de voo de um VANT ser relativamente pequena, muitas vezes é inviável aplicações em área total (KHAN *et al.*, 2021).

Os VANT's para pulverização estão presentes em infinitas formas, tamanhos e métodos de condução, o que aumenta a dificuldade de estudar a influência dos parâmetros de voo na qualidade da pulverização (WANG *et al.*, 2022). Além disso, quando nos referimos propriamente ao controle de plantas daninhas, outros fatores podem interferir na qualidade da aplicação. Por exemplo, pulverização pós-emergente em lavouras mais densa muitas vezes dificulta que o alvo de pulverização seja atingido, por mais que o alvo esteja no raio de ação (BARBOSA JÚNIOR *et al.*, 2022a).

Além disso, o ambiente também pode impactar negativamente a operação de voo por falhas de comunicação entre o rádio controle e o VANT, caso haja barreiras físicas que possam interferir no tráfego e recebimento do sinal. Portanto, planejar adequadamente os pontos de decolagem e pouso é uma opção para solucionar, de maneira simplificada, este possível problema (BARBOSA JÚNIOR *et al.*, 2022a).

Resultados científicos

O monitoramento e controle de plantas daninhas é uma tarefa oportuna para práticas de manejo preciso das lavouras. Com o rápido avanço das tecnologias na agricultura, os VANT's têm sido uma das ferramentas essenciais para o manejo de plantas daninhas e vêm chamando atenção de pesquisadores do mundo inteiro. Alguns métodos para investigação de plantas daninhas têm sido aplicados em etapas pré-plantio, o que seria, em tese, uma tarefa menos desafiadora já que não haveriam possíveis confusões na diferenciação entre planta daninhas e plantas cultivadas. Mas também diversos métodos foram aplicados em área com plantas cultivadas já estabelecidas, neste caso, as técnicas utilizadas foram para diferenciar entre plantas daninhas e plantas cultivadas.

Em estudo utilizando imagens multiespectrais capturadas por VANT, Peña *et al.* (2013) propuseram mapear plantas daninhas (*Amaranthus blitoides* e *Sorghum halepense*) naturalmente infestadas na área com baixa, média e alta infestação em cultivo de milho (*Zea mays*) nos estádios de desenvolvimento V4-V6. Os autores relataram que diferenciar entre as culturas foi uma tarefa complexa devido semelhança espectral entre as culturas, pois tanto as plantas daninhas quanto a cultura do milho estavam em fase inicial de crescimento. Para superar esta limitação, eles aplicaram um algoritmo de reconhecimento linear para identificar as linhas de cultivo. O algoritmo identificou eficientemente todas as linhas de cultivo e permitiu que as plantas daninhas entre às linhas fossem diferenciadas com acurácia de 86%.

Outro estudo baseado em identificação de plantas daninhas em meio à cultura do milho combinou informações espectrais e espaciais de plantas daninhas em classificação não supervisionada (LOUARGANT *et al.*, 2018). Neste estudo, o campo foi infestado com duas dicotiledôneas (*Chenopodium album* L. e *Cirsium arvense* L.) e a coleta de dados foi realizada na fase inicial de cultivo do milho (V2-V3). O objetivo dos autores em utilizar algoritmos de classificação não supervisionada foi eliminar a necessidade de seleção manual de quaisquer parâmetros para classificação. Outro ponto importante destacado no estudo foi a abordagem adaptada para detectar plantas daninhas entre e dentro das linhas de cultivo. O algoritmo proposto pelos autores detectou automaticamente as linhas de cultivo e, considerando que todas as plantas presentes entre às linhas de cultivo eram plantas daninhas, informações espectrais e espaciais dessas plantas foram treinadas e utilizadas para detectar automaticamente plantas daninhas nas linhas de cultivo. Os resultados do estudo mostraram que a combinação dos dados espectrais e espaciais efetivamente detectaram plantas daninhas entre e dentro das linhas de cultivo da cultura do milho com acurácia de 97%.

Detectar plantas daninhas dentro dos campos é a chave para aplicação de técnicas de manejo localizado. No caso da soja, por exemplo, a produtividade pode ser comprometida em mais de 50% caso infestação por plantas daninhas não seja controlada (SOLTANI *et al.*, 2017), por isto, esta cultura também tem sido alvo nas pesquisas.

Sanders *et al.* (2021) utilizaram VANT com câmera multiespectral embarcada para capturar imagens em três campos de soja e identificar a difundida planta daninha *Amaranthus palmeri* S. Wats em duas safras (2016 e 2017). Os autores atribuíram na investigação diferentes parâmetros de avaliação como data de avaliação, densidade de plantas e altura de voo. Nesta abordagem foram utilizadas técnicas supervisionadas para diferenciação entre a planta daninha e soja. Os resultados validaram as hipóteses da pesquisa e as conclusões foram que todas as bandas espectrais utilizadas para diferenciar a planta daninha da soja tiveram alguma funcionalidade, no entanto, as bandas RedEdge e Infravermelho próximo foram mais confiáveis na abordagem.

É evidente as vantagens de mapear plantas daninhas e como os VANT's podem contribuir com isso. Além dessas aplicações, as operações de pulverização também são realidade, principalmente para atuação em regiões localizadas da área. No estudo de Castaldi *et al.* (2017), foram utilizados mapas de plantas daninhas a partir de imagens capturadas por VANT e, de forma ativa, essas informações foram aplicadas em contexto operacional, pulverizando de acordo com o mapa de prescrição. Para a investigação, os

autores avaliaram quatro campos de milho em duas safras (2014 e 2015). Em campo, foram comparadas três estratégias de pulverização: i) controle - não pulverizado, ii) pulverização uniforme e iii) pulverização de acordo com o mapa de prescrição. Os resultados evidenciaram que as imagens capturadas por VANT podem gerar mapas de prescrição confiáveis. No estudo, os autores relataram economia de até 40% em herbicida usando mapas de plantas daninhas e fazendo aplicação localizada.

Considerações finais

A evolução dos VANT's na agricultura tem crescido exponencialmente e o setor de plantas daninhas tem sido uma das áreas atendidas pela tecnologia. Por isso, neste capítulo sintetizamos informações sobre as principais aplicações de VANT's no monitoramento e controle de plantas daninhas. Um dos principais objetivos desta tecnologia é, sem dúvidas, substituir decisões subjetivas tomadas por seres humanos através do mapeamento de plantas daninhas em área total. Vimos que a semelhança espectral de plantas daninhas e plantas cultivadas pode tornar difícil distinguir as duas espécies usando apenas informações espectrais, mas apresentamos estudos capazes de resolver estes problemas. Outra contribuição dos VANT's é reduzir custos de pulverização, tanto utilizando mapas de prescrição quanto empregando VANT's pulverizadores, podendo economizar substancialmente a quantidade de produto aplicado, atingindo apenas regiões demandadas.

A tecnologia baseada em VANT's é vantajosa, mas ainda existem limitações, incluindo propriedades tecnológicas, aplicação e custos de aquisição. Além do mais, potenciais riscos à segurança restringem as operações de voo, o que torna os VANT's uma tecnologia incipiente no monitoramento agrícola. Acreditamos fortemente que com o desenvolvimento contínuo da tecnologia, no futuro, os cenários de aplicação de VANT's no monitoramento e controle de plantas daninhas continuarão a se expandir, fortalecendo ainda mais a capacidade de orientar a gestão sustentável.

Possibilidades futuras nas aplicações em plantas daninhas pode ser a projeção de VANT's com sensores para detecção de plantas daninhas em tempo real, eliminando tarefas demoradas de processamento de imagens e possibilitando intervenções imediatas pela própria plataforma. Outra aplicação potencial seria desenvolver VANT's com capacidade de carga e autonomia de voo necessárias para atender maiores área, tornando assim a tarefa mais econômica e mais frequentemente usada pelos produtores.

CAPÍTULO 5

HERBÁRIO DE PLANTAS DANINHAS

José de Anchieta Alves de Albuquerque¹

Glauber Ferreira Barreto²

Edgley Soares da Silva²

Ana Karyne Pereira Melo²

Maria Beatriz Bernardes Soares³

¹Professor Doutor da Universidade Federal de Roraima.

²Estudantes de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Federal de Roraima (UFRR) em parceria com a EMBRAPA-Roraima.

³Pesquisadora Doutora da Agência Paulista de Tecnologias do Agronegócio, APTA, Pindorama-SP.

Introdução

Herbário é uma coleção ou biblioteca de espécimes biológicas (plantas, fungos e algas) preservadas na forma de exsicatas, sendo identificadas de acordo com um sistema de classificação e acompanhadas de informações como: dados do coletor, data de coleta, local e habitat onde a planta se encontrava.

Os herbários são ferramentas de importância ímpar na área do ensino e da pesquisa, pois fornecem os materiais básicos de comparação, fundamentais para descobrir se a espécie é nova para ciência ou se já foi anteriormente descrita. Fornecem ainda, material ilustrativo e exsicatas de forma “virtual” e plantas vivas (cultivadas em jardins botânicos) para apreciação do público em geral e para uso nas áreas da sistemática, biologia, morfologia, ecologia, evolução, etnobotânica, biogeografia, medicina, farmácia, criminalística, paleobotânica, palinologia, genética, conservação de recursos naturais, agronomia, entre outras.

Para o manejo de plantas daninhas, as coleções mantidas nos herbários trazem informações úteis, como a biologia das plantas e sobre a composição florística de uma determinada região. Além disso, se as informações da coleta forem precisas, profissionais irão compilar, não só a lista das espécies catalogadas pelo herbário, mas também irão obter informações sobre as condições de habitat, qual sua distribuição, se há variabilidade na morfologia (tamanho e cor, flor e/ou fruto) de uma espécie em diferentes locais, época de coleta da espécie, etc.

Nesse capítulo é apresentado um breve histórico sobre a origem do termo herbário, conceitos iniciais, aspectos botânicos, procedimentos de coleta e de identificação e o passo a passo na confecção do herbário.

Esperamos que o conteúdo aqui apresentado satisfaça os anseios dos leitores e sirva como base para a obtenção de novos conhecimentos na ciência das plantas daninhas.

Breve histórico

O termo herbário é oriundo do latim “Herbarium”, que significa livro sobre plantas medicinais. Relata-se que o italiano Luca Ghini (1490-1556), um médico e professor de botânica, foi o pioneiro a coletar e dessecar amostras de plantas e colocá-las em prensas de madeira. Até esse período, os espécimes eram montados em papéis e amarrados na forma de livro, essa prática foi descontinuada na época de Carolus Linnaeus (1707-1778), o emérito fundador do sistema moderno de classificação científica dos organismos, conhecido como o “pai da taxonomia moderna, e o possível inovador da forma de montagem” das exsicatas (DE WOLF, 1968; YADAV, 2020).

Na técnica atualmente aceita, as plantas passaram a ser montadas em folha única de papel com tamanho definido, e dispostas de acordo com a classificação. As mesmas são armazenadas de forma horizontal, e serve como documento para pessoas interessadas (MEDELLÍN-LEAL, 1975; WINDISCH; LONGHI-WAGNER, 2000; YADAV, 2020).

Com o passar do tempo, essa técnica propagou-se por todos os continentes, sendo fundamentalmente aceita, não somente como a técnica foi edificada, em termos de catalogação de plantas em forma de herbário, mas passou-se a armazenar e a documentar diversos organismos biológicos como, por exemplo: algas marinhas bentônicas (herbário

ficológico), micota (herbário de fungos e de fungos liquenizados), coleção de amostras de madeira (xiloteca), etc. Foi em virtude dos trabalhos de classificação de Linnaeus e de outros botânicos e naturalistas, como Charles Robert Darwin (1809-1892) e Carl Friedrich Philipp von Martius (1794-1868), este último tendo contribuído imensamente para os registros da flora brasileira, assim como os botânicos brasileiros Frederico Carlos Hoehne (1882-1959), Adolpho Ducke (1876-1959), Amaro Macedo (1914-2014), Graziela Maciel Barroso (1912-2003) e Fritz Müller (1822-1897), que o presente conceito de coleções de herbário ao lado de dados detalhados de campo se tornou de suma importância dentro do processo coleção de herbário e classificação de espécimes ao longo de quatro séculos (YADAV, 2020).

Inicialmente os herbários eram guardados, na maioria das vezes, em domínios particulares, diferente dos tempos atuais (FORMAN; BRIDSON, 1989). Atualmente sua grande maioria é mantida pelo governo (municipal, estadual e federal) e instituições e organizações sem fins lucrativos. De acordo com o diretório global de herbário (Index Herbariorum), existe 390 milhões de espécies botânicas catalogadas no mundo, e aproximadamente 3.100 herbários ativos, com 12.000 mil funcionários associados (THIERS, 2022). No Brasil o primeiro herbário que se tem registro, é das coleções de Georg Markgraf, em Pernambuco, catalogado ente 1637 e 1644 (WINDISCH; LONGHI-WAGNER, 2000; SOUZA, 2006).

Os herbários brasileiros cadastrados e ativos encontram-se na Rede Brasileira de Herbários (RBH), da Sociedade Botânica do Brasil (SBB). Oficialmente, no Brasil existem 245 herbários, dos quais: 136 encontram-se ativos, 91 inativos, 2 estão em processo de mudança de sigla e 16 foram transferidos para outras instituições (RBH, 2022). Alguns desses herbários, por exemplo, estão na região de MATOPIBA (encrave entre Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), que mantêm 17 herbários ativos (Tabela 1) e um acervo que abrange os espécimes dessa região e circunvizinhas (RBH, 2022).

Nos últimos anos houve um incremento para as coletas de plantas relacionadas às diversas questões ambientais e ecológicas (ROBBIRT *et al.*, 2011; LAVOIE, 2013). Entretanto, Garcillán e Ezcurra (2011) citam não ocorrer o mesmo incremento em relação às espécies de plantas daninhas.

Tabela 1. Herbários ativos da região de MATOPIBA e o número de espécimes biológica no acervo.

Sigla	Herbário	Acervo ¹	Digitalizado ²
HUEFS	Herbário da Universidade Estadual de Feira de Santana	265.000	214.024
CEPEC	Centro de Pesquisas do Cacau - André Mauricio Vieira de Carvalho	160.000	-
ALCB	Alexandre Leal Costa	139.756	49.951
HRB	Herbário RADAMBRASIL	61.446	-
TEPB	Herbário Graziela Barroso	32.519	-
HURB	Herbário da Universidade do Recôncavo da Bahia	30.000	13.086
UESC	Herbário UESC	24.200	-
HUESB	Herbário da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia/Jequié	17.000	2.111
MAR	Herbário do Maranhão	15.000	-

HTO	Herbário do Tocantins	12.000	-
SLUI	Herbário Rosa Mochel	6.000	1.200
HDELTA	Herbário Delta do Parnaíba	5.000	-
BRBA	Herbário da Universidade Federal do Oeste da Bahia	4.275	-
BMA	Herbário Maranhão Continental	2.342	-
CCAA	Centro de Ciências Agrárias e Ambientais	2.000	-
ARBO	Herbário do Programa Arboretum	1.771	-
TFB	Tropical Fungarium	1.200	-

¹Número total de amostras, ² Número de amostras digitalizadas com imagem

Fonte: Adaptado do Catálogo da Rede Brasileira de Herbários e da rede speciesLink

Os autores relatam ainda que alguns herbários não costumam dar a devida importância em coletar e identificar plantas daninhas, sendo que essas são práticas imprescindíveis e que ajudam a planejar estratégias de controle e/ou manejo das mesmas.

Conceitos iniciais

O termo herbário é o mais usual, mas pode também ser denominado herbanário. Trata-se de uma coleção de amostras de plantas, corretamente coletadas, prensadas, desidratadas, confeccionadas de forma especial de exsicata e ordenadas de acordo com um sistema de classificação botânica. Também se entende por herbário, local adequado onde se guardam coleções de material botânico provenientes de diversas regiões geográficas (Figuras 1A e 1B; Figuras 2A, 2B e 2C). Já a exsicata é o nome dado a uma amostra de um espécime que passou pelo processo de coleta, identificação, preparação para desidratação, prensagem e montagem na folha, segundo as técnicas específicas (MARTINS-DA-SILVA *et al.*, 2014), podendo posteriormente fazer parte de um herbário.



Figura 1. A - Vista Externa do Herbário da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Fonte: <<http://www.uesb.br/noticias/herbario-da-uesb-completa-18-anos-de-existencia/>>; B - Vista Externa do Herbário da Universidade Federal de Goiás, Fonte: <<http://www.uc.ufg.br/p/2242-herbario>>.



Figura 2. A - Vistas internas dos herbários da Universidade Federal do Tocantins, Fonte: <<http://sweetgum.nybg.org/science/ih/herbarium-details/?irn=126370>>; B - Universidade Federal do Oeste da Bahia, Fonte: <<http://brba.jbrj.gov.br/v2/descherbario.php>> e C - Herbário da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Fonte: <<http://www.uesb.br/herbario/>>.

Além do material botânico, um herbário deve possuir uma coleção de livros e materiais com ilustrações como suporte ao estudo da flora da região de maior interesse, e acesso à internet. Esses materiais devem ser mantidos em instalações apropriadas para a conservação, segundo a sequência de uma dada classificação, podendo ser utilizados como referência ou para outros estudos científicos.

No interior de um herbário, dentre diversos materiais botânicos que são guardados, além de exsicatas, devem ter espermatecas, carpotecas, xilotecas, plantas *in vivo* e partes de plantas (Figuras 3A e 3B). Relacionado às plantas daninhas, é interessante que se tenha coleções de espécies coletadas na fase adulta (florando) como também na fase jovem (seedlings).



Figura 3. Amostras de espermatecas, carpotecas, xilotecas, plantas *in vivo* e partes de plantas no interior de um herbário; A - Herbário Alexandre Leal Costa, Fonte: <<https://collectory.sibbr.gov.br/collectory/public/show/co68>> e B - Herbário da Universidade Federal do Piauí, Fonte: <<https://ufpi.br/editais-parnaiba/163-parnaiba/20356-projetos-herbario>>.

Um herbário constitui-se em um importante banco de informações para estudos taxonômicos e florísticos. Um espécime desconhecido pode ser comparado com uma amostra já identificada no herbário, e assim ser identificado por comparação. Muitos herbários executam serviços de identificação e informações, bem como pesquisa e ensino.

Para uma perfeita organização de qualquer herbário recomenda-se constar de quatro fases: 1ª. Formação e incremento das coleções (coletas, doações, permutas); 2ª. Processamento (etiquetagem, identificação, montagem das exsiccatas); 3ª. Manutenção (cuidados que incluem a parte física, como instalações e fumigações, e a parte científica, como a atualização nas identificações); 4ª. Administração (feita por um Curador Geral e pessoal de apoio administrativo) (AMARAL; FILHO, 2010).

Principais funções do herbário

Dentre as principais funções do herbário, podem-se citar as seguintes:

- Armazenar exemplares, se possível já identificado, das espécies coletadas;
- Fornecer identificações de plantas aos pesquisadores, estudantes e produtores que necessitam destas informações;
- Identificar plantas daninhas, objetivando um controle e/ou manejo satisfatório;
- Ajudar na elaboração de trabalhos científicos ou populares, sobre a flora da região;
- Servir como centro de treinamento em botânica;
- Servir como fonte de busca de novos materiais genéticos para o melhoramento do estoque cultivado ou para comparação da evolução das espécies.

Aspectos botânicos

Desde os primórdios da ciência o homem aprendeu a classificar com o objetivo de facilitar o seu entendimento sobre as plantas que o cercam. Isto tem uma maneira simplista; identificar as plantas comestíveis e as não comestíveis.

Ao longo da história os sistemas de classificação dos vegetais foram propostos de acordo com as necessidades da época, facilitando o entendimento do homem sobre as plantas com base no conhecimento existente. Atualmente existem vários sistemas de classificação dos vegetais, alguns publicados há mais tempo e outros mais recentes, dentre: Thorne (1968), Engler (1954), Cronquist (1988) e APG I, II, III e IV (a partir de 1998) (SOUZA; LORENZI, 2008; YADAV, 2020).

Contudo, o sistema de classificação mais utilizado pelos pesquisadores no momento é o *Angiosperm Phylogeny Group*, conhecido como Sistema APG. Esse sistema consiste na classificação pelo uso de técnicas de biologia molecular e de ordenação hierárquica das espécies. Esse sistema também propôs a divisão das Angiospermas em quatro grandes grupos: Angiospermas basais, Magnólideas, Monocotiledôneas e Eudicotiledônea, para facilitar a classificação das espécies.

A classificação botânica está inserida dentro da ciência da Taxonomia (Sistemática) vegetal. Esta ciência é fundamentada sequencialmente em três princípios: identificação, classificação e nomenclatura botânica. Baseadas principalmente nas características morfológicas, as plantas são agrupadas nas denominadas unidades taxonômicas, sendo as principais: classes, ordens, famílias, gêneros e espécies.

Relacionado as plantas daninhas, a correta classificação é suma importância para a elaboração de um bom programa de manejo. Uma vez que, é de fundamental importância que o técnico responsável saiba identificar as espécies tanto na fase adulta como também na jovem, momento que estas se encontram mais suscetíveis ao seu manejo.

Além da morfologia da planta, também é necessário o conhecimento de várias outras características, dentre elas: rota fotossintética, tipos de propagação, hábito de crescimento e ciclo de vida (ALBUQUERQUE *et al.*, 2017; MENEZES *et al.*, 2019; ALBUQUERQUE *et al.*, 2021; MELO *et al.*, 2021). De acordo com Concenço *et al.* (2014) é necessário conhecer tão bem as plantas daninhas quanto conhecemos as plantas cultivadas, o que é uma prática muito difícil e que requer muito treinamento.

Procedimentos de coleta de plantas

Antes da coleta, os responsáveis pela atividade devem ter em mente o objetivo do trabalho a ser realizado, pois assim saberão quais materiais, quantidades e número de coletas que serão realizadas. Se houver interesse em análise de DNA, devem ser coletadas uma ou várias folhas jovens e armazenadas em saco de plástico contendo sílica (MARTINS-DA-SILVA *et al.*, 2014). Os materiais necessários para realização de coletas de plantas daninhas variam conforme a estrutura do vegetal. A maioria das espécies apresenta hábito de crescimento herbáceo, mas também podem ter as subarborescentes, arbustos e arbóreas.

Se no momento da coleta a amostra estiver infértil (sem flores), podem ser úteis para identificação, ressaltando que não podem ser tombados em coleções científicas. Uma vez que, entre as estruturas das plantas, as flores é uma estrutura que apresentam padrões mais definidos, quando comparados a outras estruturas como folha e caule. Assim, as flores apresentam padrões quanto à forma do tamanho das sépalas e pétalas e de cores, e essas características a muitos anos veem sendo usadas pelos cientistas para identificar as plantas. Assim, a presença da flor é reconhecida como a estrutura de maior importância na classificação das plantas.

As amostras podem ser provisoriamente acondicionadas em sacos de coleta, e prensadas em campo durante o dia de trabalho. É importante ter o cuidado de que o material coletado acondicionado em saco pode desidratar-se, fragmentar-se ou até mesmo se misturar com outras amostras do mesmo saco, logo recomenda-se que cada amostra de uma mesma planta coletada deve ser acondicionada em pequenos feixes (com fita crepe ou barbante) e em seguida em colocadas em sacos com as respectivas informações da coleta (número da coleta, coletor, coordenadas geográficas, número de indivíduos, por espécie e de espécie, etc.) até o momento da prensagem, que pode ser realizado tanto em campo dependendo no número de amostras e ou as amostras podem ser levadas para o laboratório para posterior prensagem.

A prensagem exige cuidados especiais influenciando na qualidade da futura exsicata, tanto em termos de uniformidade de secagem como a perfeita exposição das folhas, frutos e/ou flores. No momento de colocar a amostra para dessecar, recomenda-se deixar algumas folhas mostrando sua face adaxial (superior) e abaxial (inferior), de modo que a pessoa que for olhar a exsicata veja ambas as faces da folha. No ato da coleta, a

amostra deve ter em torno de 45 cm de comprimento, pois quando for desidratada, classificada e fixada na exsicata, ficará próximo de 30 cm (Figura 6) (MACHADO; BARBOSA, 2010; SILVA; MARTINS, 2013; MOTA *et al.*, 2014).

Algumas informações devem ser anotadas sobre a amostra e o habitat, pois serão imprescindíveis no momento da identificação da espécie. As coletas recebem um número de coletor (que pode ser anotado no próprio jornal ou em fita crepe, fixada ao ramo) e os informes relacionados a este número, são anotados em um caderno de coletas. Estas informações são necessárias, pois algumas características não são mais observadas quando a amostra é dessecada e podem ser perdidas com a herborização. Então deve-se anotar: localização, coordenadas geográficas, altitude, caracterização do habitat, data da coleta, nome dos coletores, hábito de crescimento da planta, cor das estruturas, presença de látex, entre outras informações (GOMES *et al.*, 2001; MONTEIRO; SIANE, 2009; SILVA; MARTINS, 2013; MOTA *et al.*, 2014). Recomenda-se coletar de três a cinco amostras de uma mesma espécie (uma unicata e quatro duplicatas) e, no momento da herborização, escolhe-se a melhor amostra.

Para que a coleta e identificação de plantas daninhas tenham resultados satisfatórios, é necessário ter disponível algumas ferramentas (Tabela 2).

Tabela 2. Ferramentas necessárias para uma exitosa coleta de plantas daninhas.

• Quadrado inventário	• Fita crepe
• Balança de precisão	• Jornal
• Caderneta de campo	• Papelão
• Caneta/lápis	• Prancheta
• GPS	• Sacos de papel e plástico (diferentes tamanhos)
• Tesouras de poda	• Barbantes e cordas
• Facão e lima	• Trena
• Canivete	• Vidro com água para acondicionar plântulas
• Prensas de campo	
• Podão com haste (coleta de espécies não herbáceas)	

Fonte: próprio autor.

A microárea de coleta de plantas daninhas, dentro de uma área maior, pode ser dimensionada através dos quadrados inventários (vazados), que são estruturas metálicas ou em cano PVC que variam entre 0,25 x 0,25 m (0,0625 m²) a 2,00 x 2,00 m (4,0 m²), sendo o de 0,50 x 0,50 m (0,25 m²) (Figura 4) o mais utilizado, o qual é lançado de 60 a 80 vezes numa área de uma hectare (CORRÊA *et al.*, 2011; GALVÃO *et al.*, 2011; MENEZES *et al.*, 2019; MELO *et al.*, 2021; ALBUQUERQUE *et al.*, 2021).



Figura 4. Amostra de quadrado vazado com dimensão de 0,50 x 0,50 m. Fonte: acervo próprio.

Para coleta de plantas daninhas na fase adulta, estas devem, preferencialmente, conter ramos vegetativos (raízes, caule, folhas e flores/inflorescências) e mostrar sua filotaxia (maneira que as folhas estão inseridas no ramo). Para isso, deve-se colocar a amostra entre folhas de jornal e seguir os demais procedimentos rotineiros utilizados em cada etapa, desde o ato da coleta até os diversos estágios de montagem das exsicatas para posterior inclusão do material botânico no acervo.

Para a coleta de plantas daninhas na fase jovem (plântulas), deve-se seguir, sequencialmente, os passos abaixo:

- 1º Passo: coletar as plantas com 3 a 6 folhas;
- 2º Passo: colocar a amostra em tubetes ou vidro com água (Figura 5A e 5B);
- 3º Passo: secar a mostra com papel higiênico;
- 4º Passo: cobrir a amostra com “papel contact”.

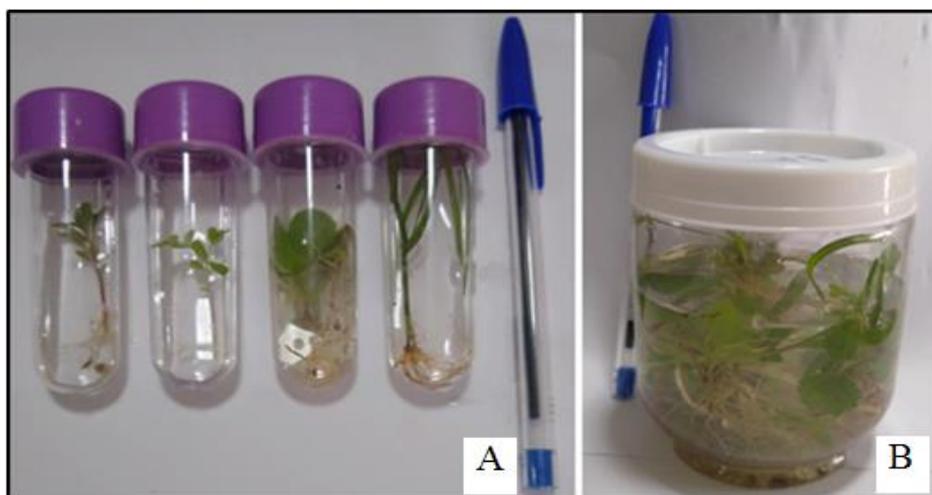


Figura 5. Exemplos (Amostras) de plantas daninhas na fase jovem em: A - tubetes e em B - vidro com água, após a coleta. Fonte: acervo próprio.

Identificação de plantas

A base para a formulação de uma eficiente estratégia de manejo e/ou controle de plantas daninhas se dá no momento da identificação das espécies nos campos de produção. Para uma correta identificação das espécies recomenda-se o uso de literatura especializada, tais como: Lorenzi (2008), Moreira e Bragança (2010), Lorenzi (2014) e Gazziero *et al.* (2015) (Figura 6). Entretanto, caso haja dúvida, quanto a correta identificação, deve-se recorrer a especialistas em herbários.



Figura 6. Identificação de plantas daninhas com auxílio de literaturas especializadas. Fonte: acervo próprio.

Atualmente, já encontramos sites que auxiliam na busca de uma correta identificação. Entretanto, na prática observa-se a existência de profissionais com experiência no reconhecimento das plantas daninhas, principalmente na fase jovem, que não é fácil e requer muito treinamento.

É de fundamental importância identificar as plantas daninhas não apenas na fase adulta, mas principalmente na fase jovem, onde se encontram mais susceptíveis ao seu controle e manejo (GALVÃO *et al.*, 2011; KRENCHINSKI *et al.*, 2015; ALCANTARA NETO *et al.*, 2019; ALBUQUERQUE *et al.*, 2021).

Uso da biologia molecular na identificação de plantas daninhas

Atualmente, os estudos que visam à caracterização e conservação de germoplasma de espécies de plantas vêm crescendo de forma expressiva frente ao potencial econômico ou dos possíveis danos das espécies (SOUZA, 2015). No caso de plantas daninhas, é fundamental na gestão integrada das plantas daninhas é que a comunidade seja bem compreendida, nos seus pontos fortes e fracos (NORRIS *et al.*, 2002), assim a medida que tem-se o aumento progressivo na complexidade e dificuldade do manejo das plantas

daninhas, maior é a necessidade de se aprofundar os conhecimentos sobre as espécies (SCHNEIDER *et al.*, 2018), sobretudo ao se considerar que a elevada variabilidade genética é uma das principais características das plantas daninhas (VIDAL; MEROTTO JUNIOR, 2001; SCHNEIDER *et al.*, 2018).

No campo, as características morfológicas são utilizadas normalmente para descrever e discriminar espécies e variedades de plantas (SOUZA, 2015), no entanto, essas características podem ser avaliadas de forma subjetiva e ainda sofrer influências ambientais positivas ou negativas, impossibilitando a detecção de polimorfismo de modo confiável entre espécies, variedades e indivíduos. Além disso, devido à ampla gama de espécies, é reduzido o número de descritores morfológicos, principalmente por essas plantas não serem de maneira geral cultivadas.

A caracterização do genoma de espécies de plantas daninhas visando à identificação de espécies com maior acurácia, identificação de espécies resistentes e seu mecanismo de resistência, modo de ação de herbicidas, variabilidade e similaridade genética entre populações de plantas daninhas, identificação dos genes envolvidos nos processos de interação entre plantas pode ser realizados com o emprego de técnicas de biologia molecular (SCHNEIDER *et al.*, 2018).

Com os avanços da biotecnologia, o advento dos marcadores moleculares possibilitou a discriminação genotípica de forma hábil, pois permite o estudo da variação genética em nível de DNA. Marcadores moleculares são características de DNA que diferenciam dois ou mais indivíduos e são herdadas geneticamente, são estáveis e detectáveis em todos os tecidos, independentemente da diferenciação ou do estágio de desenvolvimento do organismo, e não sofrem influência do ambiente e dos efeitos pleiotrópicos (múltiplos efeitos resultantes de um único gene) e epistáticos (interações gênicas) (MILACH, 1998; JOSHI *et al.*, 2004; AGARWAL *et al.*, 2008).

Os distintos tipos de marcadores moleculares diferenciam-se pela tecnologia utilizada para revelar variabilidade a nível de DNA, e assim variam quanto à habilidade de detectar diferenças entre indivíduos, custo, facilidade de uso, consistência e repetibilidade (MILACH, 1998). Os primeiros marcadores moleculares foram os isoenzimáticos, e, a partir do desenvolvimento da técnica de reação de polimerase em cadeia (PCR - Polymerase Chain Reaction), foi possível o surgimento de diversas classes como AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism), SSR (Simple Sequence Repeats), ISSR (Inter Simple Sequence Repeat), RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA), entre outros (FERREIRA; GRATTAPAGLIA, 1998).

Além de possibilitar a caracterização de germoplasma, os marcadores moleculares podem ser utilizados como ferramenta para estudos de diversidade genética entre indivíduos, dentro e entre populações ou espécies relacionadas (SOUZA *et al.*, 2008), assim como para análise de filogenias, impressão digital de DNA, detecção de ligação gênica com caracteres mono e poligênicos, identificação de variedades, introgressão gênica, seleção indireta de caracteres agrônômicos, dentre outros (SOUZA, 2015).

Passo a passo na confecção do herbário

Como já vimos anteriormente, herbário é uma coleção de plantas preservadas, desidratadas e prensadas para posterior estudo. No caso das plantas daninhas, essas coleções são confeccionadas com a planta tanto na fase adulta, como na fase jovem (plântulas). Para a confecção de um herbário de plantas daninhas podemos citar os seguintes procedimentos: escolha da área de coleta, identificação das espécies, prensagem e secagem, preparação das exsicatas (fixação das amostras dessecadas na cartolina e etiquetamento) e registro e tombamento do herbário.

Exsicatas (plantas adultas)

Com o objetivo de guardá-las em herbário, após a secagem, as amostras (comprimento em torno de 30 cm) devem ser montadas em exsicatas. As mesmas são fixadas em uma folha de cartolina de tamanho padrão 29 x 42 cm (Figura 7A). Para a fixação do material, podem ser utilizados cola branca, cola quente, fita adesiva (com goma arábica) ou ainda costuradas com linhas ou barbantes finos. Uma etiqueta contendo informações da espécie é colada no canto direito inferior da cartolina (10 x 12 cm). A finalidade é fornecer informações do espécime e que não sejam evidenciados pelo material. No canto superior esquerdo, recomenda-se afixar um envelope pequeno para guardar partes frágeis caídas ou retiradas do exemplar como folhas, flores e frutos (Figura 7B).

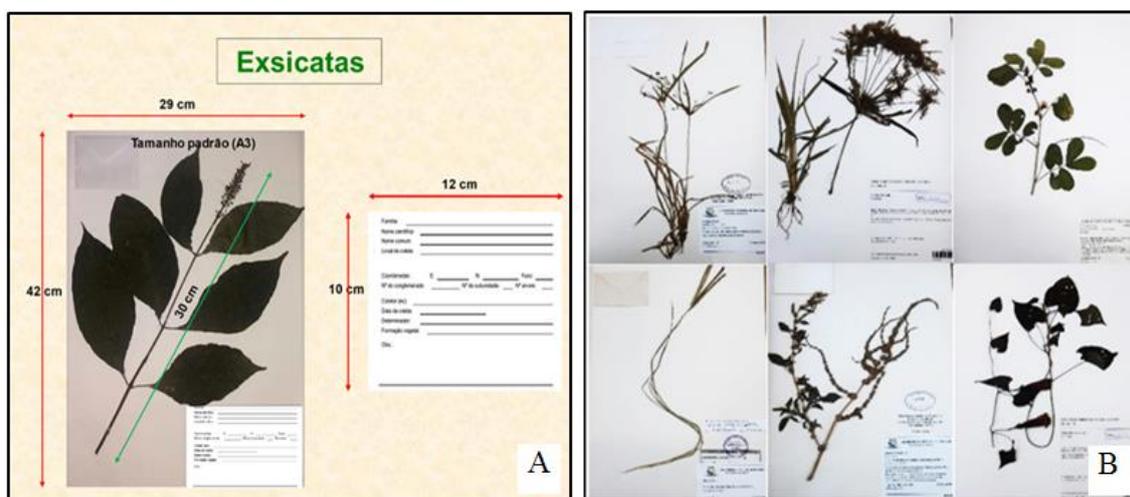


Figura 7. A - Amostra de exsicata padronizada, Fonte: acervo próprio; B - Exemplos de exsicatas de plantas daninhas do herbário da Universidade Federal de Roraima-UFRR, Fonte: acervo próprio.

Coleção de plantas jovens (seedlings)

No momento da coleta da plântula no campo, deve-se fixá-la na cartolina sob o papel contact, não sendo necessário a secagem da mesma, devendo informar o nome popular, científico e família botânica (Figura 8). Recentemente, vários herbários estão informando o Código EPPO coder (European and Mediterranean Plant Protection

Organization), também conhecido como Código Bayer (2014). Esse código permite fornecer todas as informações específica de uma espécie plantas.

Os nomes científicos no código são abreviados em cinco letras maiúsculas (Figura 8), para evite erros de digitação durante a entrada de dados para identificação de uma espécie, além disso, o EPPO fornece uma maneira eficiente de lidar com questões de mudanças taxonômicas e linguagens diferentes em bancos de dados, o que facilita a substituição de dados. O banco de dados mantido pelo EPPO, está sendo atualizado para fornecer opções de pesquisa mais flexíveis em um futuro próximo, vide url: <https://www.eppo.int>.



Figuras 8. Coleções de plantas daninhas na fase jovem. Fonte: acervo próprio.

Herbários virtuais

Um “herbário virtual” é empregado para caracterizar uma coleção de imagens de plantas secas, disponibilizadas por meios eletrônicos e hospedadas em website. Por exemplo o Herbário da Universidade Estadual de Feira de Santana atualmente apresenta 214.634 imagens digitalizadas, disponível no link <https://specieslink.net/col/HUEFS/>. Além desse, o Herbário Virtual Re flora, mantido pelo Jardim Botânico do Rio de Janeiro (JBRJ), disponibiliza imagens de plantas do Brasil e de outros herbários associados, inclusive de outros países (Figuras 9A, 9B e 9C).



Figura 9. Espécies de plantas daninhas: A - *Cenchrus echinatus*, B - *Euphorbia heterophylla* e C - *Conyza bonariensis*, digitalizadas e disponibilizadas na página Index Herbariorum Fonte: <<http://sweetgum.nybg.org/science/vh/>>.

Considerando que os meios digitais já fazem parte da rotina da população mundial, até mesmo dos agricultores, o uso dessa ferramenta permite a realização de buscas através de banco de dados disponibilizado na internet, de forma rápida e fácil. Além disso, a busca não fica restrita apenas a um local, haja vista o número de herbários que estão se adequando a essa forma de disponibilizar informações.

Este conceito de disponibilização de imagens digitais de exsicatas herborizadas, não necessariamente precisa estar disponível na internet, pois a utilização de registro fotográfico dos acervos das coleções de plantas e utilização de softwares é uma prática que vem crescendo nos últimos anos. Um aspecto positivo do herbário virtual, é que as imagens e as informações contidas podem ser acessadas mesmo quando o usuário não está conectado à internet, tendo acesso de forma digital em um CD Room, os herbários virtuais surgem como prática inovadora, pois com a digitalização (Figura 10) e disponibilização dos dados em sites específicos, reduziu-se o número de envios de material botânico, que em alguns casos, danificavam as amostras e se deterioram com o passar do tempo (FORMAN; BRIDSON, 1989; SILVA, 2016).



Figura 10. Processo de digitalização para disponibilização online do acervo do Herbário do Museu Botânico Municipal de Curitiba-PR. Fonte: <<https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/acervo-do-herbario-municipal-e-digitalizado-para-integrar-banco-de-dados-internacional/34593>>.

Considerações finais

Os herbários fornecem materiais básicos de estudo de plantas daninhas, sejam por meio de material ilustrativo ou exsicatas de forma “virtual”. Um herbário de plantas daninhas figura como uma coleção científica de amostras de plantas que, após passar por processos de prensagem e secagem, são confeccionadas de forma particular e posteriormente sistematizadas segundo sua classificação botânica.

A função principal de um herbário de plantas daninhas é abrigar fragmentos ou amostras da biodiversidade vegetal de determinada região. Eles atuam como acervo de acesso rápido e seguro, onde é possível obter informações acerca da identificação, nomenclatura, classificação, distribuição e ecologia de qualquer espécie, não sendo necessário exames precisos de cada exemplar a nível de campo.

Os herbários podem ser utilizados como base para formulação de estratégias de manejo e/ou controle de plantas daninhas nos cultivos agrícolas, pois possibilitam conservar e catalogar a variabilidade morfológica e genética das populações de plantas de diferentes idades e ao longo do tempo, considerando suas características ambientais e geográficas, servindo como testemunho de que uma determinada espécie habita ou já habitou uma determinada região um dia.

CAPÍTULO 6

MÉTODOS DE CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS

Arthur Arrobas Martins Barroso¹

Samia Rayara de Sousa Ribeiro²

Natália Almeida Mitroszewski³

Renan Gonçalves da Silva⁴

João Pedro de Barros Leinecker⁴

Thaís Buwai Lucif⁴

¹Professor Doutor da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, Brasil.

²Doutoranda da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, Brasil.

³Mestranda Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, Brasil.

⁴Graduandos em Agronomia, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, Brasil.

Introdução

As plantas daninhas, são capazes de interferir negativamente nas atividades do homem, sejam na produção de alimentos, de fibras, ou de energia. Nestes processos insere-se a busca por sistemas conservacionistas, balanceando perdas de produtividade frente à sustentabilidade da produção. De uma maneira ou de outra, estes indivíduos necessitam ser controlados e a partir deste momento, iniciamos nossa discussão. O que significa a palavra controle? Em que ela difere da erradicação e do manejo?

Quando falamos de controle, estamos falando do uso de técnicas que limitam a ocorrência de plantas daninhas. Dentro das técnicas de controle, podemos usar o controle físico, mecânico, biológico, químico ou cultural. Quando falamos da erradicação, estamos falando da eliminação de todos os indivíduos de uma ou mais espécie, incluindo o banco de sementes e estruturas vegetativas de plantas que estejam no solo. A erradicação é praticamente impossível de ser alcançada, principalmente em grandes áreas. A erradicação só deveria ser pensada em potenciais invasões de espécies problemáticas com um foco de identificação muito rápido, a exemplo do caruru (*Amaranthus palmeri*) no Mato Grosso, onde a sua presença, inclusive, gerou legislações específicas devido ao potencial interferente no cultivo do algodão.

Por fim, temos o manejo, que trata da combinação de duas ou mais técnicas de controle, incluindo a prevenção da ocorrência de plantas daninhas. Vale ressaltar, que quando falamos sobre o manejo integrado de plantas daninhas, devemos lembrar que este é parte do manejo integrado de pragas (MIP), que visa maximizar a produção em resguardo dos recursos naturais, minimizando os impactos negativos das práticas de controle de pragas no ambiente.

Já que citamos a prevenção de plantas daninhas, devemos frisar que uma das estratégias mais eficazes para se lidar com um problema, é não o possuir. Parece fácil convencer alguém dessa questão, entretanto, quem controla plantas daninhas, gosta de ver plantas daninhas sendo controladas. Quando falamos da prevenção, estamos falando na adoção de estratégias para problemas que não existem, ainda. O convencimento da sua adoção é mais difícil do que se parece. Entretanto, discutiremos algumas estratégias que vêm sendo adotadas no Estado do Paraná na tentativa de evitarmos problemas, que podem servir de inspiração para outras regiões do País, como também sobre os métodos de controle existentes e sua aplicabilidade.

Prevenção

Dentro das medidas usuais de prevenção, podemos citar algumas premissas básicas. O agricultor deve reconhecer as plantas que possui na sua propriedade, e mais, deve reconhecer e entender a evolução da sua comunidade infestante. Hoje, para isso, contamos com o auxílio de diversos livros, sites, aplicativos, drones, etc. Outras medidas a serem tomadas são: isolar animais recém adquiridos em área específica por um curto período de tempo, evitando a entrada de sementes que venham no trato digestivo do animal; limpar ou ao menos monitorar as áreas em que as operações agrícolas se iniciem com o uso de máquinas de terceiros; controlar plantas daninhas em canais de irrigação, nas margens de estrada e em áreas não cultivadas; prestar atenção na qualidade de insumos comprados,

incluindo sementes (não utilizar sementes piratas e cuidar para que uma cobertura de solo não se torne uma planta daninha); manter correto controle cultural de cultivos, sejam eles de safra ou de cobertura; monitorar constantemente seus campos de produção e controlar as plantas existentes antes da produção de sementes (a prevenção ocorre de fora para dentro da propriedade, mas também internamente) (ZIMDAHL, 2007).

Estas medidas preventivas, podem ser puramente técnicas ou terem amparo legal. Alguns exemplos de medidas legais são as Instruções Normativas número 30/2008 e número 45/2013 e 46/2013, que regulamentam o comércio de sementes, ou a Instrução Normativa INDEA N°86 de 2015, que regulamenta diversas questões ligadas ao *A. palmeri* no MT. No Paraná, possuímos a Agência de Defesa Agropecuária, a ADAPAR, que tem trabalhado em parceria com diversas instituições, entre elas à UFPR. Dentre as medidas adotadas nos últimos anos, estamos caracterizando o uso de herbicidas e a distribuição de espécies de plantas daninhas no Estado. Com suporte do HRAC-BR, conseguimos também realizar ano a ano o monitoramento da resistência das plantas a herbicidas.

Esses levantamentos nos dão subsídios para entender que planta daninha tem se tornado problemática, se a sua ocorrência está aumentando, diminuindo, se os herbicidas recomendados para seu controle estão se mantendo os mesmos ou se estão mudando, dentre outras estratégias. Dentro da utilização destes dados, por exemplo, foi construída no ano de 2021, uma matriz de resistência potencial para o Paraná, que funciona como um guia estratégico de alerta aos agricultores sobre as boas práticas no uso de herbicidas (Figura 1).

		Risco de espécies (por gênero)				
		Baixo	Médio	Alto		
		Todos outros generos	<i>Ambrosia,</i> <i>Chenopodium,</i> <i>Chloris,</i> <i>Euphorbia,</i> <i>Solanum,</i> <i>Sorghum</i>	<i>Amaranthus,</i> <i>Bidens,</i> <i>Conyza,</i> <i>Digitaria,</i> <i>Echinochloa,</i> <i>Eleusine,</i> <i>Lolium,</i> <i>Raphanus</i>		
			1	2	3	
Risco do herbicida	Alto (B, C, G)	3	3,0	6,0	9,0	Sem risco modificado (x1)
			2,0	4,0	6,0	Risco parcialmente modificado (x0,67)
			1,0	2,0	3,0	MIPD (x0,33)
	Médio (A, O, D, K)	2	2,0	4,0	6,0	Sem risco modificado (x1)
			1,3	2,7	4,0	Risco parcialmente modificado (x0,67)
			0,7	1,3	2,0	MIPD (x0,33)
	Baixo (F, E, H, L)	1	1,0	2,0	3,0	Sem risco modificado (x1)
			0,7	1,3	2,0	Risco parcialmente modificado (x0,67)
			0,3	0,7	1,0	MIPD (x0,33)

Figura 1. Matriz de risco da ocorrência/invasão de espécies resistentes no Estado do Paraná, com base nos herbicidas utilizados e registros de resistência à nível mundial. Quanto maior o valor, maior o risco da ocorrência da resistência à herbicidas.

Nota-se por exemplo, que os agricultores devem estar alertas para a ocorrência de plantas do gênero *Raphanus*, resistentes ao glyphosate (grupo G), nos próximos anos, um problema que ainda não temos. Ou, que a utilização do herbicida amônio-glufosinato (Grupo H) é fundamental no manejo da resistência e deveria estar incluso em um programa de aplicações. Este guia serve também para direcionar os esforços de fiscalização governamental. Além dos fiscais da ADAPAR estarem sempre em treinamento quanto à prevenção de problemas, no ano de 2021, foi lançada a Portaria de número 63, que de maneira resumida, obriga quaisquer pessoas a comunicar à agência, a detecção de espécies novas ou resistentes no Estado, incluindo a potencialidade de denúncia de áreas que não estejam realizando o controle correto de espécies problemáticas. Saberemos a efetividade destas estratégias nos próximos anos, ou não, e essa é a graça do processo, pelo menos, para os cientistas.

Controle mecânico

O controle mecânico de plantas daninhas é o método mais antigo usado no mundo. Apesar disso, até hoje é utilizado em situações específicas. Nos primórdios, feito com a própria mão, passou a ser executado por ferramentas (tal qual a enxada), depois por meio de tração animal, substituída só depois pelo uso de máquinas.

O controle manual de plantas daninhas tem a vantagem de ser não-seletivo para maioria das espécies (quase nenhuma espécie resiste a uma enxada), porém as desvantagens de ser lento, dependente de condições ambientais e pouco seletivo aos cultivos em períodos iniciais de desenvolvimento e pouco efetivo no controle de plantas daninhas em períodos mais tardios levou à sua substituição. Apesar da ausência de mão de obra no campo, hoje ainda, se utiliza a enxada para o controle de escapes de plantas resistentes nas lavouras ou em locais onde a aplicação de agrotóxicos não é permitida. Em maior intensidade, é utilizada na agricultura orgânica ou em áreas urbanas, como calçadas e jardins.

Evoluindo para as máquinas, temos implementos agrícolas que podem escarificar, arar e gradear o solo. Em processos de escarificação, as sementes presentes na superfície do solo são enterradas, podendo haver uma diminuição da germinação de plantas dependendo do que existe no solo). Em processos de aração e gradagem, plantas pequenas já emergidas podem ser controladas. Atenção especial para plantas que possuem a capacidade de rebrotar ou a de se reproduzir por meio de estruturas de propagação vegetativa, onde estas operações podem acelerar a sua disseminação, como por exemplo, a gradagem de uma área na presença da grama-seda (*Cynodon dactylon*). Outras operações de intervenção no solo, se dão em culturas específicas, como quebra lombo da cana de açúcar, na amontoa da batata, etc.

O balanço entre o preparo do solo, ou a manutenção de uma cobertura com palha, dependerá dos seus objetivos de produção e das suas infestações. Sementes que apresentem elevada viabilidade, só estarão tendo sua dormência estimulada uma vez postas em profundidade. Sementes com baixa viabilidade, como em geral, as espécies de caruru, se levadas a profundidade, podem deixar de ser um problema em cultivos futuros. Ainda é pouco estudado no Brasil, os efeitos das diferentes épocas de intervenção no solo

na comunidade infestante que irá emergir, incluindo preparos realizados durante o dia ou de noite.

Outras operações de controle mecânico podem não envolver diretamente o revolvimento do solo. A exemplo, temos a roçadora, que irá controlar o desenvolvimento de plantas em altura, seja anterior ao estabelecimento do cultivo, ou com este já emergido, roçando plantas daninhas apenas nas entrelinhas. Em cultivos perenes, tais como eucalipto, e citros, é comum essa utilização. O controle mecânico por meio de capinas é ainda utilizado na fruticultura brasileira pela facilidade da incorporação de mão-de-obra familiar, que é responsável por grande parte da produção neste sistema.

Na cultura do abacaxi, por exemplo, são necessárias até 12 capinas por ano para que se mantenha a área no limpo, o que representa até 70% dos custos com mão-de-obra. Na cultura da banana, este custo pode ser de 18% e no mamoeiro, a capina pode representar até 49% do custo operacional total (MOROTA *et al.*, 2020). É claro que na maioria dos casos, seja pela espécie - sua plasticidade e possibilidade de rebrota mais rápida - seja pela extensão da área a ser tratada, este método se torna ineficaz pelo seu alto custo de operação.

Destaca-se que a prática mecânica pode ser aliada ao controle químico de plantas daninhas, pois as plantas podem facilmente rebrotar e crescer em um curto período de tempo. Uma prática que vem sendo utilizada para o controle do capim-amargoso (*Digitaria insularis*) resistente à herbicidas, é a roçada de plantas anteriormente à aplicação de produtos. Em um futuro próximo, teremos a evolução das máquinas, que se tornarão mais inteligentes, mais seletivas e mais baratas (COSTA *et al.*, 2018).

Controle físico

O controle físico de plantas daninhas é aquele que impõe barreiras na germinação e/ou crescimento de plantas daninhas, como por exemplo, o uso de coberturas, o uso da eletricidade, do calor (solarização e uso do fogo) e da água (inundação e drenagem) (SILVA *et al.*, 2018). O uso de coberturas no controle de plantas daninhas é uma estratégia amplamente utilizada por produtores de hortaliças e com reconhecido resultado, que aliado a outros métodos proporciona controle satisfatório de plantas daninhas. Por exemplo, o uso do “mulching” (GUTTNER *et al.*, 2018). Essa cobertura pode ser feita por material vegetal ou por materiais sintéticos. Uma evolução de mercado vem sendo a utilização de materiais biodegradáveis, que podem ou não estar formulados juntos a moléculas herbicidas que irão sendo liberados lentamente no solo.

O uso de corrente elétrica ou ondas eletromagnéticas são consideradas eficientes por induzirem efeitos térmicos e não térmicos causando efeitos tóxicos a plantas, rompendo as paredes celulares e desnaturando proteínas, que levarão a morte dos tecidos (SILVA *et al.*, 2018). Apesar de eficiente, é um método muito caro para uso em grande escala e deve-se levar em conta que não apresenta efeito residual. Uma das principais empresas ligadas a estes equipamentos é a Zasso (<https://zasso.com/pt/pagina-inicial>) que desenvolve inclusive equipamentos para o controle de plantas daninhas nas entrelinhas de cultivos anuais.

O uso da inundação para o controle de plantas daninhas consiste em impedir que espécies sensíveis obtenham oxigênio para sobreviver. Apesar de ser uma importante prática cultural, ela não é eficiente no controle de plantas daninhas adaptadas às condições de alagamento, como o arroz vermelho (*Oryza sativa*), principal planta daninha do arroz. As limitações desse método também incluem o alto custo para nivelar a área de inundação e o uso excessivo de água. Ao contrário da inundação, a drenagem visa retirar a água do ambiente para impedir o crescimento e desenvolvimento de espécies adaptadas ao meio inundado, como espécies aquáticas invasoras, já que em corpos hídricos no Brasil, não existe recomendação da aplicação de herbicidas.

O uso do fogo, apesar de muito popular, não é considerado adequado pela compreensão de adequação ambiental e também pelos seus efeitos no solo. Mesmo com o desenvolvimento de equipamentos e técnicas que permitam uma queima monitorada, o custo da adoção desse processo limita sua aplicação (COSTA *et al.*, 2018). Na cana-de-açúcar, no Estado de São Paulo, até 2014, a cana era queimada previamente a sua colheita. Hoje essa queima é proibida, mas nota-se desde lá, que os problemas enfrentados pelos canavieiros, se alterou, sendo hoje espécies problemáticas aquelas que germinam e emergem mesmo sob elevada quantidade de cobertura/palha, tais como as cordas-de-viola (*Ipomoea* spp.), a mucuna (*Mucuna pruriens*) e a manona (*Ricinus communis*).

Controle biológico

O controle biológico é uma conjunção de fatores bióticos do ecossistema que contribuem para regular a instalação e o crescimento de população de plantas daninhas, com a utilização de organismos vivos que, quando concorrentes, podem eliminar ou controlar o crescimento, a expansão populacional ou reduzir a capacidade competitiva de uma ou mais espécies (PITELLI *et al.*, 2017). O objetivo do controle biológico não é erradicar, mas sim reduzir a população para abaixo do nível de dano econômico. Em alguns casos, a erradicação, pode ocorrer.

O controle biológico clássico é aplicado em casos de plantas que estejam separadas geograficamente de seus inimigos naturais que são selecionados em uma determinada área e liberados no ambiente em que a planta alvo está causando um problema. Neste tipo de controle, entende-se que a planta alvo só se tornou um problema na área pela ausência do seu predador natural, que deveria manter uma pressão constante sobre seu hospedeiro, regulando sua população. Sem a pressão biótica negativa exercida pelo predador, as plantas são favorecidas e passam a expandir as suas populações em detrimento das demais espécies do meio.

Essa é uma estratégia que vai depender da capacidade de autoperpetuação do agente de controle e da sua dispersão natural. Para a adoção dessa estratégia é necessário conhecimento sobre a adaptação climática do organismo de controle biológico, sua influência no meio, o risco que podem trazer à outras espécies vegetais não-alvo ou à saúde humana e animal. Não é uma estratégia de curto prazo, exigindo um investimento inicial elevado, sendo imprevisível seu sucesso. O exemplo mais representativo do controle biológico clássico foi a introdução do inseto *Cactoblastis cactorum*, nativo da Argentina, em áreas infestadas por cactos do gênero *Opuntia* na Austrália. Os insetos

introduzidos liberaram aproximadamente três milhões de ovos em cinco anos de infestação, recuperando mais de 75% das áreas tomadas pelos cactos (PITELLI *et al.*, 2017).

Outra estratégia de controle biológico é a inundativa, que compreende a aplicação massiva de inóculos do patógeno, seja fungos, bactérias ou vírus, sobre uma população de plantas daninhas, com o objetivo de proporcionar rápido controle. As estruturas reprodutivas dos patógenos são manipuladas e isoladas para que seja possível a sua distribuição no campo. Essa aplicação geralmente é feita da mesma maneira em que se aplicam herbicidas. É uma estratégia utilizada para aqueles casos em que a planta daninha é nativa ou naturalizada há muito tempo na área e que apresenta uma colonização exagerada no ambiente, sendo evidente a falta de pressão de inimigos naturais associados, que reduziu a dinâmica sobre a população da planta daninha favorecendo seu pleno desenvolvimento.

Por fim, o controle biológico aumentativo ou repositivo busca manter constante no ambiente a pressão biótica de um determinado agente de controle sobre a população de plantas daninhas-alvo. Geralmente utiliza insetos fitófagos e fungos fitopatogênicos que são aplicados periodicamente somente em partes das áreas em que se deseja obter o controle das plantas daninhas. É baseado no estudo de uma densidade populacional desejável da planta-alvo que seja suficiente para a dinâmica do meio, mas que não interfira negativamente no sistema e nos seus usos múltiplos. Nesse caso, a adoção dessa estratégia requer monitoramento constante e corrigido para manter os limites desejados de patógeno e população de planta daninha. Um exemplo do uso dessa estratégia é a inserção da carpa-capim (*Ctenopharyngodon idella*), nativa da Ásia, nos EUA visando o controle de macrófitas aquáticas (PITELLI *et al.*, 2017), ou o uso de marrecos no controle de plantas daninhas em lavouras de café (SILVA *et al.*, 2018).

O controle biológico tem suas vantagens. Sua especificidade pode ser uma solução para espécies resistentes às moléculas químicas existentes. Em regiões de recente exploração agrícola, buscar pragas ou patógenos que sirvam de agentes de controle é uma alternativa. Além disso, o uso do controle biológico pode prorrogar a vida útil de herbicidas, como muitas vezes implícito dentro dos sistemas de cultivo, onde a manipulação da quantidade e qualidade da microbiota e microfauna do solo, pode elevar a degradação/decomposição de sementes de plantas daninhas, diminuindo o banco de sementes no solo. Existem estudos que demonstram o maior consumo de sementes de plantas em sistemas conservacionistas de produção, tais como na adoção do plantio direto.

Controle cultural

Quando falamos do controle cultural de plantas daninhas, estamos falando do uso de quaisquer estratégias ou ferramentas que venham a beneficiar o cultivo de interesse, possibilitando que o mesmo atinja seu teto produtivo. Os sistemas integrados de produção agropecuária, a adubação verde, o uso de plantas de cobertura, o plantio direto e a rotação de culturas são práticas conservacionistas que, além de melhorar a qualidade do ambiente, irão atuar no controle de plantas daninhas (ABDALLA *et al.*, 2014; KRAEMER *et al.*, 2017; ROMANIUK *et al.*, 2018).

Uma das medidas de controle cultural que pode ser adotada é a utilização de plantas como cobertura do solo em sistemas de semeadura direta. A cobertura do solo é um mecanismo que prejudica a emergência e o crescimento de plantas daninhas pela soma do controle cultural, mecânico, físico e biológico (GOMES JR; CHRISTOFFOLETI, 2008).

No cerrado, podem ser utilizadas gramíneas mais resistentes a déficits hídricos, como o milheto (*Pennisetum glaucum*), o sorgo (*Sorghum bicolor*) e a braquiária (*Urochloa* spp.), que irão produzir maiores biomassas, e se decompor mais lentamente (devido a questão da relação C/N destas espécies). Exemplos de leguminosas para a finalidade de cobertura na região cerrado são as do gênero crotalária (*Crotalaria* spp.), tremoço-branco (*Lupinus albus*) e nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*). Essas espécies caracterizam-se pela alta capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, favorecendo a cultura subsequente (SILVA *et al.*, 2021). Deve-se buscar também dentro da escolha das espécies, plantas com potencial alelopático. Sabe-se por exemplo, que o tremoço é uma espécie que apresenta liberação de alcaloides no meio, substâncias que podem ser encontradas em diferentes partes do vegetal e suprimir o crescimento de plantas daninhas durante as primeiras semanas após sua semeadura (OFFUTT, 1971; SOTTOMAYOR *et al.*, 2004).

A exemplo, em um trabalho conduzido em Votuporanga-SP e Selviria-MS, avaliou a supressão de plantas daninhas após o plantio da soja utilizando plantas de coberturas do solo na entressafra. Os tratamentos consistiam em diferentes densidades de semeadura de sorgo, milheto, capim-sudão e capim braquiária, mais um tratamento controle com vegetação espontânea. O estudo mostrou que a braquiária e milheto reduziram em mais de 90% a infestação de plantas daninhas na cultura da soja, mantendo cobertura do solo superior a 80% até o fechamento do dossel (BORGES *et al.*, 2014).

Outras alternativas de cobertura são a utilização de coquetéis que consistem na mistura de sementes de diferentes espécies de cobertura, possibilitando a combinação de gramíneas e leguminosas apresentando assim vantagens em relação ao cultivo solteiro (ZIECH *et al.*, 2015; ARAÚJO *et al.*, 2019). No município de Montividiu-GO observaram-se maiores rendimentos de grãos de soja e melhor cobertura do solo com a utilização do coquetel de plantas de milheto, crotalária e braquiária (FIALHO, 2020).

Frente às adversidades climáticas os coquetéis têm se mostrado importante alternativa na garantia da cobertura. Nesse contexto, estudos mostram diferentes alternativas para supressão de plantas daninhas, como: milheto + crotalária, milheto + feijão-guandu, milheto + braquiária ruziziensis, milheto + braquiária ruziziensis + feijão guandu, milheto + trigo mourisco. O cultivo destas combinações na entressafra do arroz de sequeiro, proporcionou redução superior à 98% na produção de massa seca da parte aérea das plantas daninhas quando comparado com o tratamento pousio (ARAÚJO *et al.*, 2019).

Além da cobertura do solo, a utilização de outros cultivos (rotação de culturas), leva a diferentes oportunidades no uso das ferramentas de controle de plantas daninhas, como os herbicidas recomendados. Destaque que podemos rotacionar também as tecnologias transgênicas. Ao usar a soja Enlist, poderemos utilizar o herbicida amônio-glufosinato ou 2,4-D na sua pós-emergência. Em outra safra, usando a soja Xtend,

poderemos aplicar o herbicida dicamba. Dentro dos estudos envolvendo mais de uma cultura, a adoção de culturas graníferas consorciadas com forrageiras tropicais em sistema de rotação com a soja, têm demonstrado que esta é uma prática sustentável, que vai controlar plantas daninhas e também reduzir a quantidade de adubos utilizados na cultura subsequente, excelente estratégia em se pensando no custo dos adubos nos dias atuais (RIGON *et al.*, 2018). Estudos no Cerrado Piauiense testaram diferentes sistemas de produções no controle de plantas daninhas em culturas anuais (arroz, milho e soja). O sistema de plantio direto, com sobressemeadura de *Urochloa ruziziensis* e *Pennisetum glaucum* na soja, e *Urochloa ruziziensis* semeada em consórcio com o milho, proporcionam maiores reduções na população e fitomassa de plantas daninhas (PACHECO *et al.*, 2016).

Seguindo o exemplificado, um dos controles culturais que vem aumentando sua utilização é o consórcio de cultivos, sistema no qual uma ou mais espécie são cultivadas em conjunto. A cultura do milho apresenta maior capacidade de competição por recursos em relação a diversas outras espécies de plantas daninhas, o que favorece assim a sua utilização neste sistema (DAN *et al.*, 2012). O sistema de cultivo em consórcio mais conhecido é o milho mais braquiária, onde após a colheita do milho, a braquiária cresce e protege o solo, reduzindo assim o acesso das plantas daninhas a luz até a próxima safra (OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2018).

O uso do sistema de consórcio do milho com braquiária diminui a ocorrência de planta daninhas na safra de soja subsequente, garantindo níveis de infestação no primeiro ao terceiro ano inferior ao do sistema com o milho solteiro. Se torna muito mais fácil controlar plantas de braquiária do que plantas daninhas, além da palhada da braquiária, que em geral, possui elevada relação C/N, e irá permanecer no ambiente por um período maior de tempo (CONCENÇO *et al.*, 2013).

No oeste baiano, é aconselhado o consórcio de milho e braquiária semeados simultaneamente ou pós-emergência do milho, sendo que a braquiária possui vantagem de ter uma boa capacidade de resistir ao inverno da região, que se caracteriza por ser seco e quente, onde ela retorna o seu crescimento nas primeiras chuvas depois da primavera, ajudando a cobrir o solo e acumular resíduo na superfície, diminuindo o aparecimento de plantas daninha. Outra alternativa para a região é o consórcio de soja com braquiária, por meio da semeadura do pasto na época de enchimento de grãos da cultura, aumentando assim o maior tempo de cobertura do solo na área, o que chamamos de sobressemeadura (RESENDE, 2016). Recentemente a Embrapa tem trabalhado no sistema antecipe, onde semeia o milho previamente à colheita da soja nas suas entrelinhas. Explorar esse potencial para outras regiões do Brasil, com certeza é uma tarefa para os próximos anos.

O controle cultural se dá também pelos cuidados diretos com o cultivo instalado, como pela semeadura, adubação e/ou irrigação da cultura. Somado a isso, não se pode faltar cuidados ligados ao controle de pragas e doenças na lavoura. Seja um cultivo com uma ou mais espécies, devemos nos atentar para a semeadura de plantas na época recomenda-se seguir o zoneamento agrícola da região. Assim, ela terá boas condições para germinar e fechar o dossel, diminuindo a interferência das plantas daninhas (OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2018; BARROSO; MURATA, 2021).

Nesse sentido, um estudo conduzido em Uberlândia, MG, avaliou duas diferentes épocas de semeadura de soja (outubro e setembro) e sua interferência em alguns parâmetros de rendimento. Notou-se que a época de semeadura possui efeito sobre a altura da planta no florescimento e maturidade, influenciando no fechamento dossel mais rapidamente, onde cultivares semeadas em outubro tiveram melhores rendimentos (LUIZ, 2018).

Além da data de plantio, podemos trabalhar com variações no espaçamento de entrelinhas ou entre plantas. A redução do espaçamento pode prevenir a germinação de sementes de plantas daninhas fotoblásticas positivas visto que com o adensamento da cultura diminui a luz incidente no solo (MARTINELLI *et al.*, 2019; PELLIZZARO *et al.*, 2019). Ademais, deve-se ter cuidado para não aumentar a competição intraespecífica entre as espécies cultivadas, já que espaçamentos mais adensados prejudicam o desenvolvimento das plantas da própria cultura acarretando na redução de produtividade (CARVALHO, 2013; MARTINELLI *et al.*, 2019).

Em estudo conduzido no estado de Goiás, no município de Cabeceiras, avaliou-se a resposta de cultivares de soja quanto ao manejo de plantas daninhas em diferentes espaçamentos entrelinhas, mostrando que o espaçamento de 30 x 60 cm mostrou-se uma boa opção, quando comparados com o espaçamento de 70 cm entre linha (BARON, 2013).

Dentro da adubação e irrigação, as repostas variam muito para cada comunidade infestante e espécie cultivada. Em geral, tem-se que adubações localizadas tendem a melhorar o desenvolvimento de cultivos frente às adubações em área total. No município de Selviria- MS avaliou-se o efeito da adubação nitrogenada de cobertura no cultivo de milho com duas espécies de braquiárias em sistema de plantio direto. A adubação aumentou linearmente o crescimento de plantas e o rendimento até a dose de 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio (COSTA *et al.*, 2012). Vale nestes casos analisar a proximidade fisiológica e requerimento nutricional entre as espécies presentes, e escolher dentro dos nutrientes aqueles que irão apresentar liberação no tempo mais propício a janela de utilização da cultura instalada.

Pensando nas plantas cultivadas, podemos tornar o sistema ainda mais diverso incluindo não somente vegetais, mas também o componente animal. Nestes sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), integram-se as atividades agrícolas, pecuárias e/ ou florestais numa mesma área, por culturas sucessivas, rotativas ou consorciadas, de modo a obter benefícios em todas as atividades.

Nos SIPAs, por conta da grande variação do manejo dos diferentes sistemas utilizados, o controle de planta-daninhas é facilitado (OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2018). De acordo com Resende (2016), um exemplo de ILPF que pode ser muito bem explorado na região do oeste baiano é o cultivo de soja no verão, consórcio de milho com braquiária no outono-inverno, alimentação animal com braquiária remanescente da consorciação, bem como a produção de espécies arbóreas de rápido crescimento como fonte alternativa de lucro além do papel destas no sequestro de carbono na área.

Controle químico

O controle químico de plantas daninhas se dá pela aplicação de herbicidas, compostos naturais ou sintéticos, que em contato com diferentes partes dos vegetais, interferem na fisiologia do desenvolvimento das plantas, que podem ter então seu crescimento ou desenvolvimento suprimidos, incluindo sua morte.

A utilização de herbicidas aumentou a partir de 1941, com a síntese do ácido 2,4-diclorofenoxiacético, o 2,4-D, herbicida seletivo à maioria das plantas eudicotiledôneas (OLIVEIRA JR *et al.*, 2011). Atrelado a esse fato, vários outros motivos levaram a expansão do uso de herbicidas, tais como a sua rapidez, praticidade e eficiência, a menor dependência de mão de obra, possibilidade de utilização em diferentes condições climáticas e na linha de plantio, além de trazer a possibilidade do estabelecimento do plantio direto, já que no sistema de plantio direto a eliminação das plantas daninhas e a dessecação das coberturas, se faz com o uso de herbicidas (GOMES JR; CHRISTOFFOLETI, 2008; CARVALHO, 2013).

Em virtude da consolidação do sistema de plantio direto e a manutenção da palhada nos cultivos, além do cultivo intensivo da soja tecnologia RR, o uso de herbicidas pré-emergentes diminuiu. Porém, após o surgimento de espécies de plantas daninhas resistentes ao glifosato o uso de herbicidas pré-emergentes tem se propagado novamente, geralmente sendo empregados aqueles com longo período residual. Com a intensa utilização dos insumos agrícolas nos cultivos agrícolas brasileiros, tem-se observado a necessidade de uso racional destes para minimizar os impactos ambientais da agricultura, por meio da compreensão do comportamento de herbicidas no solo.

Entre os efeitos diretos percebidos pelos produtores estão os sintomas visuais de intoxicação e a redução de produtividade das culturas em sucessão e/ou rotação, ocasionados por herbicidas de longa ação residual. Sua permanência e degradação no solo são processos-chave na determinação do seu efeito residual (HINZ, 2001). Herbicidas que apresentam longa persistência no solo são fundamentais para o controle de plantas daninhas, pois o efeito residual prolongado obtido com a aplicação previne a competição entre as plantas daninhas e a cultura por um extenso período de tempo, reduzindo o número de aplicações.

No entanto, com o fim do ciclo de cultivo, a presença desses herbicidas no solo pode se tornar indesejável, podendo resultar em efeito residual negativo (DAN *et al.*, 2012). Do ponto de vista agrícola, quando a atividade residual de um determinado herbicida excede o ciclo da cultura onde ele foi aplicado e persiste em intensidade suficiente para causar danos às espécies cultivadas em sucessão, ocorre o fenômeno denominado de carryover (OLIVEIRA JR *et al.*, 2011).

A seletividade foi e é um fator determinante da evolução do controle químico, já que desencadeará uma resposta diferente nas culturas após a aplicação de um determinado herbicida (COLOMBO *et al.*, 2022). Neste ponto, os herbicidas são divididos em seletivos e não-seletivos. Os herbicidas seletivos interferem em um grupo de plantas daninhas e são tolerados por outros, em geral, incluindo uma espécie cultivada. Os herbicidas não-seletivos, apresentam um amplo espectro de ação, interferindo no desenvolvimento de quaisquer plantas existentes (CARVALHO, 2013).

Vale lembrar, que hoje, existe uma série de cultivos geneticamente modificados tolerantes a moléculas não-seletivas, como as plantas com a tecnologia Roundup Ready (RR) e que a seletividade vegetal é função de uma diversa gama de condições de aplicação, podendo por exemplo, ser manipulada pelo uso de moléculas protetoras, conhecidas por safeners.

Dentro do âmbito de resistência e seletividade incluída nos transgênicos há de ser comentado que houve um acréscimo na quantidade de herbicidas utilizados nos últimos anos. Dado um aumento de doses aplicadas, uso de herbicidas sem suporte fitossanitário, maior quantidade de pulverizações e de resíduos encontrados em alimentos, há um maior risco de contaminação humana e ambiental, que pode, porém, ser evitada com boas práticas de manejo e uso consciente de agroquímicos em lavouras comerciais.

Uma das vantagens do controle químico é a sua adaptação aos diversos tipos de sistemas de cultivo. Por exemplo, no controle de plantas daninhas em frutíferas tropicais é uma ferramenta importante sendo comum a aplicação dos herbicidas glifosato e amônio-glufosinato em pós-emergência com jato dirigido nas entrelinhas de culturas de maior porte, como bananeira, coqueiro, mamoeiro.

A aplicação destes herbicidas é considerada eficiente, uma vez que são produtos de amplo espectro de controle e não seletivos, o que permite que estes herbicidas sejam passíveis de utilização em fruteiras, devido ao seu posicionamento diferencial, ou seja, o herbicida aplicado em jato dirigido nas entrelinhas abaixo da copa dos pomares não deve atingir as plantas cultivadas, o que torna a aplicação seletiva (OLIVEIRA JR *et al.*, 2011). Apesar da facilidade do seu uso, alguns fatores que abrangem esse tipo de manejo são limitantes, como o baixo número de produtos registrados junto ao MAPA para algumas culturas, como em frutíferas e sorgo, devido não serem culturas com grande escala de produção no Brasil.

O controle químico deve ser utilizado como ferramenta complementar no manejo de plantas daninhas, e não como o único método, pois caso se faça somente o uso da aplicação de herbicidas, principalmente, de um mesmo mecanismo de ação, ocorrerá a seleção de plantas daninhas resistentes. Na região sul do MATOPIBA já existem, por exemplo, relatos de espécies de plantas daninhas resistentes a herbicidas nas culturas da soja e do milho, destacando-se o capim-amargoso com resistência ao glifosato (SANTOS *et al.*, 2018).

Uso de sistemas integrados de produção agropecuária no manejo de plantas daninhas

Um exemplo interessante de manejo integrado de plantas daninhas trata-se da adoção dos sistemas de integração lavoura-pecuária (SIPAs). Citaremos alguns protocolos experimentais recém-estabelecidos com resultados promissores, que podem servir de modelo para adoção em diferentes regiões, adaptando-se espécies e técnicas de cultivo. Uma das situações muito comuns que temos no Sul é o excesso de pastejo no inverno das coberturas utilizadas, entregando para a safra de verão, como no estabelecimento da soja, pouquíssima quantidade de palhada sobre o solo, o que permite a emergência de muitas plantas daninhas, complicando o controle em pós-emergência.

Mesmo sabendo que a altura de entrada e saída de animais deveria ser respeitada, sabemos que isso muitas vezes não acontece. Sendo assim, testamos a viabilidade da aplicação de diferentes misturas de herbicidas na pré-emergência da soja, sob duas intensidades de pastejo, uma moderada (saída com altura à 25 cm) e uma intensiva (saída com altura de 10 cm). Por si só, a maior altura de palhada foi responsável em reduzir em 77% a densidade e 68% a massa de plantas daninhas no estádio em V4 da soja. Quando inseridas as misturas em pré-emergência essas reduções aumentaram em mais 60% funcionando muito bem, mesmo quando adotado um manejo inadequado da pastagem.

Num outro exemplo, com a inserção da pastagem em rotação com o milho, reduziu-se pela metade a presença de plantas daninhas, alterando também a flora presente, que neste caso, foi menos competitiva ao cultivo anual. No cultivo do arroz, a adoção da rotação arroz/cobertura/soja, ou arroz/cobertura/pastagem/soja/milho, desapareceu com a presença do arroz vermelho no cultivo do arroz (DOMINSCHEK *et al.*, 2022). Isso decorre, porque com a rotação, quebramos o ciclo de espécies adaptadas. Ainda mais, rotacionando também os mecanismos de ação de herbicidas utilizados.

Por exemplo, na cana-de-açúcar, mesmo que cultivada a mesma espécie durante 7 anos, poucos ou quase nulos são os casos de resistência dentro do seu cultivo. Na cana, a presença de elevada quantidade de palhada sob o solo, o uso de diferentes misturas de herbicidas aplicados com atividade residual, e algumas vezes, operações que irão movimentar o solo, quando pode ocorrer outra aplicação de herbicidas, além das aplicações em pós-emergência da cultura, dificultam essa seleção.

Considerações finais

Na teoria, o manejo integrado de plantas daninhas parece ser de fácil execução, porém, os problemas começam quando o agricultor leva essa tecnologia para sua propriedade. No campo, temos diversos desafios tais como os de cunho ambiental ou temporal, que irão afetar a possibilidade de semeadura de cultivos e/ou a eficácia de herbicidas, a não disponibilidade de sementes para instalação dos cultivos no momento certo ou para cobertura do solo e o custo de produtos mais seguros e mais eficazes ao sistema.

O grande desafio nosso é, portanto, resolver estes entraves da melhor maneira possível, realizando um planejamento dentro da propriedade, baseado no conhecimento da ecofisiologia de cada espécie presente, bem como características ambientais do local de produção. Para isso, precisamos ser técnicos e dominar grande parte das disciplinas da agronomia. Precisamos planejar e executar bem um cultivo da sua semeadura até sua colheita. A ciência é multidisciplinar, bem como o MIP. Precisamos ser plásticos e adaptáveis como as plantas daninhas.

CAPÍTULO 7

HERBICIDOLOGIA

Paulo Roberto Ribeiro Rocha¹
Glauber Ferreira Barreto²
Maurício Lourenzoni Augusti²

¹Professor Doutor do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Roraima.

²Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Roraima (UFRR).

Introdução

O uso de herbicidas sintéticos na agricultura iniciou-se com a descoberta do 2,4-D em 1941, e nas últimas décadas muitos compostos foram formulados para o manejo de plantas daninhas. Esses compostos são largamente utilizados na agricultura, representando 47% do mercado global de agrotóxicos consumidos no mundo (VATS, 2015). No Brasil, existem atualmente cerca de 980 produtos comerciais registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

A adoção desta tecnologia pelos agricultores deve-se a eficiência e praticidade no manejo de plantas daninhas. Entretanto, nos últimos anos, o uso intensivo e/ou incorreto tem ocasionado a seleção cada vez maior de biótipos de plantas daninhas resistentes aos herbicidas, que ocasiona aumento na complexidade de controle e se reflete nos custos de produção.

Para um posicionamento e recomendação segura é necessário conhecer suas características fundamentais. Assim, neste capítulo será abordado de forma resumida como os herbicidas são classificados, quanto a seletividade, translocação nas plantas, épocas de aplicação e principais mecanismos de ação registrados no Brasil, para controle de plantas daninhas na cultura do milho e soja. O conhecimento dessas informações é importante para o gerenciamento de um programa de manejo de plantas daninhas bem-sucedido.

Seletividade de herbicidas

A seletividade é a capacidade das plantas em resistirem ou não a aplicação de determinado herbicida. A expressão da seletividade garante o sucesso no uso de herbicidas na agricultura, pois permite em alguns casos, matar ou prejudicar o desenvolvimento apenas das plantas daninhas, deste modo, desequilibrando a competição por espaço e nutrientes em favor das plantas de interesse agrônomo. Compreender o comportamento dos herbicidas quanto à seletividade torna-se fundamental para obtenção de bons resultados no uso e escolhas de produtos, métodos e condições ideais para aplicação.

Considerando a toxicidade nas plantas cultivadas, pode-se subdividir os herbicidas em seletivos e não-seletivos. São considerados seletivos os herbicidas que controlam as plantas daninhas sem comprometer a produtividade da espécie cultivada. Por exemplo, o uso de tembotrione na cultura do milho. Não-seletivos são herbicidas que controlam indiferentemente plantas daninhas e plantas cultivadas (não modificadas geneticamente) quando aplicados em ambas simultaneamente, como é caso do glyphosate.

A seletividade pode ser dividida em fisiológica e toponômica. A seletividade fisiológica ocorre quando o herbicida entra em contato com a planta cultivada, porém, fatores como capacidade de metabolização e desintoxicação nos seus diferentes estádios de desenvolvimento ou mesmo devido a não translocação dos princípios ativos, preserva a planta dos efeitos fitotóxicos. A seletividade toponômica ou de posição ocorre porque o herbicida não entra em contato com a planta cultivada, seja em função da mobilidade do composto no solo ou aplicação dirigida onde o herbicida não atinge o tecido vegetal.

A seletividade também pode ser obtida por transgenia, na forma de resistência da cultura por modificação genética, como é caso das cultivares de soja e milho tolerantes ao glyphosate.

Translocação de herbicidas

Os herbicidas podem ser classificados quanto à translocação, como ação de contato ou sistêmico. Os herbicidas de contato atuam próximo ou no local onde são absorvidos pela planta. Os danos são observados nas partes que entram em contato direto com os tecidos das plantas, necessitando de uma boa cobertura no momento da aplicação. Os efeitos destes compostos são rápidos e agudos, podendo se manifestar em questão de horas, como nos casos do bentazon, lactofen e diquat.

Os herbicidas sistêmicos podem ser translocados nas plantas a grandes distâncias via xilema, floema, ou através de ambos, dependendo do herbicida ou da época de aplicação. São caracterizados pelos efeitos mais demorados e crônicos nas espécies susceptíveis. Para que se manifeste o efeito desejado sobre as plantas daninhas, estes herbicidas dependem de franca atividade metabólica. Exemplos: 2,4-D, glyphosate, imazethapyr, etc. (SILVA *et al.*, 2007; OLIVEIRA JR., 2011).

Época de aplicação de herbicidas

Há uma flexibilidade quanto à época aplicação dos herbicidas, entretanto devem ser aplicados num momento que o controle das plantas daninhas e a seletividade seja maximizado. Em relação a época de aplicação os herbicidas podem ser classificados em: herbicidas aplicados em pré-plantio (PP); herbicidas aplicados em pré-plantio incorporado (PPI), herbicidas aplicados pré-emergência (PRE) ou herbicidas aplicados em pós-emergência (POS).

Herbicidas aplicados em pré-plantio (PP) são ministrados em pós-emergência das plantas daninhas e são amplamente utilizados na dessecação de comunidades infestantes em sistema de plantio direto. Utiliza-se produtos de amplo espectro de controle, tais como: os herbicidas glyphosate, diquat e amônio glufosinato.

Herbicidas aplicados em pré-plantio incorporado (PPI) são aplicados ao solo e posteriormente precisam de incorporação mecânica ou através de irrigação, para evitar perdas principalmente por volatilização.

Segundo Oliveira Jr. (2011), os herbicidas aplicados nessa modalidade apresentam uma ou mais das seguintes características: a) o mecanismo de ação do herbicida requer que o produto entre em contato com as plântulas antes ou durante a emergência; b) apresentam baixa solubilidade em água; c) são fotodegradáveis e apresentam alta pressão de vapor (voláteis).

Herbicidas aplicados em pré-emergência (PRE) são aplicados na semeadura ou plantio, antes da emergência das plantas daninhas e das culturas. A eficácia destes produtos depende muito do teor de umidade do solo, uma vez que estes herbicidas atuam na germinação ou desenvolvimento de plântulas.

Herbicidas aplicados em pós-emergência (POS) são aplicados após a emergência da cultura e plantas daninhas. Os herbicidas usados em pós-emergência são classificados

quanto à seletividade em: pós-emergentes seletivos (aplicados em área total) e pós-emergentes não seletivos (aplicado em jato dirigido às plantas daninhas, evitando atingir a cultura).

Mecanismo de ação de herbicidas

O mecanismo de ação refere-se ao primeiro evento bioquímico e ou biofísico que o herbicida afeta na planta, e que resulta na alteração do seu crescimento e desenvolvimento normal, podendo levar à morte. Já o modo de ação dos herbicidas, refere-se a toda a sequência de eventos que ocorre desde o contato do herbicida com os tecidos vegetais até ele exercer sua atividade biológica, que pode levar a morte da planta (SILVA *et al.*, 2007; BURKE; BELL, 2014; DAYAN *et al.*, 2019).

O sucesso do controle químico das plantas daninhas, entre outros fatores deve-se ao conhecimento de como os herbicidas atuam. A compreensão do modo de ação dos herbicidas pode ser útil para evitar o uso de ingredientes ativos com mesmo mecanismo de ação e assim diminuir a pressão de seleção de biótipos resistentes (DAYAN *et al.*, 2019).

Embora exista grande quantidade de herbicidas vendidos em todo o mundo, estes compostos têm como locais específicos de ação, cerca de 25 sítios alvos, e a maioria dos herbicidas atua em apenas um sítio alvo, no controle das plantas daninhas (DAYAN *et al.*, 2019; HRAC, 2022).

A classificação dos herbicidas com maior aceitação atualmente é a proposta pelo Herbicide Resistance Action Committee (HRAC). Essa classificação é baseada no mecanismo de ação e nos grupos químicos dos compostos, e a ordem de classificação está em fase de transição de códigos alfabéticos para códigos alfa numéricos (HRAC, 2022).

Nos herbicidas de diferentes grupos químicos e que atuam em um mesmo mecanismo de ação apenas uma letra é utilizada. Na Tabela 1 estão listados os mecanismos de ação e os herbicidas registrados para as culturas do milho e da soja (MAPA, 2022), com os respectivos códigos alfa numéricos proposto pelo HRAC, bem como os códigos alfabéticos ainda em uso.

Tabela 1. Classificação dos herbicidas pelo código numérico e alfabético, mecanismos de ação, grupos químicos e princípios ativos registrados para as culturas de soja e milho no Brasil e respectivas épocas de aplicação

HRAC	Mecanismo de ação	Grupo químico	Princípio ativo	Soja/Milho Época de aplicação*
1/A	Inibidores da ACCase	Ariloxifenoxipropionatos (FOPs)	Fenoxaprop-p-ethyl	POES
			Fluazifop-p-butyl	POES
			Haloxifop-p-methyl	POES; POEMOGM
		Ciclohexanodionas (DIMs)	Propaquizafop	POES
			Quizalofop-p-ethyl	POES
			Setoxidim	POES; POEMOGM
2/B	Inibidores da ALS	Triazolopirimidinas	Tepaloxidim	POES
			Cletodim	POES; PRSM
		Sulfonilureias	Diclosulam	PRSS
			Flumetsulam	POES
			Cloransulam- methyl	POES
		Clorimurrom- ethyl	POES	

			Iodossulfuromethyl –sódico Foramsulfuron Nicossulfuron	POEM
		Imidazolinonas	Imazamox Imazethapyr Imazapic Imazapyr Imazaquin	POES POESOGM; POEMOGM PRES
3/K1	Inibidores de microtúbulos	Dinitroanilinas	Trifluralin	PRES, PREM
15/K3	Inibidores da síntese de VLCFAs	α -Cloroacetamidas	Alachlor Metolachlor S-metolachlor Acetochlor	PRES; PREM PREM
4/O	Mimetizadores de auxina	Benzoatos Fenoxicarboxilatos Piridinacarboxilatos	Dicamba MCPA 2,4-D Fluroxypyr	POESOGM PRSS PRSS, POEM PRSS, PRSM
5/C1,2	Inibidores do FSII - Acopladores da D1 serina 264	Triazinonas Triazinas	Metribuzin Atrazine Simazine Terbutilazine	PRES PREM
6/C3	Inibidores do FSII - Acopladores da D1 histina 215	Triazolinonas Benzotiadiazinonas	Amicarbazone Bentazon	PRES POES; POEM
9/G	Inibidores da EPSP	Glicinas	Glyphosate	POESOGM; POEMOGM
10/H	Inibidores da GS	Ácidos fosfínicos	Amônio glufosinato	POESOGM
13/F4	Inibidores da DOXP	Isoxazolidinona	Clomazone	PRES
27/F2	Inibidores da HPPD	Isoxazoles Tricetonas	Isoxaflutole Mesotrione Tembotrione	POESOGM, PREM POEM POEM
14/E	Inibidores da PPO/PROTOX	N-fenil-triazolinonas N-fenil-imidas Éteres difenlicos	Carfentrazone- ethyl Sulfentrazone Flumioxazine Saflufenacil Flumiclorac-pentyl Fomesafen	PRES, PREM PRES PRES, PREM POES POES
22/D	Inibidores do FS I	Piridíniuns	Diquat	PRSS, PRSM

* Épocas de aplicação para os diferentes momentos recomendados. POES- Pós-emergência da soja; PRES- Pré-emergência da soja; POESOGM- Pós-emergência de soja OGM; PRSS- Pré-secmeadura da soja; POEM- Pós-emergência do milho; PREM-Pré-emergência do milho; POEMOGM- Pós-emergência de milho OGM; PRSM- Pré-secmeadura do milho.

Herbicidas inibidores da ACCase

Os herbicidas inibidores da enzima Acetil CoA Carboxilase (ACCCase) atuam como gramínicidas, com ação sistêmica, usados em pós-emergência em culturas dicotiledôneas. Os primeiros herbicidas inibidores da ACCCase foram introduzidos no mercado em 1978 com o lançamento do diclofop-metil (SILVA *et al.*, 2007; KAUNDUN, 2014; TAKANO *et al.*, 2021). Os herbicidas inibidores da ACCCase pertencem aos grupos químicos dos ariloxifenoxipropionatos (FOPs), ciclohexanodionas (DIMs) e fenilpirazolinonas (DENs). Os herbicidas formulados a partir desses grupos estão inseridos dentro do grupo 1/A,

segundo a classificação do HRAC. No Brasil, os grupos químicos desses herbicidas registrados para o milho e soja são apresentados na Tabela 1.

Nas plantas sensíveis, os herbicidas destes grupos interrompem a atividade da ACCase. Essa enzima é responsável pela conversão de Acetil Coenzima-A a Malonil Coenzima-A, pela adição de CO₂ ao Acetil Co-A. A interrupção desta rota metabólica compromete a síntese de lipídios na planta. (KUKORELLI *et al.*, 2013; DAYAN *et al.*, 2019). Após a pulverização, eles são rapidamente absorvidos pelas folhas onde são translocados para tecidos meristemáticos, região de maior atividade da enzima ACCase. A translocação pode ocorrer tanto via floema como xilema. Os sintomas de clorose podem ser observados nas folhas dentro de uma semana após a aplicação, seguido de necrose, que começa em tecidos meristemáticos e posteriormente atingem todas as folhas e por fim, desintegração das folhas.

A ação dos herbicidas inibidores da ACCase no controle de gramíneas reside no fato desses apresentarem inibição seletiva à ACCase plastídica heteroméricas, que é um tipo específico de enzima ACCase, com quatro subunidades, encontrada em plantas monocotiledôneas. Esse fato, quanto ao tipo específico de enzima ACCase é que define a seletividade dos herbicidas deste grupo sobre as dicotiledôneas. E em função das formas de ACCase plásticas heteroméricas e as formas de ACCase citosólicas homoméricas com três subunidades não são inibidas pelos herbicidas desse grupo tornando as plantas dicotiledôneas tolerantes a esse grupo de herbicida. As exceções a esses herbicidas, deve-se a inibição seletiva à ACCase citosólicas homoméricas, podendo incluir algumas espécies suscetíveis das famílias *Geraniaceae*, *Brassica* e *Arabidos* (KUKORELLI *et al.*, 2013; KAUNDUN, 2014; TAKANO *et al.*, 2021).

Herbicidas inibidores da ALS

Os inibidores da acetolactato sintase (ALS), desde a sua introdução no mercado em 1982, têm sido intensivamente utilizados em função da alta eficiência de controle de várias espécies de plantas daninhas, principalmente dicotiledôneas, e devido a atividade herbicida extremamente potente, o que permite baixas taxas de aplicação, baixa toxicidade aos mamíferos e seletividade a várias culturas (GUTTERIDGE *et al.*, 2012).

Os inibidores da ALS pertencem aos grupos químicos da Triazolpirimidina, Imidazolinonas, Sulfonilureias, Pirimidiltiobenzoatos, Sulfonilamina carbonil triazolinonas. Os herbicidas desses grupos estão inseridos dentro do grupo 2/B, segundo a classificação do HRAC. No Brasil, os grupos químicos desses herbicidas registrados para o milho e soja são apresentados na Tabela 1. Os compostos pertencentes a estes grupos exercem sua atividade inibindo a ALS, que é a primeira enzima na biossíntese de rota de aminoácidos de cadeia ramificada valina, leucina e isoleucina.

A reação realizada pelos inibidores da ALS envolve duas etapas paralelas. A primeira é a descarboxilação de uma molécula de piruvato, produzindo um intermediário hidroxietil (HE) ligado à enzima. Na segunda etapa, há a uma reação HE com uma segunda molécula de piruvato para produzir (S)-2-acetolactato, para síntese de valina e leucina, e ou um piruvato da primeira fase e uma molécula de 2-cetobutirato são convertidos em (S)-2-aceto-2-hidroxi-butirato, para síntese de isoleucina. Esta atividade é

dependente da presença de três cofatores, tiaminadifosfato (ThDP), íon magnésio (Mg^{+2}) e flavina adenina dinucleotídeo (FAD) (GARCIAA *et al.*, 2017).

A inibição da ALS causa acúmulo de um de seus precursores da segunda etapa (2-cetobutirato ou (S)-2-aceto-2-hidroxi-butirato), essa inibição leva à diminuição dos níveis dos aminoácidos na planta, e é essa deficiência que se acredita ser o principal mecanismo pelo qual esses herbicidas causam a morte da planta. Outros efeitos secundários à inibição da ALS, como a produção de espécies reativas de oxigênio, que ficam presos no sítio ativo, desencadeando reações de oxidação que levam à alteração do estado redox do cofator FAD, modificação da molécula ThDP, outro cofator chave de ALS, que afeta a atividade enzimática, também pode causar a morte das plantas (DUGGLEBY; PANG, 2000; DAYAN *et al.*, 2019).

Os sintomas visuais dos efeitos causados por esses herbicidas nas plantas sensíveis, geralmente são pela inibição do crescimento das plantas, tanto das raízes quanto parte aérea. Porém, podem haver outros sintomas, como vermelhidão das nervuras, clorose foliar, morte de meristemas, necroses que se desenvolvem lentamente entre os dias após a aplicação, murchamento da planta e, em última análise, a morte da planta.

Devido aos diferentes grupos químicos que fazem parte, os inibidores da ALS apresentam heterogêneos modos de seletividade, podendo ocorrer em função do tempo necessário para absorção e translocação e da taxa de metabolismo dentro da planta. Assim como, plantas menos sensíveis podem converter rapidamente o herbicida a compostos inativos ou metabólitos não tóxicos (OLIVEIRA JR *et al.*, 2021).

Herbicidas inibidores de crescimento

A inibição do crescimento pode ser induzida por herbicidas dos grupos Inibidores da formação de microtúbulos 3 (K1), Inibidores da síntese de ácidos graxos de cadeia muito longa (VLCFAs) 15 (K3) e inibidores da organização da microtúbulos 23 (K2). Os herbicidas desses grupos, são de grande importância na agricultura, pois são amplamente utilizados em pré-emergência das culturas. Desses grupos químicos de herbicidas, apenas os grupos 3 (K1) e 15(K3), são comercializados no Brasil.

Os herbicidas do grupo 3(K1), também conhecidos como inibidores do arranjo dos microtúbulos, pertencem ao grupo químico das dinitroanilinas. Esse grupo representam uma classe de produtos químicos com uma estrutura contendo dois grupos nitro (NO_2^-) no anel fenil, uma amina aromática e uma anilina. Os herbicidas que pertencem ao grupo dinitroanilina incluem trifluralina, pendimethalin e oryzalim, utilizados no controle de gramíneas e algumas dicotiledôneas. No Brasil esses herbicidas estão registrados para as culturas do milho, feijão-comum, ervilha, alfafa, quiabo, cucurbitáceas, brássicas, solanáceas, aliácea, etc (DEKKER, 1999; SILVA *et al.*, 2007; LIMA *et al.*, 2012; CHEN *et al.*, 2021). Para cultura do milho, os grupos químicos registrados altamente estão apresentados na Tabela 1.

Os herbicidas do grupo dinitroanilina na sua maioria são altamente voláteis e com alta sensibilidade a luz, podendo sofrer fotodegradação. Além disso, os herbicidas desse grupo apresentam baixa solubilidade em água, sendo necessário incorporação superficial no solo, logo após a aplicação. Esses herbicidas, apresentam ainda forte coeficiente de

ligação com o solo, sendo não moveis, e devido a sua baixa solubilidade em água, os herbicidas desse grupo entram em contato com sementes em processo de embebição por difusão, através da radícula e partes aéreas das plântulas emergentes, como o hipocótilo (caulículo), epicótilo e coleótilo, após contato com o herbicida (SILVA *et al.*, 2007; CHEN *et al.*, 2021).

As dinitroanilinas têm como alvo os microtúbulos, que são estruturas em forma de filamentos, presentes nas células das plantas. Na metáfase da mitose, o aparelho de fuso bipolar é composto por microtúbulos e, é capaz de posicionar corretamente os cromossomos para a região central da célula e, posteriormente na anáfase, os microtúbulos são despolimerizados na região dos centríolos, guiando as cromátides separadas para extremidades opostas da célula, permitindo que cada célula filha tenha seus próprios cromossomos após o encerramento da telófase. Nessa última fase, ocorre polimerização de tubulina na região central da célula, que serve para orientar a síntese que constitui o citoesqueleto, e que proporciona o formato tetraédrico característicos das células vegetais, servindo de apoio as organelas celulares (SILVA *et al.*, 2007; VIDAL *et al.*, 2014; CHEN *et al.*, 2021).

Os herbicidas dinitroanilinas interrompem a função dos microtúbulos, ligando-se a proteínas heterodímeras α e β -tubulina não polimerizadas, na prófase, formando um complexo herbicida-tubulina, que é ligado a extremidade positiva em crescimento, e então o alongamento do microtúbulo encerra. Simultaneamente, na extremidade negativa devido à despolimerização dos microtúbulos, e redução do alongamento, esses levam à sua desagregação completa, impedindo assim a formação do fuso cromático e a movimentação dos cromossomos na fase de mitose (SILVA *et al.*, 2007; VIDAL *et al.*, 2014; CHEN *et al.*, 2021).

Os sintomas nas plantas sensíveis são consequências da inibição da divisão e do crescimento celular, sendo mais comum, os efeitos sobre as partes meristemáticas, região de maior atividade celular das raízes, causando intumescimento das pontas. A inibição de crescimento das raízes, compromete o crescimento da parte aérea da plântula, que fica atrofiada. Além disso, o efeito desses herbicidas não envolve a inibição da germinação de sementes, mas regularmente causa a inibição do crescimento radicular (VIDAL *et al.*, 2014; CHEN *et al.*, 2021; OLIVEIRA JR *et al.*, 2021).

Os herbicidas do grupo 15(K3) também conhecidos como Inibidores de Ácidos Graxos de Cadeia Muito Longa (VLCFAs), pertencem ao grupo químico das α -Cloroacetamidas. Os herbicidas que pertencem a esse grupo incluem alachlor, S-metolachlor e acetochlor, utilizados no controle de espécies de gramíneas anuais, comelináceas e em número menor de latifoliadas. Esses herbicidas controlam plantas daninhas em pré-emergência, em grandes culturas como milho, soja, arroz e trigo. (GÖTZ; BÖGER, 2004; SILVA *et al.*, 2007; BUSI, 2014). No Brasil, para as culturas do milho e soja, são apresentados na Tabela 1, os grupos químicos atualmente registrados.

Os VLCFAs são formados por uma longa cadeia, superior a 18 átomos de carbono alifático, que são derivados da cadeia de ácido esteárico (C18:0), um tipo carbono saturado. O alongamento da cadeia de carbono saturado é sintetizado no retículo endoplasmático do citosol, onde a reação de catalise produz os substratos alongados de

C18-acil ou C20-acil, envolvendo a enzima malonil-CoA (acil-CoA elongases) (GÖTZ; BÖGER, 2004; BURKE; BELL, 2014).

O alongamento de VLCFAs é especificamente inibido pelos herbicidas α -Cloroacetamidas na primeira fase, onde o substrato reage com acil-CoA elongases. Os herbicidas inibem a atividade acil-CoA elongases, impedindo assim o alongamento da cadeia de carbono saturado (GÖTZ; BÖGER, 2004; BUSI, 2014). A interrupção do alongamento da cadeia de carbono, resulta em vários efeitos letais nas plantas em seus estágios iniciais de desenvolvimento. Na falta de VLCFAs, a membrana perde estabilidade e torna-se permeável levando à morte da planta tratada com herbicidas Cloroacetamidas (BUSI, 2014; TAIZ; ZEIGER, 2017).

Os herbicidas Cloroacetamidas são normalmente aplicados em pré-emergência, atuando no banco de semente das plantas daninhas. Esse herbicida não interfere na germinação das sementes, mas, após absorvidos interferem no crescimento das plântulas, afetando sua emergência. As plantas que conseguem emergir apresentam folhas deformadas, retorcidas e encarquilhadas. Por esse herbicida afetar as partes meristemáticas, região de maior atividade celular, o crescimento das folhas é afetado. Plantas dicotiledôneas que emergem, apresentam folhas encarquilhadas com encurtamento na nervura central e uma depressão nas pontas das folhas. Já nas gramíneas, as folhas não conseguem emergir dos coleóptilos e/ou ficam compridas nos cartuchos sem poder expandir (VIDAL *et al.*, 2014).

Herbicidas mimetizadores de auxinas

Os herbicidas auxínicos, foram os primeiros compostos orgânicos sintetizados pela indústria na década de 1940, sendo o 2,4-D (ácido 2,4- diclorofenoxiacético) o primeiro composto utilizado como herbicida seletivo. As auxinas sintéticas utilizadas comercialmente como herbicidas pertencem aos grupos químicos 4/O, segundo o HARAC, e compreende os ácidos benzoicos (Benzoatos), ácidos fenolxicarboxílicos (Fenoxicarboxilatos), ácidos carboxílicos (Piridinacarboxilatos) e ácido quinolinocarboxílico (Quincloraque). No Brasil, para as culturas do milho e soja, são apresentados na Tabela 1 os grupos químicos atualmente registrados.

Os herbicidas auxínicos, são produtos sistêmicos, e quando aplicados em plantas sensíveis são absorvidos pelas folhas, ramos e raízes, e translocados preferencialmente via floema. Esses herbicidas atuam como reguladores de crescimento vegetal, pois possuem efeito mimetizador da auxina natural, ou seja, possuem efeitos fisiológicos e bioquímicos similares ao do ácido indol-3-acético (AIA), principal auxina natural presente nas plantas. Contudo, os efeitos desses herbicidas são mais intensos e duradouros que o AIA, devido à elevada estabilidade de suas moléculas (GROSSMANN, 2000; TAIZ; ZEIGER, 2017).

Na planta, os herbicidas da classe das auxinas atuam sobre o metabolismo provocando uma desregulação do crescimento através da divisão e expansão celular de forma distorcida, levando ao colapso da estrutura de crescimento da planta por indução de intensa proliferação celular em tecidos apicais, além de interrupção do floema, impedindo o movimento de fotoassimilados das folhas para raiz, o que gera

entumescimento do caule na região dos nós, epinastia das folhas, pecíolo, ramos e caule, seguida de murchamento e necrose das folhas e conseqüentemente a morte da planta, que varia de 3 a 5 dias após a aplicação (GROSSMANN, 2000; MONQUERO, 2014).

Após a aplicação dos herbicidas auxínicos o mecanismo de ação ocorre em três fases. A primeira é uma fase de estimulação; segunda fase é a de inibição; e a terceira fase é a de decaimento (GROSSMANN, 2010). Na fase de ativação, primeiro as moléculas do herbicida são percebidas pelos receptores específicos de auxina TIR1/AFB, uma espécie de marcador de auxina. Esses receptores codificam a auxina para ser degradada ou ativada por um grupo maior de proteínas, denominados complexos S-PHASE KINASE-ASSOCIATED PROTEIN1 (Skp1) /Cullin/F-box (SCF), que funcionam como ubiquitina E3 ligase, uma espécie de rota de sinalização de hormônios. Essa rota é responsável pela degradação ou pela transcrição e superexpressão de genes responsivos a auxina (GROSSMANN, 2010; TAIZ; ZEIGER, 2017).

As concentrações supra-ótimas de herbicida ou AIA, afetam o complexo de degradação e transcrição, levando a uma cascata de eventos bioquímicos e fisiológicos, como a mobilização de Ca^{+2} acumulado no citoplasma para o vacúolo celular, o que provoca uma acidificação do meio, pela liberação de H^{+} , estimulando a bomba de prótons ATPase. A ativação da ATPase acidifica a parede celular, que por sua vez ativa a biossíntese de etileno, através da indução de 1-aminociclopropano 1-ácido carboxílico sintase (ACC), e biossíntese de ácido abscísico (ABA) pela ativação da 9-cis-epoxycarotenóide dioxigenase (NCED), no tecido da parte aérea.

O etileno produzido, participa do controle da expansão celular que efetua o crescimento das estruturas vegetativas, assim, isso leva a um crescimento desordenado do tecido vegetal. Além disso, em razão da pressão de turgor das células há epinastia foliar e enrolamento do caule. Esse processo ocorre nas primeiras horas após a aplicação (-4 h) (GROSSMANN, 2010; VIDAL *et al.*, 2014).

Na fase inibição, o ABA formado na primeira fase é distribuído dentro da planta onde orienta o fechamento estomático que limita a transpiração e assimilação de carbono, acompanhado de uma superprodução de espécies reativas de oxigênio (ROS). Concomitantemente a esses processos ocorre a inibição do crescimento radicular e principalmente da parte aérea, com diminuição do alongamento dos entrenós, área foliar e intensificação da pigmentação verde das folhas. Esse processo ocorre nas primeiras 24 horas após a aplicação (GROSSMANN, 2010).

A terceira e última fase é a de senescência e deterioração dos tecidos. Os processos que ocorrem nessa fase são função do aumento do etileno juntamente com o ABA, que inibe diretamente a divisão e expansão celular, provocando danos nos cloroplastos, clorose progressiva, destruição da integridade da membrana e do sistema vascular, levando à murcha, necrose e, finalmente, à morte da planta (GROSSMANN, 2010).

Uma exceção aos herbicidas auxínicos que controlam plantas daninhas dicotiledôneas é atribuída ao uso do herbicida que pertence ao grupo Quinclorac, que controla plantas daninhas, como as espécies *Digitaria*, *Echinochloa*, *Setaria* e *Brachiaria* spp., em arroz. Esse herbicida causa a inibição do crescimento, com clorose progressiva das folhas mais jovens, seguidas de murcha e necrose de toda a parte aérea da planta.

Os sintomas de fitotoxicidade desse herbicida deve-se não apenas a produção de ABA e ROS, pois não são suficientes para provocar esses efeitos. Foi descoberto que o cianeto, formado como coproduto durante a biossíntese de estímulo do etileno é o modo de ação fitotóxica para plantas sensíveis e de seletividade dos herbicida 2,4-D e Quinclorac (TITTLE *et al.*, 1990; GROSSMANN, 2003; GROSSMANN, 2010). As gramíneas de modo geral são tolerantes a herbicidas deste grupo. O mecanismo de seletividade está associado a penetração muito baixa e pela translocação limitada (OLIVEIRA JR *et al.*, 2021).

Herbicidas inibidores do fotossistema II (FSII)

Herbicidas inibidores do fotossistema (FSII), são amplamente utilizados em culturas de interesse econômico, como algodão, arroz, cana-de-açúcar, feijão, fruteiras, hortaliças, milho e soja (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). A ação seletiva desses herbicidas foi descoberta na década de 50 e até hoje são considerados de grande importância no controle de plantas daninhas (KOS *et al.*, 2021).

As moléculas inibidoras do FSII estão distribuídas nos grupos químicos: amidas, benzotiadiazinonas, nitrilas, triazinas, triazolinonas e ureias, segundo o HRAC. Os herbicidas deste grupo agem pela inibição do transporte de elétrons no FSII. No Brasil, para as culturas do milho e soja, os grupos químicos atualmente registrados pertencem aos grupos 5/C1,2 e o grupo 6/C3, Tabela 1.

Durante a fotossíntese os fótons capturados pelas clorofilas são transferidos para o centro de reação P680 no FSII, criando um estado de elétron excitado. Esse elétron é então transferido para uma região da proteína D2, onde encontra o primeiro acceptor estável, que é uma quinona, denominada de “Qa”. Essa quinona “Qa” atua como um único transportador de elétrons e está intimamente associado ao transportador de dois elétrons, para quinona “Qb” localizado na proteína D1. Quando o segundo elétron é passado para “Qb” a partir de “Qa”, a quinona completamente reduzida, torna-se protonada “QbH2”. Essa quinona protonada apresenta baixa afinidade de ligação e então transferem os elétrons para o citocromo “b6f”, esse por sua vez transfere os elétrons para plastocianina (PC) e em seguida transfere para o fotossistema I (FSI), respectivamente (COBB; READE, 2010; TAIZ; ZEIGER, 2017; DAYAN *et al.*, 2019).

Embora a Qa esteja fortemente ligada à proteína D2, a Qb não está firmemente ligada à D1, então, os herbicidas competem com a Qb para este sítio. Várias classes de herbicidas, inibem a atividade da FSII, deslocando a plastoquinona do sítio Qb/D1 impedindo assim o fluxo de elétrons a partir da Qa para o complexo b6f, e consequentemente o FSI.

Nas plantas tratadas com os herbicidas inibidores do FSII, ocorre a interrupção de elétrons de Qa a Qb, e como resultado dessa interrupção gera tripleto de clorofila (3Chl*) que reagem com oxigênio molecular (O₂) formando oxigênio singleto (¹O₂*) uma espécie tóxica de oxigênio. Esses fotoprodutos tóxicos ao entrarem em contato com ácidos graxos insaturados causam peroxidação lipídica. A peroxidação lipídica faz com que os lipídios na bicamada e outras proteínas sejam oxidados, produzindo ROS. A oxidação lipídica e de outras proteínas causa a perda de clorofila e outros pigmentos como os carotenóides

das membranas celulares, sobrecarregando o sistema, com paralização da fotossíntese, pela exposição das células e organelas celulares a condições adversas, levando ao seu colapso, desintegração e eventual morte da planta (MAYFIELD *et al.*, 1986; SANTABARBARA, 2006; LAMBREVA *et al.*, 2014; ROACH; KRIEGER-LISZKAY, 2014; TAIZ; ZEIGER, 2017).

Os sintomas de lesão tecidual são semelhantes para os herbicidas inibidores do FSII, sendo identificados primeiramente em folhas inferiores, que estejam ativamente transpirando. Em geral, nessas folhas mais velhas apresenta uma clorose internervural nas bordas, que progride, da borda para o centro, para necrose generalizada da folha. O crescimento das plantas também é reduzido devido a interrupção da fotossíntese (VIDAL; MEROTTO, 2001; VIDAL *et al.*, 2014). Os herbicidas inibidores do FSII são produtos sistêmicos, que se movimentam nas plantas via xilema, e quando aplicado em pós-emergência inicial, necessitam de uma boa cobertura de aplicação nas plantas a serem controladas.

Herbicida inibidor da EPSPS

Os inibidores da enzima-chave 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs) pertencem ao grupo químico 9/G, dos derivados de glicina, cujo glyphosate é o principal herbicida (Tabela 1). O glyphosate é eficiente no controle de mono e dicotiledôneas anuais e perenes, não seletivo para culturas, exceto as geneticamente modificadas.

A aplicação deste herbicida é feita em pós-emergência das plantas daninhas, não tendo atividade via solo. Atualmente o glyphosate é o herbicida mais utilizado no mundo, tanto por volume aplicado e como área tratada. A atividade glyphosate é atribuída ao seu efeito na inibição da via do ácido chiquímico, através da inativação da enzima EPSPS (AGOSTINI *et al.*, 2020).

Na via bioquímica da EPSPS se inicia a partir da ligação carbono-carbono (condensação aldólica) do fosfoenolpiruvato (PEP) com a eritrose-4 fosfato (E4P), para produzir 3-Deoxi-D-Arabino-Heptulose-7-Fosfato sintase (DAHP sintase) um tipo de metaloenzima, sendo essa a primeira etapa da via chiquímato. Após essa etapa, quatro reações químicas ocorrem para converter DAHP sintase para formar o chiquímato 3-fosfato (S3P). Em seguida, a enzima EPSPS reage com a S3P formando o complexo EPSPS-S3P, e em seguida o PEP se une a esse complexo, formando enol-piruvil-chimato fosfato (EPSP). A EPSP sofre desfosforilação produzindo corismato sintase, que também sofre desfosforilação, produzindo chiquímato, o produto final da via do chiquímato, até a formação dos aminoácidos fenilalanina, tirosina e triptofano (MAEDA; DUDAREVA, 2012; VIDAL *et al.*, 2014).

O glyphosate atua em plantas suscetíveis não se ligando a enzima livre, mas ao complexo EPSPS-S3P, impedindo a ligação da PEP, para desfosforilação do complexo EPSPS-S3P, que fica inativo, conseqüentemente o herbicida interrompe a formação dos aminoácidos essenciais (MONQUERO *et al.*, 2004).

Apesar de seu amplo uso, em diversos ambientes, que necessitam de controle de plantas daninhas, os mecanismos precisos pelos quais o glyphosate mata as plantas ainda

permanecem incertos. Presume-se que, a morte das plantas ocorra em consequência da disponibilidade ou maior acúmulo dos substratos da via enzimática inibida; falta de produtos finais gerados pela via inibida; e ou, devido as várias reações colaterais desreguladas desta via (GOMES *et al.*, 2014; ZABALZA *et al.*, 2017).

Visualmente, os sintomas da exposição ao glyphosate incluem clorose, que surgem nas regiões meristemáticas ou nas folhas mais jovens, seguido de necrose, rugas nas folhas e necrose meristemática, entre uma a três semanas após a aplicação, dependendo da susceptibilidade da espécie. Já em novas brotações de plantas perenes surgem estrias brancas e em algumas espécies de plantas, as folhas às vezes apresentam cor roxo-avermelhada (VIDAL *et al.*, 2014).

Herbicidas inibidores da glutamina sintetase (GS)

No mecanismo de ação dos Inibidores da Glutamina Sintetase (GS) há apenas o grupo químico 10/H, do ácido fosfínico e um único herbicida, o amônio glufosinato (Tabela 1). Este composto apresenta amplo espectro de controle de plantas daninhas, sendo não seletivo e de ação de contato. Nas últimas décadas, devido a aprovação de cultivares transgênicas (via biotecnologia, Liberty Link) resistentes ao Amônio glufosinato, estão disponíveis para cultivo, o que tem ocasionado aumento na demanda de uso desse herbicida (CASTRO *et al.*, 2014; ZHOU *et al.*, 2020).

A GS é a enzima que inicia a rota metabólica do nitrogênio, e essa é o alvo do glufosinato de amônio. Essa enzima é a segunda mais abundante nas células das plantas, sendo essencial para o metabolismo do nitrogênio, porque ela incorpora o nitrogênio inorgânico ou absorvido, disponibilizando em formas orgânicas utilizáveis na síntese de todos os aminoácidos essenciais, que são usados para reunir as proteínas responsáveis por uma variedade de funções no metabolismo vegetal (VIDAL *et al.*, 2014; DAYAN *et al.*, 2019; TAKANO; DAYA, 2020; ZHOU *et al.*, 2020).

A inibição da atividade da GS, ocasionada pelo glifosinato, tem como consequência fisiológica um acúmulo de NH_4^+ em níveis tóxicos. Esse acúmulo é acompanhado pela interrupção da fotossíntese e inibição da assimilação de CO_2 , ocasiona principalmente pela fotorrespiração. A interrupção da via fotossintética e da fixação de carbono é também atribuída à acumulação de glioxilato, pois esses compostos inibe a enzima Rubisco. A inibição da GS também causa esgotamento de glutamina e glutamato, comprometendo a síntese de todos os demais aminoácidos pela restrição de doadores e transportadores de aminoácidos (VIDAL *et al.*, 2014; TAIZ; ZEIGER, 2017; DAYAN *et al.*, 2019; TAKANO; DAYA, 2020).

A toxicidade de amônia causa clorose nas folhas, principalmente das folhas mais velha, murchamento, necrose da planta, e o crescimento das folhas e da planta é interrompido, que pode ocorrerem de três a cinco dias. Em condição de plena luminosidade o amônio glufosinato provoca uma alta produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), e talvez isso seja o principal fator para a rápida fitotoxicidade causada por esse herbicida. A produção de ROS dependente da luz e pela interrupção do fornecimento de energia, causa a peroxidação lipídica, levando ao rompimento das membranas celulares e, consequentemente, a rápida morte celular, que leva a necrose e consequentemente a morte

das plantas, que pode ocorrer em até duas semanas após os sintomas iniciais (SILVA *et al.*, 2007; CASTRO *et al.*, 2014; VIDAL *et al.*, 2014; TAKANO; DAYA, 2020).

Herbicidas inibidores da biossíntese de carotenóides

Os herbicidas inibidores da biossíntese de carotenóides, pertencem aos grupos 12 (F1), 13 (F4), 27 (F2), e 34 (F3) produzem um sintoma característico e inconfundível que é o branqueamento das folhas de plantas sensíveis, causado pela despigmentação da clorofila, como parte do mecanismo de ação dos herbicidas desses grupos (HRAC, 2022). Os herbicidas deste escamiso de ação pertencem aos grupos químicos tricetonas, piridazinona, isoxazole, triazole e izoxazolidinona (SILVA *et al.*, 2007).

Os herbicidas do grupo 12 (F1) inibem diretamente a enzima Fitoeno Dessaturase (FDS). O herbicida do grupo 34 (F3) inibe a enzima Licopeno Ciclase (LC). Os grupos 13 (F4) e 27 (F2) inibem a síntese de carotenoides por atuarem diretamente na enzima Deoxi-D-Xilulose Fosfato Sintase (DOXP/DXP) e na enzima Hidroxifenil Piruvato Dioxigenase (HPPD), respectivamente (HRAC, 2022). No Brasil, para o manejo das plantas daninhas na cultura do milho e da soja, são comercializados apenas as formulações de herbicidas pertencente aos grupos 13 (F4) e 27 (F2), Tabela 1.

O grupo 13 (F4) é representado pelo grupo químico Isoxazolidinona, que tem apenas o herbicida clomazone, um pró-herbicida, como representante do grupo. A molécula desse herbicida, ativa a sua fitotoxicidade, quando é convertida primeiro a 5-OH clomazone e, posteriormente, para 5-ceto clomazone, através do metabolismo da planta (FERHATOGLU; BARRETT, 2006). Esse herbicida transloca na planta via xilema, com ação sistêmica, e são utilizados na pré-emergência da cultura da soja, aplicados via solo, para o controle de espécies de plantas daninhas dicotiledôneas e principalmente gramíneas anuais. Esse herbicida apresenta ainda alta solubilidade em água, e sua seletividade às culturas ocorre devido a translocação reduzida pela destoxificação das moléculas herbicidas (SILVA *et al.*, 2007; HRAC, 2022).

O grupo 27 (F2) é representado pelos grupos químicos Isoxazoles e Tricetonas. O grupo químico Isoxazoles tem apenas o herbicida isoxaflutole, um pró-herbicida, como representante desse grupo. A molécula desse herbicida, ativa a sua fitotoxicidade quando é convertida no metabólito diquetonitrila. Essa conversão ocorre no solo, na água e na planta, por meio da clivagem do anel isoxazole (CAVALIERI *et al.*, 2008). Esse herbicida é usado para controle de plantas daninhas em pré-emergência na cultura do milho e em pós-emergência na cultura da soja, resistente a esse herbicida. Já o grupo Tricetonas, tem a mesotrione e o tembotrione, como herbicidas representantes do grupo, para controle em pós-emergência das plantas daninhas na cultura do milho. O mesotrione controla diversas espécies de plantas daninhas dicotiledôneas e apenas algumas gramíneas, e o herbicida tembotrione apresenta um amplo espectro de controle, com ação sobre várias espécies de folhas largas e estreitas (SILVA *et al.*, 2007).

O herbicida clomazone, após a sua conversão em 5-ceto clomazone através do Citocromo P450, associado ao retículo endoplasmático é capaz de inibir a DXP sintase. Essa enzima é o primeiro intermediário da biossíntese de carotenoides (Piruvato/gliceraldeído 3-fosfato), que catalisa a primeira etapa da via de isoprenóide

cloroplástica, também conhecido como terpenoides, que incluem os carotenoides envolvidos na fotossíntese e os esteróis presentes em muitas membranas das plantas. Assim, a inibição da enzima DXP, afeta diretamente a síntese de carotenoides no plastídio, como também em outras vias, no próprio plastídio, quanto no citoplasma (FERHATOGLU; BARRETT, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2017).

Os carotenoides são essenciais para proteção no aparelho fotossintético. Eles atuam na conversão da clorofila no estado tripleto (destrutivo) para seu estado singleto (não destrutivo), anula moléculas de oxigênio singlet (destrutivos) de volta ao estado tripleto, a forma estável não destrutiva. Em condições de luminosidade alta, o carotenoide violaxantina é convertido em zeaxantina. Esse último, então liga-se via prótons, às proteínas da antena de captação de luz e ocasiona alterações que levam ao quenching e à dissipação por calor, protegendo assim o aparelho fotossintético (TAIZ; ZEIGER, 2017).

A HPPD é uma enzima chave na biossíntese das plastoquinonas (PQ), que é um cofator necessário para enzima fitoeno dessaturase (FDS), na síntese de carotenoides e de tocoferóis (vitamina E), que funciona como inativador de EROs, para protegem as células do estresse oxidativo (GROSSMANN; EHRHARDT, 2007).

Na via biossintética dos carotenoides, há três etapas sucessivas entre fitoeno e licopeno, mediados pela enzima FDS, para formar os carotenoides. A enzima FDS atua na remoção de átomos de hidrogênio e elétrons de moléculas, formando dupla ligação, que são transferidos para PQ, principal transportador de elétrons no FSII. A formação de dupla ligação é fundamental para a capacidade dos carotenoides em converter essa energia, em energia química ou ativar a regulação da captura de fótons e da proteção de dano causado pela luz (TAIZ; ZEIGER, 2017; SHINO *et al.*, 2021).

Os herbicidas que inibem a enzima HPPD, DXP, FDS e LC, afetam diretamente a via da PQ, e conseqüentemente a transferência de elétrons para FSII. Sem essa transferência de energia, a clorofila no estado tripleto reage com O₂ promovendo o acúmulo de fotoprodutos tóxicos além da capacidade de reparo, pelos carotenoides, que na sua ausência torna as moléculas de clorofila e outros lipídios da membrana celular e algumas proteínas disfuncionais. Como resultado, as clorofilas tornam-se mais suscetíveis ao branqueamento da luz solar, devido a foto-oxidação, que causa peroxidação lipídica e conseqüentemente rompimento da membrana e vazamento conteúdo celular. Sem pigmentos, as plantas não podem realizar fotossíntese e morrem assim que as reservas de energia na semente e na planta estiverem esgotadas (SILVA *et al.*, 2007; TAIZ; ZEIGER, 2017).

Herbicidas inibidores da protoporfirinogênio oxidase (PROTOX)

Os herbicidas inibidores da protoporfirinogênio oxidase (Protox ou PPO) pertencem aos grupos químicos: Difetiléteres, N-feniltalimidás, Oxadiazóis, Triazolinonas e Pirimidinadionas. A Protox é uma das enzimas responsáveis pela biossíntese de clorofila e de composto heme nas plantas. Esses compostos são formados a partir da oxidação do protoporfirinogênio IX em protoporfirina IX, na presença de oxigênio molecular (OLIVEIRA JR *et al.*, 2021).

A enzima Protox é encontrada na mitocôndria e cloroplastos das células vegetais. Assim, a inibição dessa enzima compromete a produção de clorofila e composto heme. Sem esses compostos na célula, e na presença de luz, há acúmulo de protoporfirina IX e consequentemente a produção de fotoprodutos tóxicos, principalmente de espécies reativas de oxigênio (EROs) (VIDAL *et al.*, 2014).

O acúmulo de EROs resulta na peroxidação das ligações insaturadas dos ácidos graxos, encontrados nas membranas celulares. O resultado deste processo de peroxidação, é a perda da integridade da membrana, seguida de vazamento do conteúdo celular, quebra de pigmento e necrose da folha, que resulta em a morte da planta. Este é um processo relativamente rápido, com sintomas foliares como uma aparência úmida flácida observada dentro de poucas horas após a exposição da planta ao herbicida Protox, sob condição de luz solar (DAYAN *et al.*, 2019).

As versões comerciais dessa classe de herbicida, recomendados para cultura do milho e soja, são representados por herbicidas do grupo 14/E, e pertencem a família química dos N-fenil-triazolinonas, N-fenil-imidas e Éteres difenólicos (**Tabela 1**). Esses herbicidas podem penetrar pelas folhas, caules herbáceos e raízes de plantas jovens. Os herbicidas apresentam ainda pouca ou praticamente nenhuma translocação, portanto, atuam por contato.

A inibição do Protox ocorre em dois processos diferentes e em locais distintos da célula vegetal. Dentro do cloroplasto há uma forma sensível da Protox, que logo após sua inativação pelo herbicida, ocasiona acúmulo de protoporfirinogênio IX, que extravasa para o citoplasma. No citoplasma, os efeitos ainda não foram totalmente elucidados, mas, há evidências que a protoporfirinogênio IX é convertida em protoporfirina IX, pelo efeito de reações de oxidação não enzimáticas ou de enzimas insensíveis aos inibidores Protox (VIDAL *et al.*, 2014).

A protoporfirina IX, na presença de luz e oxigênio molecular produz EROs, que causa a peroxidação, ou seja, dano molecular oxidativo, como rápido branqueamento de pigmentos dos cloroplastos, observado em cerca de 1 hora, redução de ascorbato e glutatona. Após 1,5 horas ocorre danos ultraestrutura, primeiro nos tilacoides, seguido da mitocôndria e por último na membrana celular. A evolução dos sintomas ocorre em até 2 dias após a aplicação, com sintomas visuais de dessecação e necrose de tecidos das plantas seguido de morte (VIDAL *et al.*, 2014).

Herbicidas inibidores do fotossistema I (FSI)

Os herbicidas inibidores FSI, também conhecidos como formadores de radicais livres, são compostos derivados do amônio quaternário, que pertencem ao grupo químico dos bipyridílicos, grupo 22/D Tabela 1. Os herbicidas desse grupo, são representados pelo diquat e paraquat. Esses herbicidas são aplicados exclusivamente em pós-emergência, apresentando ação rápida após aplicação.

Embora os herbicidas que pertençam a esse grupo causem inibição da fotossíntese, a forma pela qual o processo ocorre é diferente daquela ocasionada pelo FSII. Os herbicidas do grupo dos bipyridílicos apresentam elevado potencial redutor em suas moléculas, e alta capacidade de gerar radical superóxido, estes compostos atuam como

aceptores de elétrons no FSI, possivelmente nos carreadores de ferredoxina e, assim, desviando o fluxo normal de elétrons paralisam as reações subsequentes, como a produção de NADPH (HESS, 2000; SILVA *et al.*, 2007; TAIZ; ZEIGER, 2017).

A captura de elétrons no FSI por esses herbicidas forma radicais livres que ao interagirem com oxigênio molecular (O₂), formam radicais superóxido, que na presença da enzima superóxido dismutase, formam peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e radicais hidroxila (•OH). Esses radicais, na presença de Mg, reagem, produzindo radicais hidroxil, que rompem os ácidos graxos insaturados, clorofila, lipídios e proteínas na membrana celular. Como resultado, a membrana celular é rompida causando o extravasamento do conteúdo celular, o que leva à murcha e eventual morte da planta. Os sintomas iniciais evoluem para necrose, seguida de sintomas de murcha severa e manchas necróticas severas nas folhas, cerca de um a três dias após aplicação (SILVA *et al.*, 2007; ORACZ *et al.*, 2009; TAIZ; ZEIGER, 2017; DAYAN *et al.*, 2019).

Os herbicidas deste grupo apresentam ação de contato no controle de mono e dicotiledôneas anuais em aplicações em pós-emergência, são utilizados como dessecante para plantio direto e aplicações em jato dirigido. Por apresentarem uma ação rápida e uma reduzida translocação são usados como dessecantes de culturas em pré-colheita.

Recentemente, em diversos países, como o Brasil, a molécula do paraquat recebeu restrições quanto à sua disponibilidade no mercado, devido à toxicidade pulmonar aguda e cutânea, e por ter associação com o mal de Parkinson. Enquanto outros países apenas estabeleceram medidas restritivas de uso, como concentrações limitadas do ingrediente ativo em produtos formulados e manipulação apenas para uso em misturadoras (VACCARI *et al.*, 2017).

No Brasil, a molécula do paraquat foi excluída devido a sua associação com o mal de Parkinson. De acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), o prazo máximo de uso do estoque remanescente foi finalizado em 31 de maio de 2021 para cultura da soja e 31 de março de 2021, para cultura do milho. Foi também revogado por lei, que está proibido a “importação, produção e a comercialização de produtos técnicos e formulados à base do ingrediente ativo paraquat” (ANVISA, 2020).

Outros mecanismos de ação registrados no MAPA

Além dos grupos de herbicidas registrados para as culturas do milho e soja apresentados na Tabela 1, existem também os grupos 18/I e 29/L e o herbicida MSMA, indicados para o controle de espécies daninhas mono e dicotiledôneas, com aplicações em pré e pós-emergência.

Herbicidas inibidores da 7,8-dihidropteroato sintase (DHP)

O asulam é o único herbicida classificado e registrado como inibidor da enzima 7,8-dihidropteroato síntese (DHP), uma enzima da via do ácido fólico. Esse herbicida é um carbamato com um grupo sulfonil, derivado do ácido carbâmico, sendo classificado como grupo 18/I, não sendo inseridos em uma família química específica (HRAC, 2022).

O asulam é um herbicida que apresenta seletividade baseada na degradação metabólica diferencial. No Brasil e em outras partes do mundo esse herbicida é utilizado

em pós-emergências das plantas daninhas, principalmente de gramíneas perenes, na cultura da cana-de-açúcar. E também, como maturador fisiológico dessa cultura.

O mecanismo de ação desse herbicida ainda não foi totalmente elucidado, mas há evidências que ele age sobre dois mecanismos. O primeiro e principal é que o asulam inibe a atividade enzimática bloqueando a conversão de ácido 4-aminobenzóico mais derivados de 7,8-dihidropteroato em DHP. Portanto, a não formação da DHP, afeta a via do ácido fólico, que é necessário para a transferência de grupos metil na síntese de purinas, pirimidinas e alguns aminoácidos. No segundo mecanismo, o asulam parece agir em atividades meristemáticas, especificamente impedindo a montagem e/ou função dos microtúbulos, durante a mitose, e no citoplasma no local da síntese de purinas. Os sintomas desse herbicida podem incluir clorose de desenvolvimento lent, crescimento atrofiado de novos tecidos e lenta senescência histológica (DAYAN *et al.*, 2019).

Herbicidas inibidores da síntese de celulose

A inibição da síntese de celulose pode ser induzida por herbicidas do grupo 29/L, segundo a classificação do HRAC, 2022. Fazem parte desse grupo, os herbicidas formulados a partir de compostos químicos das alquilazinas, nitrilas e além dos herbicidas, que ainda não fazem parte de um grupo químico específico, como flupoxam e isoxabeno.

Os produtos disponíveis para este mecanismo de ação são isoxabeno, diclobenil, e indaziflam (BURKE; BELL, 2014). No Brasil, é comercializado apenas as formulações a base de indaziflam. Esses herbicidas são indicados para o controle pré-emergente das plantas daninhas, e pós-emergência das culturas da banana, café, caju, citros, coco, dendê, goiaba, maçã, manga, uva, eucalipto e pinos.

As aplicações desses herbicidas devem ser via solo, e com jatos dirigidos. Sendo indicado aplicar em lavouras bem estabelecidas, com plantas a partir de dois anos. Para cultura da cana-de-açúcar, as recomendações são de uso em pré-emergência da cultura.

Como as microfibrilas de celulose, que constitui a parede celular são organizadas em relação ao estado de crescimento de uma célula. A interrupção da biossíntese da celulose ou alteração do alinhamento das microfibrilas na parede celular, causa a perda da expansão celular direcional, resultando em células radialmente inchadas e órgãos de crescimento tornam-se mal desenvolvidos ou anões (DIETRICH; LABER, 2011; TATENO *et al.*, 2016).

Apesar de haver um progresso significativo, para a identificar o mecanismo de ação e o local alvo específico das moléculas dos herbicidas inibidores da celulose, esse ainda não foi totalmente esclarecido, mas há evidências que eles agem sobre três potenciais vias de mecanismo (TATENO *et al.*, 2016).

No primeiro mecanismo, os herbicidas do grupo 29 podem interferir na liberação de proteína celulase sintase dentro da membrana plasmática, afetando o tráfego coordenado entre vesículas especializadas como o complexo de golgi à membrana plasmática. No segundo mecanismo, o herbicida como indaziflam, ocasiona uma redução em vez de cessação do movimento de partículas de proteína celulase sintase na membrana plasmática, com potencial acúmulo dessa proteína na membrana. E por último, há

herbicidas desse grupo que ocasionam alteração da trajetória das partículas de proteína celulase sintase dentro da membrana plasmática, pela modificação dos microtúbulos (TATENO *et al.*, 2016).

Herbicida de mecanismo de ação desconhecido

Outro princípio ativo usado em herbicidas para o controle de plantas daninhas mono e dicotiledôneas é o Monossódio Metanoarsonato (MSMA). Esse princípio ativo é um composto orgânico arsênico, que pertence ao grupo Ø/Z, classificado como mecanismo de ação desconhecido (HRAC, 2022). Porém sabe-se que provoca destruição de membranas celulares em espécies vegetais sensíveis (KOGER *et al.*, 2007). No Brasil, o MSMA é registrado para o controle de plantas daninhas no algodão, cana-de açúcar e citros, com aplicações em pós-emergência inicial e em jato dirigido.

Nas Tabelas 2 e 3 estão apresentadas a suscetibilidade de algumas das principais plantas daninhas da região tropical a herbicidas aplicados em pré-emergência e/ou pós-emergência inicial das plantas daninhas.

Tabela 2. Suscetibilidade a herbicidas de plantas daninhas de clima tropical aos principais princípios ativos registrados para a cultura do milho.

Nome comum	Nome científico	2,4-D		Alachlor		Atrazine		Amônio glufosinato		Bentazon		Carfentrazone-ethyl		Flumioxazin		Glyphosate		Isoxaflutole		Mesotrione		Nicossulfuron		Sethoxydim		S-metolachlor		Tembotrione	
		PRE	POS	PRE	POS	PRE	POS	PRE	POS	PRE	POS	PRE	POS	PRE	POS	PRE	POS	PRE	POS	PRE	POS	PRE	POS	PRE	POS	PRE	POS	PRE	POS
		Apaga-fogo	¹ <i>Alternanthera tenella</i>	-	A	A	-	A	S	-	A	-	P	-	A	A	S	-	A	*	*	-	S	-	S	-	T	S	-
Buva	¹ <i>Conyza bonariensis</i>	-	A	M	-	A	S	-	S	-	M	-	P	S	P	-	A	P	P	-	S	-	M	-	T	S	-	-	S
	<i>Conyza canadensis</i>	-	S	M	-	S	P	-	A	-	M	-	M	S	M	-	A	P	P	-	A	-	M	-	T	S	-	-	S
Capim-colchão	<i>Digitaria horizontalis</i>	-	T	A	-	M	P	-	A	-	T	-	T	A	S	-	A	A	M	-	A	-	A	-	A	A	-	-	A
Capim-carrapicho	¹ <i>Cenchrus echinatus</i>	-	T	S	-	P	P	-	S	-	T	-	T	M	M	-	A	M	-	-	M	-	S	-	A	A	-	-	A
Capim-pé-de-galinha	¹ <i>Eleusine indica</i>	-	T	A	-	A	S	-	A	-	T	-	T	A	S	-	A	A	P	-	M	-	S	-	A	A	-	-	A
Capim-marmelada	<i>Urochloa plantaginea</i>	-	T	M	-	M	M	-	A	-	T	-	T	P	M	-	A	A	P	-	P	-	A	-	A	S	-	-	S
Capim-amargoso	¹ <i>Digitaria insularis</i>	-	T	S	-	P	P	-	S	-	T	A	M	A	M	-	A	A	M	-	A	-	S	-	S	A	-	-	A
Capim-tapete	² <i>Mollugo verticillata</i>	-	A	S	-	A	M	-	*	-	A	-	*	*	*	-	A	*	*	-	*	-	*	-	T	S	-	-	S
	¹ <i>Ipomea heredifolia</i>	-	A	M	-	S	A	-	S	-	A	-	A	M	S	-	A	M	T	-	A	-	M	-	T	M	-	-	S
Corda-viola	<i>Ipomea nil</i>	-	A	P	-	S	A	-	S	-	A	-	A	M	S	-	S	P	T	-	S	-	M	-	T	T	-	-	S
	<i>Ipomea triloba</i>	-	A	S	-	S	S	-	S	-	A	-	A	S	M	-	S	P	*	-	A	-	S	-	T	M	-	-	S
	¹ <i>Amaranthus deflexus</i>	-	A	A	-	A	A	-	A	-	S	-	A	A	S	-	A	*	*	-	A	-	A	-	T	A	-	-	A
Caruru	<i>Amaranthus hybridus</i>	-	A	S	-	A	S	-	A	-	M	-	A	S	A	-	A	M	S	-	A	-	A	-	T	A	-	-	A
	<i>Amaranthus retroflexus</i>	-	A	A	-	A	A	-	A	-	A	-	A	A	-	-	A	M	S	-	A	-	A	-	T	A	-	-	A
	<i>Amaranthus spinosus</i>	-	A	A	-	A	M	-	A	-	S	-	*	A	S	-	A	M	S	-	S	-	S	-	T	P	-	-	A
Crista-de-galo	² <i>Heliotropium indicum</i>	-	A	M	-	S	*	-	*	-	S	P	-	*	*	-	A	*	*	-	*	-	*	-	T	*	-	-	S
Erva-de-santa-luzia	¹ <i>Chamaesyce hirta</i>	-	A	*	-	M	*	-	A	-	M	-	M	*	M	-	A	*	*	-	*	-	*	-	T	*	-	-	P
Erva-de-santa-luzia	² <i>Chamaesyce hyssopifolia</i>	-	A	*	-	M	S	-	*	-	M	-	M	*	*	-	A	*	*	-	*	-	*	-	T	M	-	-	P
Erva-de-touro	¹ <i>Tridax procumbens</i>	-	A	S	-	S	*	-	*	-	S	-	M	S	S	-	A	*	*	-	*	-	S	-	T	M	-	-	*
Fedegoso	¹ <i>Senna obtusifolia</i>	-	S	P	-	M	S	-	S	-	P	-	*	M	M	-	A	*	*	-	*	-	S	-	T	P	-	-	S
Guanxuma	<i>Sida rhombifolia</i>	-	S	M	-	S	S	-	A	-	S	S	P	S	S	-	A	*	*	-	S	-	M	-	T	M	-	-	A
Junquinho	² <i>Cyperus iria</i>	-	A	P	-	M	S	-	*	-	A	-	*	S	*	-	A	*	T	-	*	-	*	-	T	M	-	-	*
Leiteiro	<i>Euphorbia heterophylla</i>	-	A	M	-	M	S	-	A	-	P	-	*	S	A	-	A	M	P	-	S	-	S	-	T	P	-	-	S
Pega-pega	<i>Desmodium tortuosum</i>	-	A	P	-	S	M	-	A	-	P	-	*	S	S	-	A	*	*	-	M	-	M	-	T	P	-	-	S
Picão-preto	¹ <i>Bidens pilosa</i>	-	A	A	-	A	A	-	A	-	A	-	A	M	M	-	A	*	*	-	A	-	A	-	T	M	-	-	A
Poia-branca	<i>Richardia brasiliensis</i>	-	S	M	-	S	A	-	S	-	P	-	A	A	S	-	A	*	*	-	*	-	S	-	T	S	-	-	A
Tiririca	<i>Cyperus rotundus</i>	-	S	P	-	P	P	-	S	-	P	-	M	P	M	-	A	P	T	-	M	-	M	-	T	T	-	-	M
Trapoeraba	¹ <i>Commelina benghalensis</i>	-	A	S	-	S	M	-	A	-	S	-	A	S	S	-	M	S	P	-	S	-	M	-	T	A	-	-	S
Trapoerabinha	¹ <i>Murdania nudiflora</i>	-	A	S	-	*	M	-	M	-	S	-	*	*	S	-	S	*	*	-	*	-	*	-	T	S	-	-	S

^{1,2}-Espécies daninhas encontradas em áreas agrícolas da região de Matopiba, extraído de Santos *et al.* (2018) e Silva *et al.* (2021). PRE – pré-emergência, POS - pós-emergência inicial; P - pouco suscetível (menos de 50% de controle); T - tolerante (% de controle); A – altamente suscetível (mais de 95% de controle); s – suscetível (85% a 95% de controle); M – medianamente suscetível (50% a 85% de controle); - não recomendável; * - sem informação. Adaptado de: LORENZI, 2014.

Tabela 3. Suscetibilidade ao controle químico de daninhas de clima tropical aos principais princípios ativos registrados para a cultura da soja

Nome comum	Nome científico	2,4-D		Bentazon		Chlorimuron-ethyl		Clomazone		Cloransulam-metil		Fluazifop-p-butyl		Flumioxazin		Fomesafen		Haloxifop-methyl		Glyphosate		Imazaquin		Imazethapyr		Lactofen		S-Metolachlor		Metribuzin		Sethoxydim		Sulfentrazone		Trifluralin	
		PRE	POS	PRE	POS	PRE	POS	PRE	POS	PRE	POS	PRE	POS	PRE	POS	PRE	POS	PRE	POS	PRE	POS	PRE	POS	PRE	POS	PRE	POS	PRE	POS	PRE	POS	PRE	POS	PRE	POS		
Apaga-fogo	¹ <i>Alternanthera tenella</i>	-	A	-	P	-	S	A	T	-	A	-	T	A	S	-	M	-	T	-	A	A	-	-	S	-	S	S	-	A	P	-	T	A	*	M	-
Buva	¹ <i>Conyza bonariensis</i>	-	A	-	M	-	S	M	M	-	A	-	T	S	P	-	M	-	T	-	A	M	-	-	M	-	M	P	-	A	M	-	T	-	S	P	-
	<i>Conyza canadensis</i>	-	S	-	M	-	S	M	T	-	S	-	T	S	M	-	M	-	T	-	A	M	-	-	M	-	M	P	-	A	S	-	T	-	S	P	-
Capim-colchão	<i>Digitaria horizontalis</i>	-	T	-	T	-	T	A	S	-	T	-	A	A	S	-	T	-	A	-	A	M	-	-	S	-	T	A	-	A	S	-	A	-	A	A	-
Capim-carrapicho	^{1,2} <i>Cenchrus echinatus</i>	-	T	-	T	-	T	A	M	-	T	-	A	M	M	-	T	-	A	-	A	M	-	-	S	-	T	S	-	P	T	-	A	S	P	A	-
Capim-pé-de-galinha	¹ <i>Eleusine indica</i>	-	T	-	T	-	T	S	S	-	T	-	A	A	S	-	T	-	S	-	A	M	-	-	S	-	T	S	-	A	S	-	A	A	A	A	-
Capim-marmelada	<i>Urochloa plantaginea</i>	-	T	-	T	-	T	A	M	-	T	-	A	P	M	-	T	-	A	-	A	M	-	-	P	-	T	S	-	M	P	-	A	A	M	A	-
Capim-amargoso	¹ <i>Digitaria insularis</i>	-	T	-	T	-	T	S	P	-	T	-	A	A	M	-	T	-	A	-	A	M	-	-	M	-	T	A	-	P	T	-	S	S	P	S	-
Capim-tapete	² <i>Mollugo verticillata</i>	M	A	-	A	-	*	P	*	-	*	-	T	*	*	-	A	-	T	-	A	S	-	-	*	-	A	S	-	A	S	-	T	*	*	A	-
Corda-viola	<i>Ipomea heredifolia</i>	-	A	-	A	-	S	M	P	-	S	-	T	M	S	-	S	-	T	-	A	S	-	-	M	-	S	M	-	S	P	-	T	S	P	P	-
	<i>Ipomea nil</i>	-	A	-	A	-	A	P	P	-	S	-	T	M	S	-	S	-	T	-	S	S	-	-	T	-	M	T	-	S	P	-	T	A	M	P	-
	<i>Ipomea triloba</i>	-	A	-	A	-	S	M	T	-	S	-	T	S	M	-	S	-	T	-	S	S	-	-	S	-	S	T	-	P	S	-	T	-	S	P	-
Caruru	¹ <i>Amaranthus hybridus</i>	-	A	-	M	-	A	P	P	-	A	-	T	S	A	-	A	-	T	-	A	A	-	-	A	-	A	A	-	A	S	-	T	A	M	S	-
	¹ <i>Amaranthus retroflexus</i>	-	A	-	A	-	A	P	T	-	S	-	T	A	-	-	A	-	T	-	A	A	-	-	A	-	A	A	-	A	S	-	T	A	M	A	-
	¹ <i>Amaranthus spinosus</i>	-	A	-	S	-	S	P	M	-	*	-	T	A	S	-	A	-	T	-	A	A	-	-	A	-	A	A	-	A	M	-	T	A	M	S	-
Crista-de-galo	² <i>Heliotropium indicum</i>	M	A	-	S	-	*	M	T	-	*	-	T	*	*	-	S	-	T	-	A	*	-	-	*	-	A	*	-	S	*	-	T	*	*	S	-
Erva-de-santa-luzia	¹ <i>Euphorbia hirta</i>	-	A	-	M	-	P	P	*	-	S	-	T	*	M	-	S	-	T	-	A	S	-	-	M	-	*	*	-	*	*	-	T	S	*	P	-
	² <i>Chamaesyce hyssopifolia</i>	P	A	-	M	-	M	P	T	-	*	-	*	*	*	-	S	-	T	-	A	*	-	-	*	-	*	M	-	S	P	-	T	*	*	P	-
Erva-de-touro	¹ <i>Tridax procumbens</i>	-	A	-	S	-	S	*	*	-	A	-	T	S	S	-	A	-	T	-	A	S	-	-	S	-	A	M	-	M	*	-	T	S	*	P	-
Fedegoso	¹ <i>Senna obtusifolia</i>	-	S	-	P	-	S	P	P	-	P	-	T	M	M	-	M	-	T	-	A	M	-	-	M	-	M	P	-	P	P	-	T	-	S	P	-
Junquinho	² <i>Cyperus iria</i>	*	A	-	A	-	*	P	T	-	*	-	T	S	*	-	P	-	T	-	A	*	-	-	*	-	M	M	-	P	*	-	T	*	*	P	-
Guanxuma	² <i>Sida rhombifolia</i>	-	S	-	S	-	M	S	P	-	A	-	T	S	S	-	P	-	T	-	A	S	-	-	S	-	M	T	-	S	P	-	T	-	A	P	-
Leiteiro	<i>Euphorbia heterophylla</i>	-	A	-	P	-	M	T	P	-	M	-	T	S	A	-	S	-	T	-	A	S	-	-	A	-	S	T	-	P	P	-	T	-	S	P	-
Pega-pega	<i>Desmodium tortuosum</i>	-	A	-	P	-	A	M	P	-	M	-	T	S	S	-	P	-	T	-	A	P	-	-	P	-	M	P	-	S	P	-	T	-	S	P	-
Picão-preto	¹ <i>Bidens pilosa</i>	-	A	-	A	-	A	A	P	-	A	-	T	M	M	-	A	-	T	-	A	A	-	-	S	-	S	M	-	A	A	-	T	A	P	T	-
Poaia-branca	<i>Richardia brasiliensis</i>	-	S	-	P	-	M	T	P	-	S	-	T	A	S	-	A	-	T	-	A	S	-	-	M	-	A	M	-	P	M	-	T	-	S	S	-
Tiririca	<i>Cyperus rotundus</i>	-	S	-	P	-	M	M	T	-	M	-	T	P	M	-	P	-	T	-	A	P	-	-	S	-	P	P	-	P	T	-	T	-	M	P	-
Trapoeiraba	^{1,2} <i>Commelina benghalensis</i>	-	A	-	S	-	S	S	P	-	M	-	T	S	S	-	S	-	T	-	M	S	-	-	S	-	S	P	-	M	T	-	T	-	S	P	-
Trapoeirinha	¹ <i>Murdania nudiflora</i>	-	A	-	S	-	M	M	*	-	S	-	T	*	S	-	*	-	T	-	S	*	-	-	S	-	S	S	-	*	*	-	T	*	*	P	-

^{1,2}-Espécies daninhas encontradas em áreas agrícolas da região de Matopiba, extraído de Santos *et al.* (2018) e Silva *et al.* (2021). PRE – pré-emergência, POS - pós-emergência inicial; P - pouco suscetível (menos de 50% de controle); T - tolerante (% de controle); A – altamente suscetível (mais de 95% de controle); s – susceptível (85% a 95% de controle); M – medianamente suscetível (50% a 85% de controle); - não recomendável; * - sem informação. Adaptado de: LORENZI, 2014.

Misturas de herbicidas

A mistura em tanque corresponde à associação de agrotóxicos e afins no tanque de pulverização. Essas misturas de diferentes herbicidas, assim como a mistura de herbicidas com inseticidas ou outras classes de agrotóxicos objetiva aumentar o espectro de ação e reduzir o número de aplicações nas lavouras (PETTER *et al.*, 2012), uma vez que as infestações de plantas daninhas, pragas e doenças, muitas vezes, ocorrem simultaneamente numa mesma área agrícola (GAZZIERO, 2015).

A utilização desta prática é comum entre os agricultores. Em pesquisa realizada por Gazziero (2015) verificou-se que 97% dos entrevistados utilizam misturas em tanque, sendo que em 95% das vezes utilizaram de dois a cinco produtos aplicados simultaneamente. Na cultura da soja RR, para o controle de plantas daninhas em pós-emergência, o glyphosate é aplicado em 86% das vezes simultaneamente com inseticidas, fungicidas e outros herbicidas. Entretanto, apesar de ser uma prática comum entre os agricultores, apenas foi normatizada através da Instrução Normativa nº 40, em 11 de outubro de 2018 (BRASIL, 2018).

Na combinação de dois ou mais herbicidas, o comportamento de um pode ser influenciado pela presença de outro. É importante conhecer ou mesmo realizar estudos prévios para determinar se os produtos são compatíveis, ou seja, se mistura não afetará a eficácia de nenhum dos componentes. Com as misturas em tanque pode haver interações entre componentes da mistura, essas podem ser classificadas em: efeitos aditivos, quando a eficácia total resultante da combinação de dois ou mais produtos é igual à soma dos efeitos de cada produto aplicado isoladamente; efeito sinérgico, cuja eficácia total resultante da combinação de dois ou mais produtos é maior do que a soma dos de cada produto aplicado isoladamente; e efeito antagônico, em que a eficácia total resultante da combinação de dois ou mais produtos é menor do que a eficácia de cada produto aplicado isoladamente (OLIVEIRA JR *et al.*, 2021).

Quando houver menor desempenho da mistura pode estar ocorrendo incompatibilidade física e ou química (PETTER *et al.*, 2012). Os problemas ocasionados pela incompatibilidade da mistura são: redução da eficácia dos produtos, comprometimento do sistema de pulverização, o que reduz a eficiência operacional e dificulta a limpeza dos equipamentos (GAZZIERO *et al.*, 2021). A incompatibilidade física exhibe fases distintas mesmo após agitação, formação de flocos e grumos, formação excessiva de espuma ou que formam acúmulos de resíduos no fundo do tanque. As causas desta incompatibilidade podem ser por agitação inadequada, ordem de adição dos produtos no tanque, influência incorreta ou ausência de emulsificantes em formulações, e concentração dos produtos (OLIVEIRA JR *et al.*, 2021).

A incompatibilidade química pode ocorrer em função da presença de teores elevados de cálcio, magnésio, ferro ou outros elementos presentes na água dura, os quais podem interagir com o ingrediente ativo resultando em sua inativação. Há possibilidade de em algumas misturas, alterar o pH da calda e/ou as características físico-químicas dos herbicidas, o que pode reduzir a eficácia dos produtos (GAZZIERO *et al.*, 2021). Na Tabela 4 estão apresentados alguns estudos de misturas de herbicidas em tanque para controle de plantas daninhas.

Tabela 4. Estudos de misturas de herbicidas em tanque e seus efeitos no controle de espécies de plantas daninhas

Mistura	Espécies	Efeito	Referências
Isoxaflutole e Atrazine	<i>Abutilon theophrasti</i> , <i>Ipomoea hederacea</i> e <i>Amaranthus retroflexus</i>	Antagônico	Kruse <i>et al.</i> (2001)
Metribuzin e Clomazone	<i>Bidens pilosa</i>	Sinérgico	Kruse <i>et al.</i> (2001)
Glyphosate e Saflufenacil	<i>Digitaria insularis</i> e <i>Ipomoea triloba</i>	Aditivo	Presoto <i>et al.</i> (2020)
Glyphosate e Carfentrazone, Glyphosate e Flumioxazin, Glyphosate e Chlorimuron-ethyl	<i>Ipomoea grandifolia</i> , <i>Commelina benghalensis</i> , <i>Amaranthus hybridus</i> , <i>Galinsoga parviflora</i> e <i>Richardia brasiliensis</i>	Aditivo	Monqueiro <i>et al.</i> (2001)
Glyphosate e Sulfentrazone	<i>Richardia brasiliensis</i>	Antagônico	Monqueiro <i>et al.</i> (2001)
Glyphosate e Carfentrazone-ethyl	<i>Commelina benghalensis</i> <i>Commelina difusa</i>	Antagônico	Freitas <i>et al.</i> (2018)
Glyphosate e Oxyfluorfen, Glyphosate e Flumioxazin	<i>Commelina benghalensis</i>	Antagônico	Freitas <i>et al.</i> (2018)
Glyphosate e Quizalofop; Glyphosate e Haloxyfop; Glyphosate e Sethoxydim Glyphosate e Clethodim	<i>Digitaria insularis</i>	Aditivo	Barroso <i>et al.</i> (2014)

A adição de adjuvantes, nutrientes ou inseticidas à calda contendo herbicida pode levar a perda da seletividade ou eficiência no controle de plantas daninhas. Tem-se observado a fitotoxicidade de alguns herbicidas quando misturados em tanque com inseticida organofosforados. Na cultura do milho, a aplicação em pós-emergência da mistura de nicosulfuron + atrazine, e mesotrione + atrazine com inseticidas da classe dos organofosforados causou intoxicação em plantas de milho, sendo mais intensa com o nicosulfuron (NICOLAI *et al.*, 2006).

Considerações finais

O uso de herbicidas é uma ferramenta fundamental no manejo de plantas daninhas. A ampla adoção do controle químico por agricultores se deve à flexibilidade quanto à época de aplicação, alto rendimento operacional e eficácia destes compostos no controle das plantas daninhas. Entretanto, para uma recomendação segura é essencial o conhecimento das características dos herbicidas, relatadas neste capítulo.

CAPÍTULO 8

DINÂMICA DE HERBICIDAS NO AMBIENTE

Daniel Valadão Silva¹

Tatiane Severo Silva²

Taliane Maria da Silva Teófilo³

Camila Jorge Bernabé Ferreira⁴

Matheus de Freitas Souza⁵

Guilherme Braga Pereira Braz⁶

¹Professor do Curso de Agronomia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, Brasil.

²Doutoranda da University of Wisconsin-Madison, United States.

³Pós-doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuru (UFVJM), Diamantina-MG, Brasil.

⁴Professora do Curso de Agronomia da Universidade de Rio Verde (UniRV), Rio Verde-GO, Brasil.

⁵Professor do Curso de Agronomia da Universidade de Rio Verde (UniRV), Rio Verde-GO, Brasil.

⁶Professor do Curso de Agronomia da Universidade de Rio Verde (UniRV), Rio Verde-GO, Brasil.

Introdução

O crescimento populacional em nível mundial e o aumento da expectativa de vida tem criado demanda para o aumento da produção de alimentos (FINKLER *et al.*, 2005). Neste contexto, além da busca por maiores patamares produtivos das culturas, através do melhoramento genético e melhoria das práticas de manejo, é fundamental também que as reduções na produtividade das espécies cultivadas sejam evitadas, sejam elas devido à ocorrência de fatores de estresse abióticos e/ou bióticos.

Entre os diferentes fatores bióticos que impactam negativamente o crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas agrícolas, destacam-se as plantas daninhas, que por meio do processo de interferência proporcionam reduções nos patamares produtivos, bem como depreciação da qualidade do produto final (BRAZ *et al.*, 2021). A ocorrência de plantas daninhas dentro dos sistemas de produção agrícola sempre se ranqueou entre os maiores gargalos para o desenvolvimento adequado das espécies cultivadas. Contudo, nas últimas décadas, o desafio se tornou maior devido a seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes a herbicidas.

Esse desafio é apontado como um dos três maiores para a agricultura brasileira para as próximas safras. Atualmente, considerando apenas o sistema de produção de soja, estima-se que o custo médio anual de controle de populações resistentes no Brasil seja de aproximadamente R\$ 5 bilhões. Esse valor atinge 9 bilhões ao ano quando são consideradas as perdas de produtividade das culturas ocasionadas pela interferência da comunidade infestante (ADEGAS *et al.*, 2017).

A partir de 2010, diante da problemática da resistência de plantas daninhas aos herbicidas frequentemente utilizados em pós-emergência, em especial ao glyphosate, a utilização de herbicidas residuais aumentou nos campos de produção visando o controle destas populações resistentes, bem como das espécies tolerantes. A adoção dos herbicidas residuais traz como vantagens o estabelecimento inicial da cultura livre da interferência das plantas daninhas, o controle de novos fluxos germinativos da comunidade infestante advindos do banco de sementes no solo, além de auxiliar no manejo químico das espécies resistentes aos herbicidas aplicados em pós-emergência (OLIVEIRA JR., 2011).

De acordo com Rodrigues e Almeida (2011), herbicidas residuais são moléculas que apresenta atividade residual quando aplicado dentro do intervalo de dose recomendado, persistindo na solução do solo por tempo determinado controlando plantas daninhas ou prejudicando o crescimento e desenvolvimento normal de espécies que venham a emergir até a sua inteira dissipação.

De forma simplista, o objetivo da aplicação de herbicidas com atividade residual no solo é obter o controle de fluxos germinativos da comunidade infestante por um determinado período de tempo. Contudo, o sucesso no uso desses herbicidas depende do conhecimento das propriedades químicas e físicas dos herbicidas e do solo, bem como a interação entre eles. Por exemplo, moléculas que apresentem longa persistência podem tornar-se um problema potencial, tanto do ponto de vista ambiental, ao contaminar lençóis freáticos e a fauna e flora do ecossistema, quanto do ponto de vista agrícola, ao persistir por períodos extremamente longo no solo intoxicando espécies cultivadas em sucessão (carryover) (BRIGHENTI *et al.*, 2002; OLIVEIRA JR., 2011).

A recomendação segura de herbicidas com efeito residual no ambiente depende da completa compreensão de sua dinâmica com os fatores edafoclimáticos, tais como distribuição e volume de precipitação, amplitude térmica, luminosidade (fotodegradação) e composição mineralógica, física (textura) e química (pH, matéria orgânica, entre outros) do solo. Algumas dessas interações têm sido intensamente estudadas por diversos pesquisadores, permitindo alguns direcionamentos quanto a aplicação dessas moléculas em diferentes condições ambientais.

Neste sentido, o presente capítulo visa situar os leitores sobre os processos aos quais os herbicidas estão sujeitos no solo e a influência das principais propriedades químicas e físicas de herbicidas e dos atributos do solo na dinâmica das moléculas. Por fim, pretende-se trazer algumas exemplificações práticas de trabalhos que demonstraram a eficiência de herbicidas residuais e o comportamento em solos cultivados em sistema de plantio direto (SPD).

Processos de retenção, transporte e transformação

Entender como os herbicidas se comportam no solo é fundamental para compreensão do destino e eficácia desses produtos no ambiente. Os fatores que influenciam essa dinâmica dos herbicidas no solo são compostos por processos de retenção, transporte e degradação (Figura 1) que ocorrem simultaneamente, apesar de descritos de forma isolada.

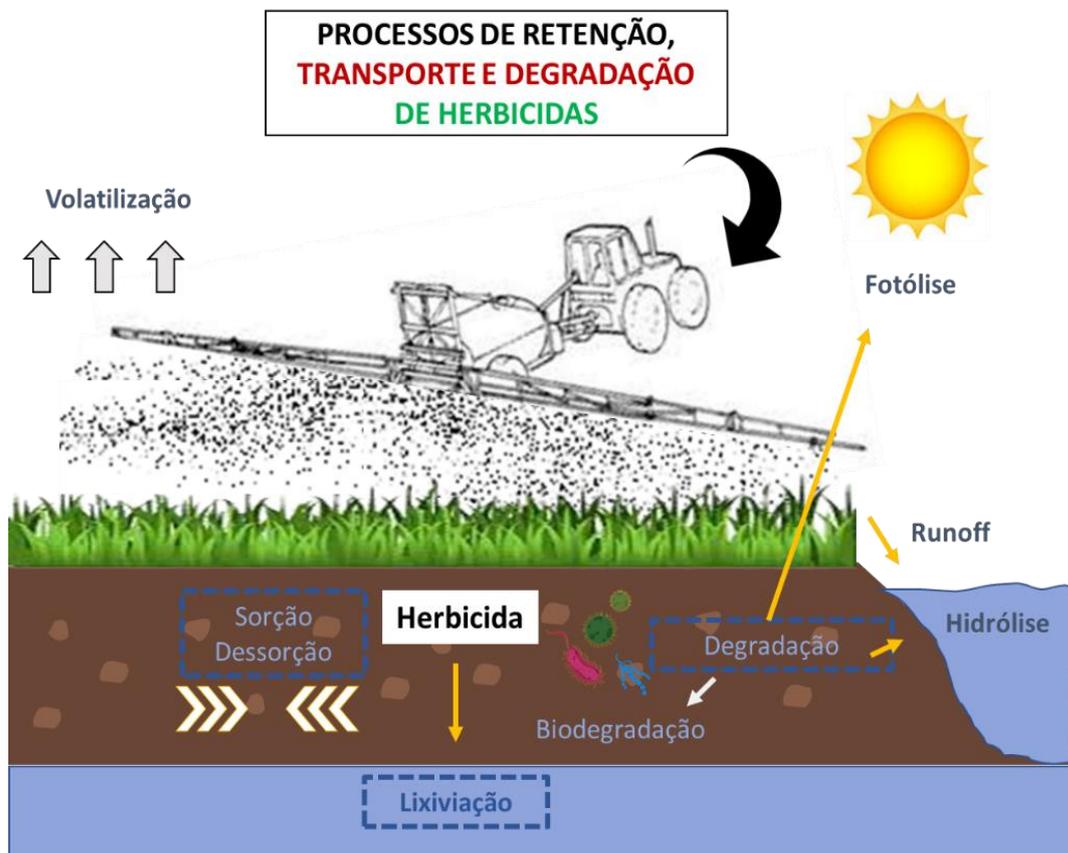


Figura 1. Processos de retenção, transporte e degradação de herbicidas

Processos de retenção

A retenção é o processo que indica a habilidade em reter o herbicida nos sítios de adsorção presente nos colóides do solo e, conseqüentemente, influencia os processos de transporte e degradação. A compreensão dos fatores relacionados a retenção dos herbicidas no solo é essencial para a melhorar a eficiência dos produtos no controle das plantas daninhas e para minimizar os impactos negativos sobre o meio ambiente e organismos não-alvo.

A sorção é o principal termo utilizado para designar a capacidades dos solos em reter determinado herbicida e engloba os fenômenos da adsorção, absorção e precipitação. Em termos gerais, a sorção refere-se ao desaparecimento momentâneo ou até mesmo permanente do herbicida do solo, ou seja, a fração do herbicida ainda disponível (não degradado) que em algum momento não estará livre para o controle das plantas daninhas no solo.

A sorção pode ocorrer devido a adsorção da molécula do herbicida a superfície sólida ou líquida e essa fixação ocorre por interação de forças da superfície do solo e do herbicida (SILVA *et al.*, 2014). A absorção é o fenômeno ao qual a sorção do herbicida ocorre quando a molécula do herbicida é absorvida pelo sistema radicular, pela macro e microfauna ou pelas partículas minerais e orgânicas do solo. A precipitação é a formação de precipitados entre as moléculas de herbicidas com a fração sólida ou líquida do solo (SILVA *et al.*, 2014). Todos esses processos são reversíveis e o fenômeno é conhecido como dessorção.

A sorção e dessorção de herbicidas em solos exercem papel fundamental no destino ambiental dos herbicidas (SINGH; SINGH, 2012). Existe uma estreita relação entre a sorção e dessorção com os atributos dos solos que gerem cargas (CHAGAS *et al.*, 2019; KAUR *et al.*, 2016) como o teor e tipo de argila (FRANCISCO *et al.*, 2017), pH (DOS SANTOS *et al.*, 2019), teor de matéria orgânica (EL ARFAOUI *et al.*, 2012), estrutura porosa (GONZÁLEZ-DELGADO *et al.*, 2015) e área superficial específica das partículas do solo (CONDE-CID *et al.*, 2017).

Uma maneira para medir a retenção de herbicidas no solo é através do cálculo do coeficiente de partição (K_d). Esse coeficiente é determinado pela relação entre as concentrações do herbicida presentes na fase sólida (herbicida sorvido ao solo) e a fase líquida (herbicida presente na solução do solo) via metodologias adotada em ensaios de química analítica. De maneira geral, quanto maior o valor de K_d , maior a fração do herbicida que fica sorvido ao solo. Contudo, por este valor ser obtido especificamente para o solo alvo da pesquisa, a utilização deste coeficiente acaba apresentando limitações em termos de extrapolação de resultados.

Com o intuito de sanar esta problemática, a pesquisa estabeleceu o K_{oc} , que consiste na normalização do K_d para os teores de carbono orgânico de determinado solo, trazendo como premissa por trás deste cálculo que o carbono orgânico do solo seria a fração do solo responsável pela maior parte da sorção de solutos orgânicos como os herbicidas. De maneira análoga ao K_d , quanto maior for o K_{oc} apresentado pelo herbicida, maior sua tendência de ser sorvido ao solo (Figura 2). Apesar dos avanços trazidos com o K_{oc} , o mesmo ainda apresenta lacunas, uma vez que os processos movimentação dos herbicidas

no solo também sofrem influência de outros atributos do ambiente edáfico que não somente o teor de carbono.

Muito forte	Forte	Moderada	Fraca
> 500	4999 – 600	599 – 100	99 – 0,5

Figura 2. Classificação de herbicidas segundo a sorção na matéria orgânica (Valor de Koc). Fonte: Gebler e Spadotto (2004).

Processos de transporte

O transporte de herbicidas no solo pode ocorrer tanto no sentido horizontal como no vertical. No transporte horizontal, os herbicidas são transportados devido ao escoamento/escorrimento no solo e à deriva no ar, enquanto que o vertical descendente no perfil do solo é conhecido como lixiviação. Todavia, o transporte excessivo do herbicida, tanto vertical como horizontalmente, pode acarretar, em muitos casos, na redução da quantidade de produto disponível para o controle das plantas daninhas e, por isso, deve ser levado em consideração durante a escolha da molécula utilizada.

O transporte de herbicidas no solo, via escoamento superficial (*run-off*) e subsuperficial (*run-in*), ocorre quando a capacidade total de filtração de água do solo é excedida. O primeiro ocorre na superfície e o segundo na subsuperfície do solo. Nesses processos, os herbicidas são transportados em forma dissolvida ou formas particuladas na superfície e subsuperfície do solo (TANG *et al.*, 2012; VYMAZAL; BREZINOVÁ, 2015). Herbicidas perdidos nos campos de produção agrícola via escoamento podem contaminar os corpos d'água e danificar a biota local (ABDI *et al.*, 2021). Além disso, o transporte de herbicidas em campos agrícolas pode reduzir a eficácia do controle de plantas daninhas, aumentando o custo do manejo da cultura ou resultando em fracasso da colheita devido à redução do rendimento e qualidade.

A lixiviação é o transporte vertical de herbicidas no perfil do solo que depende das propriedades físico-químicas do solo e do herbicida, e a intensidade e frequência de chuva e irrigação (DOS REIS *et al.*, 2017). Em relação ao controle de plantas daninhas, é importante que os herbicidas residuais apresentem pequena lixiviação no perfil do solo para atingir e exercer uma boa eficácia de controle de plantas daninhas no banco de sementes do solo (CARNEIRO *et al.*, 2020). Por outro lado, a lixiviação de herbicidas mais profundamente no solo pode diminuir a eficácia no controle das plantas daninhas e aumentar o potencial de moléculas de herbicidas para atingir as águas subterrâneas.

Os estudos sobre a lixiviação de herbicidas têm sido mais frequentemente realizados em colunas de solo em estruturas de cloreto de polivinila (PVC), vidro e lisímetro. As metodologias mais adotadas para determinar a lixiviação de herbicidas são o método de bioensaio em que o movimento do herbicida na coluna de solo é medido avaliando os danos visíveis em espécies bioindicadoras (culturas ou plantas daninhas) semeadas na própria coluna.

O potencial de lixiviação dos herbicidas também pode ser calculado pelo Índice de Ubiquidade de Águas Subterrâneas (GUS), relatado por Gustafson, (1989). É um método simples para avaliação da capacidade de lixiviação de herbicidas levando em

consideração os coeficientes de sorção normalizado para o C orgânico (K_{oc}) e a persistência, expresso pelos valores de meia-vida no solo ($t_{1/2}$) segundo a seguinte equação:

$$GUS = \log t_{1/2} (4 - \log K_{oc})$$

Os herbicidas com índice de GUS $> 2,8$ apresentam alto risco potencial de lixiviação, enquanto aqueles cujo GUS está situado entre 1,8 e 2,8 são moderadamente lixiviáveis, e aqueles cujos GUS $< 1,8$ são considerados com baixo risco de lixiviação. De acordo com os resultados de GUS reportados na literatura para solos alterados com adição de materiais orgânicos, no geral, os valores de GUS diminuíram, quando foram acrescentadas emendas orgânicas, embora muitos solos mostrem alto potencial de lixiviação mesmo com alterações orgânicas (LOURENCETTI *et al.*, 2012; LÓPEZ-PIÑEIRO *et al.*, 2013; FENOLL *et al.*, 2014; FENOLL *et al.*, 2015; PÉREZ-LUCAS *et al.* 2017).

Processos de transformação ou degradação

A transformação ou degradação dos herbicidas é um processo importante no contexto do controle de plantas daninhas, visto que indica o potencial da molécula no controle no tempo e também relaciona com a capacidade do produto em causar contaminação ambiental. A degradação do herbicida é governada por fatores bióticos e abióticos e depende das propriedades microbiológicas, físicas e químicas do solo, bem como das propriedades do herbicida (BRICEÑO *et al.*, 2007; PENDERUD *et al.*, 2014; HUSSAIN *et al.*, 2015). Compostos mais fortemente sorvidos são menos acessíveis aos microrganismos o que limita sua degradação e seu transporte (ARIAS-ESTÉVEZ *et al.*, 2008).

A suscetibilidade à degradação química ou microbiana é uma propriedade importante, uma vez que determinadas moléculas de herbicidas podem ser rapidamente decompostas no solo por microrganismos. Obviamente, a taxa de degradação do herbicida dependerá também das condições ambientais necessárias para o crescimento e desenvolvimento da microbiota capaz de degradar parcialmente ou completamente a molécula de herbicida.

A degradação microbiana é considerada uma das rotas mais importantes para a remoção de herbicidas do meio ambiente. Vários isolados bacterianos heterotróficos foram relatados como contendo vias metabólicas dedicadas que lhes permitem usar herbicidas específicos como fontes únicas de carbono e energia e converter os compostos em substitutos não-tóxicos ou muitas vezes minerais (quando há a mineralização completa da molécula de herbicida) (MA *et al.*, 2009; LANCASTER *et al.*, 2010; VERMA *et al.*, 2014; SINGH; SINGH, 2016). Yale *et al.* (2017) constataram que o aumento na degradação de atrazine pode ser devido a proliferação de microrganismos específicos contendo os genes degradadores do atrazine.

Conforme já descrito, a permanência dos herbicidas no solo é um fator relevante para o controle de plantas daninhas, porém a persistência eleva o risco ambiental e pode causar danos às culturas em sucessão (RAMA PRABA NALINI *et al.*, 2017). A

persistência, regulada pela concentração, fluxo e tempo de permanência, varia conforme as interações das moléculas de herbicida com o solo, que influenciam na capacidade da adsorção, lixiviação, degradação ou transformação biológica (JAIKAEW *et al.*, 2015).

A medida utilizada como parâmetro do tempo de persistência de um herbicida é conhecida como meia-vida ($t_{1/2}$) e está relacionada ao período de tempo necessário para que determinada molécula atinja 50% da sua concentração inicial depositada neste ambiente. A meia-vida de um herbicida é determinada em condições laboratoriais, fato que limita sua aplicação direta na avaliação da estimativa de persistência de determinada molécula.

As limitações para estimar a persistência ocorrem pelo fato de que a meia-vida não leva em conta o potencial de movimentação no solo por lixiviação ou escoamento superficial (*runoff*), bem como por não considerar que a molécula é absorvida pelas plantas presentes na área. Contudo, do ponto de vista teórico, este parâmetro (meia-vida) é importante para comparação entre diferentes herbicidas no sentido de estimar a duração da atividade residual da molécula no solo (Figura 3).

Não-persistente	Medianamente persistente	Persistente	Altamente persistente
< 30 dias	30 a 180 dias	180 a 360 dias	> 360 dias

Figura 3. Tempo de meia-vida ($t_{1/2}$ (dias) e classificação de herbicidas quanto à persistência. Fonte: Foloni (1997).

Propriedades químicas e físicas de herbicidas e sua relação com o comportamento no solo

Entre as principais propriedades químicas e físicas dos herbicidas que afetam a dinâmica dessas moléculas no ambiente, destacam-se: solubilidade em água, tempo de meia-vida, constante de dissociação iônica, pressão de vapor e coeficiente de partição octanol-água, uma vez que já demonstraram correlação direta com os processos de retenção, transporte e degradação no solo.

Solubilidade em água (S)

A solubilidade em água, entre as propriedades químicas e físicas de herbicidas, é uma das que mais afetam o transporte de moléculas no solo, pois moléculas altamente solúveis e pouco sorvidas são facilmente lixiviadas via água de irrigação ou chuva. Para o cálculo da solubilidade de um herbicida em água, determina-se a quantidade máxima desta molécula capaz de se dissolver em água pura, numa determinada temperatura e pH (Tabela 1). Acima desta concentração duas fases existirão, à saber, uma fase saturada de solução aquosa e uma fase líquida ou sólida do herbicida, se o herbicida é um líquido ou sólido na temperatura do sistema (LAVORENTI, 1996).

Tabela 1. Classificação de herbicidas quanto a sua solubilidade em água. Fonte: Deuber (1992).

Solubilidade	Valores (mg dm⁻³)
Insolúvel	< 1
Muito baixa	1 a 10
Baixa	11 a 50
Média	51 a 150
Alta	151 a 500
Muito alta	501 a 5.000
Extremamente alta	> 5.000

É oportuno destacar que a intensidade de lixiviação de um herbicida não é determinada apenas pela solubilidade em água, mas também pela sorção da molécula às partículas do solo. Outro aspecto importante relacionado à solubilidade de uma molécula herbicida, refere-se ao seu uso em áreas cultivadas sob sistema de plantio direto, uma vez que há presença de alta densidade de resíduos vegetais.

Assim, a alta solubilidade de um herbicida é desejável para que o mesmo transite pela palhada e atinja o solo, local onde o herbicida age controlando plantas daninhas. De maneira geral, herbicidas com maior solubilidade são menos retidos na palha após a ocorrência de chuvas ou necessitam de menor intensidade pluviométrica para superar essa barreira.

Constante de dissociação iônica (PKA)

A constante de dissociação iônica consiste em outra propriedade química relevante na avaliação da dinâmica de herbicidas, uma vez que indica a forma como a molécula se dissocia na solução do solo em função do pH. Esta propriedade química é controlada pela presença de radicais na estrutura química da molécula, capazes de receber ou perder íons H⁺ em função da variação de pH do solo (OLIVEIRA JR., *et al.*, 2015).

Alguns herbicidas não apresentam grupos dissociáveis (herbicidas não ionizáveis), permanecendo na forma molecular independentemente da variação do pH no solo (Tabela 2). Por outro lado, herbicidas ionizáveis possuem grupamentos dissociáveis, permitindo que a molécula tenha um caráter de ácido fraco ou base fraca dependendo do pH do solo.

O valor de pK_a é definido como o valor de pH do meio, no qual 50% das moléculas do herbicida com comportamento ácido fraco ou base fraca estão dissociadas e as demais estão em seu estado molecular. Em alguns casos, uma mesma molécula pode apresentar mais de um valor de pK_a devido a presença de diferentes grupamentos capazes de receber/doar prótons. Um exemplo é o herbicida glyphosate. Esse herbicida apresenta, a 20° C, 3 valores de pK_a, 2,34 para o grupo ácido fosfato, 5,73 para o grupo amina secundária e 10,2 para o grupo ácido carboxílico (PubChem, 2022).

Uma vez que o pH do solo é alterado devido a adoção de práticas agronômicas, tais como calagem, necessárias para condicionamento do ambiente ao crescimento e desenvolvimento da cultura, mudanças na carga residual do herbicida também são observadas, alterando a sorção do herbicida ao solo. Detalhes dessa interação serão discutidas a diante nesse capítulo.

Tabela 2. Classificação dos herbicidas de acordo com o caráter iônico.

Classificação		Herbicidas
Ionizáveis	Ácido	2,4-D, acifluorfen, glufosinato, azinsulfuron, bentazon, bispyribac, carfentrazone, chlorimuron, clethodim, clodinafop, cloransulam, cyanazine, dicamba, diclofop, diclosulam, etoxysulfuron, fenoxaprop, flazasulfuron, fluazifop, flumetsulam, flumiclorac, pluroxypir, fomesafen, glyphosate, halosulfuron, haloxyfop, imazamox, imazapic, imazapyr, imazaquin, imazethapyr, iodosulfuron, ioxynil, metsulfuron, nicosulfuron, oxasulfuron, oryzalin, pendimethalin, picloran, pyrazosulfuron, pyriothiobac, quinclorac, sethoxydim, tepraloxydim.
	Base	Ametryne, atrazine, hexazinone, metribuzin, prometryne.
	Catiônico	Diquat, paraquat
Não-ionizáveis	Não-iônico	Acetochlor, alachlor, clomazone, dimetrenamid, diuron, flumioxazin, linuron, metolachlor, molinate, oxadiazon, oxyfluorfen, propanil, propaquizafop, simazine, tebuthiuron, thiobencarb, trifluralin.

Pressão de vapor (PV)

A pressão de vapor consiste numa propriedade das moléculas de produtos fitossanitários que está atrelada ao potencial de volatilização que estes apresentam no ambiente, ou seja, a suscetibilidade que os herbicidas possuem em se dissipar para a atmosfera sob forma de gás. Para determinadas moléculas herbicidas, esta é uma forma importante de transporte e dissipação, em especial àqueles que possuem maiores valores de pressão de vapor (Tabela 3).

Tabela 3. Classificação de herbicidas quanto à pressão de vapor. Fonte: Zimdahl (1999).

Classificação	Pressão de vapor (PV)	
	----- mm Hg -----	----- Pa -----
Não volátil	$< 10^{-8}$	$< 10^{-6}$
Pouco volátil	10^{-7} a 10^{-5}	10^{-5} a 10^{-3}
Medianamente volátil	10^{-4} a 10^{-3}	10^{-2} a 10^{-1}
Muito volátil	$> 10^{-2}$	> 1

Ao considerar que boa parte das áreas cultivadas com culturas anuais no Brasil, estão sendo conduzidas sob os preceitos do sistema de plantio direto, no qual há a manutenção da palhada, herbicidas residuais que serão aplicados sobre este material vegetal precisam ter baixa pressão de vapor. Caso contrário, essas moléculas poderão ser volatilizadas instantes após sua aplicação.

Além disso, outra ótica importante para ser analisada sobre da pressão de vapor das moléculas de herbicidas, refere-se ao potencial de deriva que os mesmos apresentam em função de sua volatilidade. Para herbicidas classificados como muito voláteis, é necessário que todas as condições relacionadas à tecnologia de aplicação sejam seguidas fielmente. Bem como, evitar a utilização destes herbicidas próximo a culturas sensíveis, pois caso contrário, danos poderão ser observados (Figura 4).



Figura 4. Sintomas de deriva de herbicida auxínico (mimetizador da auxina) em plantas de soja. Rio Verde (GO), 2021/2022.

Coefficiente de partição octanol-água (Kow)

O coeficiente de partição octanol-água gera por meio de mensurações analíticas e modelagem matemática uma estimativa direta da hidrofobicidade ou da tendência de partição de determinada molécula herbicida de um meio aquoso para um meio orgânico (ex.: lipídios, ceras e matéria orgânica) (MACKAY *et al.*, 1997).

A mensuração do Kow de determinado herbicida é dada pela razão de partição do número de moléculas de uma herbicida entre dois meios não miscíveis (N-octanol e água). Apesar da compreensão teórica deste coeficiente parecer complexa, na prática, o Kow indica a afinidade que o herbicida possui pela água ou por solventes de natureza lipofílica. Neste sentido, herbicidas com menor valor de Kow tendem a ter menor retenção à palhada, comportamento preferível em áreas agrícolas cultivadas sob sistema de plantio direto. Apesar disto, na predição de transporte de um herbicida pela palhada, deve-se considerar além do Kow, a solubilidade, a pressão de vapor e propriedades relacionadas a sorção da molécula.

Atributos do solo e suas interações com a dinâmica de herbicidas

Anteriormente, neste capítulo, foram apresentados os processos de retenção, transporte e transformação; propriedades químicas e físicas dos herbicidas, e como estas influenciam na dinâmica destas moléculas quando aplicadas no ambiente edáfico. Contudo, conforme já mencionado, a dinâmica de cada herbicida dependerá também dos atributos relacionados ao solo, uma vez que a depender da mineralogia e das propriedades físicas e químicas, os processos de retenção, transporte e degradação apresentarão intensidade distinta nos mais diferentes solos. Essas alterações implicarão diretamente na eficácia de controle, bem como riscos de contaminação ambiental (CHAGAS *et al.*, 2019).

Em grande parte dos estudos que mensuram o comportamento de herbicidas, as características físicas e químicas do solo são levadas em consideração para compreensão da dinâmica das moléculas no ambiente edáfico, visto que estas apresentam grandes variações entre classes de solo, bem como em decorrência das práticas de manejo. Todavia, por vezes, solos que apresentam grande similaridade de componentes como granulometria (textura), pH, matéria orgânica, entre outros atributos, proporcionam comportamento muito variado à dinâmica dos herbicidas, impactando diretamente na eficácia de controle e extensão na atividade residual (persistência).

Muitas vezes estas diferenciações visualizadas na dinâmica de herbicidas estão relacionadas à mineralogia do solo, visto que o material de origem e tipo de argila também impactam diretamente nos processos de retenção, transporte e degradação das moléculas de herbicidas no ambiente (ANDRÉS *et al.*, 2021). Desta forma, para maior acurácia na predição da dinâmica de herbicidas, bem como direcionamentos no que diz respeito ao posicionamento de doses seguras e eficazes de herbicidas residuais, é recomendável em estudos futuros que informações sobre a mineralogia do solo sejam levadas em consideração (SILVA *et al.*, 2022). A seguir, serão apresentadas as principais propriedades do solo que atuam na dinâmica dos herbicidas e serão discutidos os aspectos relacionados com a disponibilidade do produto na solução do solo e o controle de plantas daninhas.

Textura do solo

De todos os atributos do solo, o mais utilizado para estudos de dinâmica de herbicidas refere-se a textura (granulometria), o qual indica a classe textural que o solo apresenta em função da sua composição quanto aos teores de argila silte e areia (Figura 5). Esse atributo físico do solo é frequentemente adotado por bulas comerciais de herbicidas residuais para tomada de decisão quanto à dose aplicada, dada sua importância sobre o comportamento dos herbicidas nos solos (RODRIGUES e ALMEIRA, 2011).

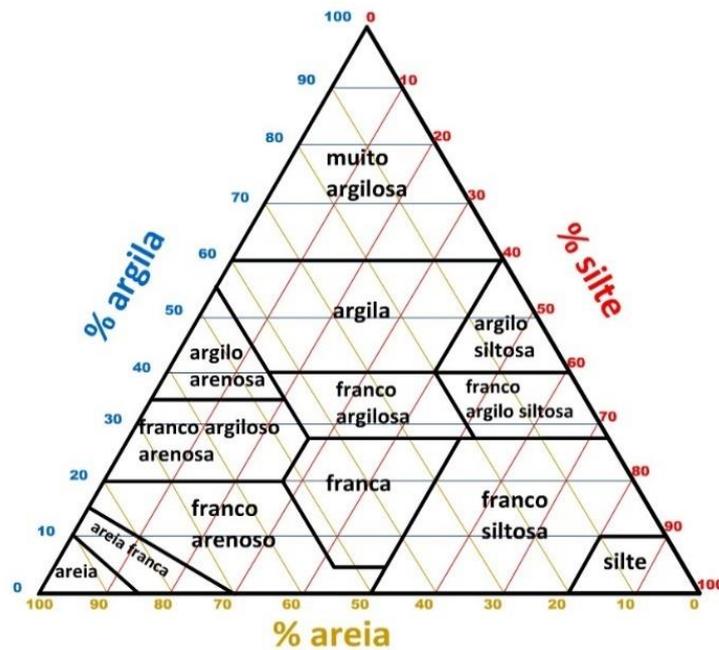


Figura 5. Triângulo textural do solo para identificação de classe com base na granulometria. Fonte: Lemos e Santos (1984).

De maneira geral, os herbicidas tendem a serem sorvidos nos colóides do solo (argila e matéria orgânica). Consequentemente, solos argilosos tendem a sorver uma maior quantidade e mais intensamente moléculas de herbicidas presente na solução do solo. Em termos práticos, para solos com maiores teores de argila, doses mais elevadas de herbicidas devem ser empregadas, uma vez que haverá uma menor disponibilidade de ingrediente ativo na solução, devido ao processo de adsorção (JAREMTCHUK *et al.*, 2009). Em contrapartida, solos arenosos devem receber doses menores de herbicidas. Quando doses elevadas são aplicadas a solos arenosos, a menor capacidade de sorção desse solo para o herbicida pode causar injúrias a culturas, visto que a molécula de herbicida estará mais disponível na solução do solo para absorção da planta.

Solos com elevados teores de CTC, carbono orgânico e teor de argila contribuem para que herbicidas permaneçam sorvidos nos colóides do solo, tornando-se indisponível para degradação microbiana (GUIMARÃES *et al.*, 2022). Estudos avaliando a sorção e dessorção dos herbicidas diuron, hexazinone e sulfometuron-methyl em 15 solos com diferentes atributos físicos e químicos observaram correlação positiva significativa entre teor de argila e CTC. Ainda que a argila seja encarregada pela constituição de cargas negativas no solo, contribuindo para uma maior CTC, o maior teor de argila quando considerados diferentes solos não implica necessariamente em maior CTC (Silva *et al.*, 2019). Solos muito intemperizados, como os latossolos, podem apresentar argila com baixa atividade e poucos sítios negativos (MARÍN-SPIOTTA; SHARMA, 2013).

As argilas estruturadas são classificadas em dois grupos típicos que são minerais do tipo 1:1 e 2:1. Argilas expansivas apresentam maior capacidade adsorptivas (tipo 2:1) com maior retenção das moléculas de herbicidas na matriz do solo quando comparada com argilas mais intemperizadas (tipo 1:1) (ALEMAYEHU; TESHOME, 2021). Os minerais filossilicados constituídas pelas argilas 2:1 apresentam uma carga superficial líquida

negativa que são geralmente alteradas durante os processos de adsorção de cátions inorgânicos hidratados trocáveis (AWAD *et al.*, 2019). Herbicidas com carga residual positiva (catiônicos) como o diquat e paraquat possui alta afinidade com as cargas minerais negativas do solo, apresentando alta adsorção em diferentes solos, de modo que a maior parte do composto se torna biologicamente indisponível (FRANCO *et al.*, 2022; MASINI; ABATE, 2021).

Herbicidas com carga residual aniônica no solo possui baixa afinidade de adsorção com os colóides do solo devido as repulsões com as cargas negativas nas superfícies da argila (DEL MAR ORTA *et al.*, 2020). Por exemplo, a adsorção do herbicida mesotrione foi estudada em detalhes em vertisolos tratados com peróxido e também em suas frações granulométricas (argila, silte, areia) para avaliar o papel da mineralogia e diferentes matéria orgânica. Os pesquisadores observaram que a adsorção do mesotrione se correlaciona melhor com CTC e conteúdo de grupos alquil e carboxílicos. Além disso, o mesotrione apresentou alta intensidade de dessorção para todos os constituintes do solo estudados, demonstrando reversibilidade da adsorção devido às fracas interações entre mesotrione e os constituintes minerais e orgânicos (ALEKSEEVA *et al.*, 2014).

pH do solo

O pH do solo é outro fator determinante nos processos de sorção e dessorção dos herbicidas. Como discutido anteriormente, quanto ao caráter iônico, os herbicidas que apresentam cargas dependentes de pH são classificados como ionizáveis, e os herbicidas que não doam e nem recebem prótons, em solução, são classificados como não-ionizáveis.

Em termos práticos, a depender do pH atual do solo, a sorção do herbicida pode ser reduzida ou ampliada, podendo impactar, respectivamente, na eficácia no controle residual de plantas daninhas, ou na persistência e risco potencial de *carryover* para as culturas sucessoras. Ademais, práticas como a calagem, visando elevação de pH do solo por meio da aplicação de calcário, pode fazer com que moléculas herbicidas que estavam sorvidas nos colóides (GUERRA *et al.*, 2013), retornem à solução do solo, fase na qual o herbicida está disponível para ser absorvido e afetar o desenvolvimento de culturas sensíveis.

Matéria orgânica do solo

O teor de matéria orgânica no solo consiste em outro importante atributo para compreensão da dinâmica de herbicidas. De maneira semelhante à argila, determinadas moléculas de herbicidas tendem a ficar sorvidos neste componente do solo, reduzindo a eficácia no controle de plantas daninhas de herbicidas residuais. Ademais, devido a esta elevada sorção a matéria orgânica, determinados herbicidas apresentam baixa mobilidade menor potencial de lixiviação, como é o caso de algumas moléculas que apresentam ação residual (RODRIGUES e ALMEIDA, 2011).

Os efeitos da matéria orgânica do solo (MOS) na sorção de herbicidas são relatados em diversos trabalhos (Tabela 4). A MOS é um dos adsorventes mais eficientes para vários grupos de herbicidas (AHMAD *et al.*, 2001; WERNER *et al.*, 2013; PATEIRO-MOURE *et al.*, 2009; ALISTER *et al.*, 2011). A capacidade de sorção dos herbicidas pela

MOS depende de seu teor, área de superfície específica e estrutura porosa (FERNÁNDEZ-BAYO *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2019; AHANGAR *et al.*, 2008). A alta área de superfície específica da MOS governa a maioria das interações solo-matéria orgânica (HAN *et al.*, 2016).

Essa propriedade é afetada pela natureza do material de biomassa da matéria-prima e pelas condições ambientais sob as quais a matéria orgânica está exposta pois estes geram maior ou menor quantidade de sítios de interação com as moléculas dos herbicidas ou podem bloquear sítios de adsorção dos óxidos de Fe e Al (MARTINS *et al.*, 2018).

Para a qualidade da matéria orgânica do solo, característica relacionada aos grupos funcionais presentes na estrutura orgânica, a estratificação dos diferentes grupos funcionais da MOS é fundamental para dimensionar a capacidade de sorção e dessorção de herbicidas em solos (SUN *et al.*, 2010; KEMPF; BRUSSEAU, 2009). Por exemplo, Wu *et al.* (2015) relataram que o teor de carbono alifático dos ácidos húmicos (AHs) é um dos principais fatores que regulam a sorção do atrazine devido a a interação entre esse herbicida e os grupos alifáticos da MO via ligações de hidrogênio.

Os herbicidas podem ser sorvidos na MOS por interações não específicas que envolvem a partição na fase volumosa hidrofóbica e interações específicas entre os grupos funcionais da MOS e dos herbicidas (DUTTA *et al.*, 2015). Grupos funcionais da MOS, como carboxilas, hidroxilas, fenólicos, alcoólicos e aminas, e estruturas alifáticas e aromáticas podem interagir com os sítios ativos das moléculas de herbicidas (BERNS *et al.*, 2009). A composição química da MOS pode variar significativamente e, assim, influenciar a natureza e a extensão da sorção de herbicidas. Dos Santos *et al.* (2019) relataram que solos com maior teor de MO, apresentaram maior sorção do herbicida hexazinone devido aos grupos carboxílicos e fenóis da MO que permitem as ligações de hidrogênio com o nitrogênio do anel triazina presente na molécula do hexazinone.

Embora a capacidade de sorção da MOS seja considerada um fator chave que afeta o comportamento ambiental dos herbicidas, a dessorção ou comportamento de liberação dos herbicidas sorvidos pela MO deve ser cuidadosamente investigada devido à sua associação com a biodisponibilidade e eficácia dos herbicidas. A sorção reversível de herbicidas pode ocorrer devido a formação de fraca ligação entre as moléculas dos herbicidas e os componentes da MO (KAUR *et al.*, 2016).

Uma das formas mais adequadas para prever a reversibilidade da sorção de herbicidas é comparando os valores do coeficiente de histerese (calculado dividindo os expoentes de sorção pelos expoentes de dessorção). Lima *et al.* (2010) observaram maior teores de unidades carboxílicas em solo tratado com esterco animal, o que poderia ser responsável pela ligação de hidrogênio entre a atrazina e a MO, e que a dominância das ligações de hidrogênio, comparada às interações hidrofóbicas, pode ser responsável pela menor capacidade de dessorção.

Por sua vez, Aslam *et al.* (2013) observaram reversibilidade de sorção de glifosato em solo alterado com resíduos de milho decomposto em comparação com resíduos frescos, devido a diminuição da polaridade dos resíduos, uma vez que, pode ter enfraquecido a associação com o glifosato altamente solúvel e polar. A capacidade e afinidade da MOS em reter herbicidas varia significativamente com a natureza e grau de decomposição.

Tabela 4. Resultados dos coeficientes de sorção e dessorção de herbicidas de acordo com teores de matéria orgânica/carbono orgânico do solo.

MO (g kg ⁻¹)	CO (g kg ⁻¹)	Tipo de solo	Herbicida	Kfs (mg kg ⁻¹)	Kfd (mg kg ⁻¹)	Isotermas (Kfs/Kfd)	Referência
-	1,2	Solo 1		1,00	17,2		
-	2,4	Solo + substrato de cogumelo	Triasulfuron	1,96	24,2	Freundlich	García-Delgado <i>et al.</i> (2020)
-	2,1	Solo + composto verde		2,38	25,7		
-	2,1	Solo + esterco		4,80	27,6		
-	2,4	Solo + lodo de esgoto		0,79	14,3		
-	2,6	Solo		0,42	-		
-	418	Solo + bagaço de uva	Etofumesato	3,52	-	Freundlich	Marín-Benito <i>et al.</i> (2018)
-	415	Solo + resíduo de pinheiro		3,46	-		
-	275	Solo + resíduo urbano		1,92	-		
-	248	Solo + lodo de esgoto		2,06	-		
-	267	Solo + substrato cogumelo		2,68	-		
41,9		Solo de arroz	Atrazine	5,58	2,67	Freundlich	Yue <i>et al.</i> (2017)
63,7		Solo aluvial		15,90	-3,73	Langmuir	
32,3		Laterite		9,51	74,63	Freundlich	
-	9,7	Franco	Metribuzin	0,51	16,26	Freundlich	López-Piñeiro <i>et al.</i> (2013)
-	6,7	Franco arenoso		0,46	11,63		
-	13,4	Argiloso		0,59	20,74		
-	9,9	Franco argilo-arenoso		0,49	19,83		
-	21,7	Solo	Methiopyrisulfuron	2,46	15,35	Freundlich	Wu <i>et al.</i> (2013)
-	27,6	Solo + Turfa (2 %)		4,65	38,58		
-	32,7	Solo + Lodo de esgoto (4 %)		5,73	38,89		
-	30,2	Solo + HA (2 %)		5,61	43,59		
-	19,8	Lodo de esgoto		1,67	2,68		
-	14,7	Estrume de curral	Atrazine	1,73	3,47	Freundlich	Lima <i>et al.</i> (2010)
-	27,7	Composto de lixo orgânico		2,20	3,69		
-	12	Solo	Terbutilazina	1,88	10,44	Freundlich	Wang <i>et al.</i> (2010)
-	373	Lodo de esgoto digerido		1,43	5,69		
-	482	Lodo não digerido		1,58	8,04		
13,2	7,7	Amarelo-canela		5,68	31,46		
19,4	11,3	Solo de arroz	Diuron	14,34	26,11	Freundlich	Liu <i>et al.</i> (2010)
20,8	12,1	Amarelo-acastanhado		8,56	10,87		
26,2	15,2	Solo preto		33,57	6,88		
5,8	3,4	Terra vermelha		2,16	48,9		

29,2	16,9	Terra amarela		25,98	21,71		
-	12	Solo		1,58	3,32		
-	48	Solo + torta de azeitona crua	Bensulfuron-methyl	2,48	7,18	Freundlich	Delgado-Moreno e Peña (2008)
-	26	Solo + composto		1,26	2,68		
-	28	Solo + vermicomposto		1,70	4,54		
-	10,2	Solo	Etametsulfuron- methyl	4,39	-		
-	18,7	Solo com HA (20 g kg ⁻¹)		7,92	-	Freundlich	Si <i>et al.</i> (2006)
-	26,1	Solo turfoso		10,56	-		
-	5,6	Solo		0,94	-		
-	22	Lagar de azeite (5%)	Simazina	1,69	-	Freundlich	Albarrán <i>et al.</i> (2004)
-	36,2	Lagar de azeite (10%)		2,34	-		
-	11	Solo (pousio)		0,86	5,46		
-	63	Solo + esterco animal		0,99	2,88		
-	67	Solo + adubação verde	MCPA	0,87	3,20	Freundlich	Haberhauer <i>et al.</i> (2001)
-	58	Solo + turfa		1,63	3,83		
-	58	Solo + lodo de esgoto		2,12	5,31		

MO (Matéria orgânica), CO (Carbono orgânico), Kfs (Coeficiente de sorção), Kfd (Coeficiente de dessorção).

Eficiência de herbicidas versus comportamento no solo

O potencial dos herbicidas em controlar (reduzir a população) plantas daninhas é chamado de eficácia, ou seja, um herbicida que atinge maior controle de plantas daninhas tem maior eficácia comparado a outro herbicida com menor nível de controle. A eficácia dos herbicidas é altamente influenciada pelas características físico-químicas dos herbicidas (volatilidade, solubilidade), condições ambientais e propriedades do solo (matéria orgânica, argila, areia, pH). Esta última é ponto chave para os herbicidas residuais aplicados em pré-emergência, já que o solo é o alvo de tais produtos (SOUZA *et al.*, 2020).

A volatilidade ocorre devido à alta pressão de vapor dos herbicidas aliado com certas condições climáticas (alta temperatura, baixa umidade). A alta volatilidade de herbicidas pode reduzir a absorção pelas plantas e resultar em menor eficácia de controle de plantas daninhas. Além disso, herbicidas mais voláteis são propensos ao movimento fora do alvo “*off-target*” o que aumenta o potencial de danos as plantas sensíveis em áreas adjacentes (JONES *et al.* 2019). Outro fator que contribui para o movimento “*off-target*” é a inversão da temperatura do ar, uma camada de ar quente acima da superfície do solo que restringe a mistura vertical do ar, movendo lateralmente pequenas gotículas ou vapores em suspensão que permanecem próximos ao solo (SOLTANI *et al.*, 2020).

O dicamba, herbicida auxínico que apresenta alta pressão de vapor (volatilidade) tem sido muito utilizada em pré e pós-emergência de soja e milho nos Estados Unidos como alternativa de controle de plantas daninhas resistentes a outros herbicidas (STRIEGEL *et al.*, 2021). A adoção da tecnologia dessas culturas resistentes ao dicamba aumentou o uso deste herbicida e o potencial de danos a plantas sensíveis em áreas adjacentes por meio de vapor e/ou deriva de partículas (movimento “*off-target*”) (WERLE *et al.*, 2018). Apesar da introdução de produtos com redução de volatilidade lançado por algumas empresas do setor de produção de pesticidas, o movimento “*off-target*” ainda tem causado injúria em culturas não resistente ao dicamba e tem sido motivo de muito estudo na busca de uma maior eficiência para essa tecnologia.

A umidade do solo adequada é necessária para a incorporação do herbicida pré-emergente após a aplicação e posterior disponibilidade na solução do solo (STRIEGEL *et al.*, 2021). A falta de umidade ou pouca umidade pode não ser suficiente para a ativação do herbicida no solo e resultar em baixo controle de plantas daninhas (BRANKOV *et al.*, 2021). Este tem sido um fator muitas vezes negligenciado em situações de campo, o que tem prejudicado a eficiência no controle das plantas daninhas, bem como aumentado o custo do manejo e, conseqüentemente, de produção.

Do ponto de vista do controle de plantas daninhas, o herbicida que tem maior tendência de ficar na solução do solo será prontamente absorvido pelas plantas daninhas e, portanto, tem maior potencial de controle. Além disso, quando o herbicida tem moderada lixiviação no perfil do solo há uma maior eficiência no controle do banco de sementes de plantas daninhas em profundidade (CARNEIRO *et al.*, 2020). No entanto, ambientalmente a permanência do herbicida na solução pode representar um problema devido ao maior risco de contaminação de lençóis freáticos resultante da lixiviação da

molécula. Esse cenário é mais crítico em regiões irrigadas ou com alta intensidade pluviométrica.

Quando o herbicida se apresenta adsorvido aos colóides do solo, existe uma tendência da molécula em aumentar sua persistência no solo. Em condições nas quais essa sorção é reversível ao longo do tempo, o controle de plantas daninhas pode se estabelecer por um maior período de tempo, controlando diferentes fluxos de germinação oriundos do banco de sementes do solo (SILVA *et al.*, 2022). Por outro lado, o aumento na atividade residual do herbicida pode elevar o potencial de causar danos a culturas subsequentes sensíveis, fenômeno conhecido como “*carryover*” (BENTO *et al.*, 2017).

Dinâmica de herbicidas em sistemas de plantio direto

Nos sistemas convencional e plantio direto, a dinâmica/comportamento dos herbicidas no solo pode ser diferente. No sistema de plantio direto, a palhada na superfície do solo atua como uma barreira física impedindo ou dificultando o contato direto do herbicida com o solo, o que pode aumentar o potencial de lixiviação, degradação e volatilização (DE MATOS *et al.*, 2016), e desta forma, reduzir o controle residual de plantas daninhas. A maior ou menor influência da palhada sobre a eficácia dos herbicidas depende da quantidade de biomassa acumulada no solo, composição química das plantas de cobertura e características físico-químicas dos herbicidas.

A melhoria das propriedades do solo quando o sistema de plantio direto é implementado pode favorecer a persistência de herbicidas no solo, o que pode causar danos a culturas subsequentes sensíveis por meio de “*carryover*”. Herbicidas com atividade residual no solo têm o potencial de serem transferidos para culturas subsequentes (“*carryover*”), resultando em danos a culturas sensíveis e limitando a produtividade (CURRAN, 2016). “*Carryover*” ocorre quando a degradação dos resíduos do herbicida é atrasada devido às condições ambientais ou de manejo da cultura (GRINT *et al.*, 2022). O aumento do uso de herbicidas residuais do solo para o manejo de plantas daninhas problemáticas em sistemas de cultivo tem potencial para resultar em mais casos de “*carryover*”.

As injúrias causadas pelo carreamento de herbicidas (de acordo com o herbicida) incluem clorose, necrose, atrofiamento de plantas, deformação de tecidos, lesões em tubérculos, redução de sistema radicular, redução no crescimento e na produtividade. Reis *et al.* (2018) observaram que “*carryover*” de tembotrione e atrazine em batata resultaram em rachaduras dos tubérculos, reduzindo a produtividade, qualidade e valor comercial.

Em sistema de plantio direto, Grint *et al.* (2022) avaliaram o potencial de “*carryover*” de fomesafen e imazethapyr em milho e clopyralid e mesotrione em soja em solos franco-argilosos e siltosos na região centro-oeste dos Estados Unidos. Estes autores relataram que não houve “*carryover*” desses herbicidas em sistema de plantio direto comparado as práticas de manejo convencional e com o uso de culturas de cobertura, quando aplicados nas doses recomendadas pela bula. Por outro lado, Dan *et al.* (2011) relataram que a cultura do milho em sucessão à soja foi sensível à atividade residual do sulfentrazone (120 dias após a aplicação do herbicida) em Latossolo Vermelho distroférico, Rio Verde, Goiás.

Atualmente, devido a tolerância e resistência de plantas daninhas a herbicidas, a utilização de misturas de herbicidas é cada vez mais comum para alcançar maior efetividade de controle. Essas misturas são complexas e a maioria aumenta o tempo residual de controle de plantas daninhas. Francischini *et al.* (2020) avaliaram “*carryover*” de herbicidas usados para controlar colmos de algodoeiro e observaram que o glyphosate + dicamba + saflufenacil tem grande potencial de carreamento para a soja cultivada em sucessão.

Considerações finais

A incorporação de novos eventos de culturas transgênicas nas últimas décadas e a capacidade inerente das plantas daninhas na adaptação as diferentes técnicas de controle têm demandado maior planejamento no manejo das plantas daninhas em cultivos agrícolas. O uso integrado de cobertura do solo, herbicidas em pré e pós-emergência, além do manejo durante a época de pousio visando reduzir o banco de sementes do solo das espécies de difícil controle torna-se importante para o manejo mais eficiente das plantas daninhas.

Os estudos do comportamento de herbicidas no solo têm demonstrado que não existe “receita de bolo” para o uso destes produtos, principalmente, quando são aplicados diretamente no solo (pré-emergência). Desta forma, a escolha do produto, dose e tecnologia de aplicação deve estar relacionado com o alvo de manejo (plantas daninhas), porém sem negligenciar as particularidades da interação Herbicida x Solo x Ambiente. Isto é essencial para o posicionamento eficiente do ponto de vista agrônômico, com menor risco ambiental.

Por fim, é importante destacar a importância de pesquisas sobre o comportamento de herbicidas no solo visando auxiliar o produtor na tomada de decisão. Mesmo com os avanços tecnológicos, a recomendação de herbicidas ainda continua se baseando em doses de bula relacionadas a percepção sobre, principalmente, a textura do solo. O uso das técnicas de inteligência artificial e agricultura de precisão poderão auxiliar na escolha de doses considerando as particularidades de cada solo, como as disponíveis nas análises químicas e granulométricas que corriqueiramente são realizadas pelos produtores.

CAPÍTULO 9

TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS

Vinicius dos Santos Carreira¹

Rafael Stellato Liu²

Susi Meire Maximino Leite³

¹Mestre em Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal.

²Engenheiro Agrônomo, gerente de adjuvantes da Rizobacter.

³Professora Doutora da Faculdade de Tecnologia de Pompéia (FATEC) “Shunji Nishimura”.

Introdução

A tecnologia de aplicação é constituída por inúmeras técnicas que possuem um objetivo em comum: proteger a lavoura de forma eficiente e com baixa contaminação. Entregar os defensivos agrícolas de forma adequada e no momento certo para as plantas garante a proteção dessas contra organismos nocivos, que podem gerar perdas expressivas e irreversíveis.

No campo, essa etapa necessita de estratégias que, muitas vezes, são tomadas em um curto prazo. Essas decisões são fundamentadas no conhecimento técnico-científico disponível, mas são dependentes de variáveis do campo, conforme será discutido a seguir. Por outro lado, a opção de não realizar nenhum tipo de controle com defensivos pode levar a consequências substancialmente maiores que apenas danos à lavoura. Com menores produtividades e baixa qualidade, a segurança alimentar é ameaçada, principalmente em regiões em desenvolvimento.

Esse nível de complexidade, aliado as atuais demandas globais de menor impacto ambiental e à saúde humana, provoca a comunidade científica para estabelecer diretrizes e caminhos em rumo à proteção da lavoura com uma visão sustentável, que possa ser referência em regiões desenvolvidas e emergentes. Portanto, neste capítulo foram discutidos os fundamentos da tecnologia de aplicação, percorrendo desde conceitos até os futuros caminhos dessa operação. A democratização dessas informações é necessária e, portanto, os assuntos foram redigidos de forma flexível, para atender os diferentes públicos do agronegócio.

Conceitos

A tecnologia de aplicação de defensivos é o conjunto de conhecimentos técnico-científicos disponíveis que permitem a entrega do defensivo agrícola no alvo desejado, considerando aspectos físicos, químicos e biológicos que englobam fatores edafoclimáticos, lavoura e máquina, ou seja, apenas uma visão holística dessa operação pode empregar esse conhecimento em campo. Alguns conceitos que compõem essa área são:

1. *Pulverização*: processo físico-mecânico que ‘quebra’ um líquido em partículas ou gotas.
2. *Aplicação*: deposição das partículas sobre o alvo, considerando fatores como tamanho e cobertura de gotas em uma determinada área.
3. *Regulagem*: ajuste da máquina em função das condições em que será usada, por exemplo altura de barra, velocidade de deslocamento etc.
4. *Calibração*: determinação do volume de aplicação, quantidade de produto e seleção das pontas baseada em vazão e classe de tamanho de gotas para atender a demanda.
5. *Vazão*: quantidade de calda por unidade de tempo.
6. *Dose*: quantidade de calda por unidade de área.
7. *Alvo*: elemento que o defensivo agrícola deve atingir (e.g., solo, partes das plantas etc.). A pulverização deve considerar os aspectos do alvo (forma, tamanho, comportamento etc.) para que haja um controle com eficácia.

8. *Deriva*: Desvio das partículas para locais que não são alvo durante a aplicação.
9. *Calda*: líquido constituído após a diluição de um produto.
10. *Eficiência*: relação entre a quantidade de produto utilizado e a quantidade que realmente chegou até o alvo.
11. *Eficácia*: efeito biológico do produto no alvo.
12. *DMV*: Diâmetro Médio Volumétrico, se houver uma ordenação do diâmetro das gotas geradas, esse seria o diâmetro de gota que divide o volume aplicado ao meio.
13. *SPAN*: Amplitude relativa; medida de homogeneidade da população de gotas.

Aspectos legislativos

A aplicação de defensivos agrícolas é amparada direta ou indiretamente por um conjunto de normas e leis, contemplando desde os produtos utilizados até o modo de operação. A classificação de toxicidade permite o melhor manuseio dos defensivos quanto ao potencial perigo que eles oferecem.

O Brasil utiliza do padrão internacional GHS (Sistema de Classificação Globalmente Unificado), que estabelece seis classes de toxicidade (Figura 1). Pertencem as classes de tarja vermelha ‘extremamente tóxico’ ou ‘altamente tóxico’ produtos que podem causar morte se ingerido, em contato ou inalado. Já as classes de tarja amarela, azul e verde ‘moderadamente tóxico’, ‘pouco tóxico’, ‘improvável de causar dano agudo’ e ‘não classificado’, respectivamente, não causam perigo de morte, embora gerem intoxicação.



Figura 1. Classificação da toxicidade dos defensivos agrícolas.

Especificamente, as operações agrícolas utilizando máquinas e implementos são descritas nas normas regulamentadoras (NR) junto as ações necessárias. A NR 06 trata dos Equipamentos de Proteção Individual (EPI) obrigatórios para garantir a segurança do operador durante o manuseio dos produtos. Em geral, o EPI deve impedir a contaminação pelas vias de exposição inalatória, ocular, oral e dérmica. As principais vestimentas são: luvas de segurança, respiradores, viseira facial, jaleco e calças impermeáveis, avental e bota. As especificadas para cada equipamento devem ser observada na própria norma.

A NR 12 trata de assuntos mais abrangentes, o que inclui o projeto da máquina utilizada. Como exemplo, os pulverizadores autopropelidos devem possuir dispositivos de cinto de segurança, iluminação adequada e sinal sonoro de ré acoplado ao sistema de transmissão.

Por fim, a NR 31 trata especificamente do trabalhador na agricultura, garantindo as condições ideais de operação. Esse conjunto de preceitos contempla desde a capacitação do operador para prevenção de acidentes com defensivos agrícolas até o ambiente e regras de manuseio desses produtos. Um exemplo prático é o item 31.7.4, que descreve a necessidade de utilizar apenas tratores com cabine fechada para operar atomizador mecanizado tracionado, para evitar a projeção do produto químico até o operador.

Devido ao progresso da tecnologia de aplicação, é necessário a constante modificação ou adição das regulamentações. A recente implantação da pulverização com aeronaves remotamente pilotadas (ARP) não foge desse contexto. A portaria MAPA n.º 298 estabelece regras para essa operação. Os pontos principais consistem em: (i) os aplicadores devem possuir um curso de capacitação para a aplicação, homologado pelo governo; (ii) os aplicadores devem manter registro dos dados da operação, que inclui local, data, área etc.; (iii) restrições no voo, que inclui operar ou navegar fora de zonas protegidas; (iv) é necessário ter um responsável técnico, engenheiro agrônomo ou florestal, para acompanhar a operação (entretanto, apenas para pessoas jurídicas operadoras de ARP).

Formulações de produtos e preparo da calda

A formulação de um defensivo agrícola, é constituída de componentes ativos e inertes. Ela deve atender aos critérios da finalidade biológica, toxicidade e condições de armazenamento para o uso adequado na lavoura. As principais formulações para a pulverização agrícola são, mas não se limitam a:

1. **Pó molhável (PM):** Sólido de pó que precisa ser diluído em água. É necessário constante agitação para evitar a decantação do produto. Como recomendação, uma pré-mistura pode ser feita para posteriormente adicionar ao tanque com maior homogeneidade.
2. **Pó solúvel (PS):** Sólido totalmente solúvel em água. Por ser uma solução verdadeira, não há necessidade de agitação constante para mante a homogeneidade.
3. **Suspensão concentrada (SC):** Líquido para ser diluído em água, podendo ser adicionada ao tanque diretamente, desde que com o agitador ligado.

4. Concentrado emulsionável (CE): Líquido para ser diluído em água, resultando em uma mistura homogênea de emulsão espontânea.

Outras formulações existentes são: grânulos dispersíveis em água, solução aquosa concentrada, ultrabaixo volume etc. Existe uma ordem de adição desses produtos no tanque para evitar incompatibilidades indesejadas. Entretanto, apesar do auxílio, é necessário verificar cuidadosamente as recomendações de cada produto para entender seu comportamento. É interessante que seja feito um teste, utilizando um recipiente que deve ser corretamente descartado. Nesse, seria preparado um volume reduzido da calda de pulverização, com os componentes desta adicionados na mesma ordem e proporção que seria feito no tanque do pulverizador. Um exemplo de ordem de mistura é, mas não se restringe a:

1. Pó-molhável
2. Grânulos dispersíveis em água
3. Suspensão concentrada
4. Concentrado emulsionável
5. Adjuvantes

Equipamentos para aplicação de defensivos agrícolas

Apesar de haver modelos distintos para aplicação via líquida, nesse capítulo será tratado apenas da pulverização — especificamente dos modelos tratorizados e autopropelidos — processo que fragmenta o líquido em gotas, conforme descrito anteriormente. Outros equipamentos de pulverização, como costais e sistemas aéreos, possuem suas peculiaridades, mas consistem em fundamentos semelhantes aos descritos a seguir. Um sistema de pulverização comum pode ser descrito como uma sequência de componentes da máquina responsáveis por transportar o produto de um reservatório até a saída da máquina (pontas de pulverização), gerando gotas que, por energia cinética, chegarão até o alvo.

Dois componentes importantes desse sistema são os agitadores e filtros. Os agitadores são imprescindíveis para muitas misturas, pois homogeneizam a calda evitando a decantação e distribuição irregular do produto na área. Podem ser divididos em mecânicos ou hidráulicos, em que o primeiro é geralmente constituído por uma hélice em rotação e o segundo faz uso do próprio sistema de retorno da bomba. Esse último utiliza o princípio de Venturi, que impulsiona o fluido contra a mistura realizando sua agitação. Já os filtros agem para impedir o entupimento das pontas de pulverização ao barrar impurezas presentes na calda. Eles estão presentes em quase todo o circuito hidráulico e possuem malhas de diferentes tamanhos.

A ponta de pulverização de energia hidráulica é a última etapa desse circuito. Esse pequeno, mas complexo componente, fragmenta o líquido em gotas. Basicamente, o líquido entra na ponta e passa por uma geometria específica que definirá a vazão, o perfil de distribuição e a velocidade-tamanho de gotas. Logo após a saída do líquido, forças aerodinâmicas transformam o filme líquido em ligamentos instáveis (Figura 2). Em um segundo momento, esses ligamentos são transformados em gotas (ASGARIAN *et al.*,

2020). Desgastes ou quaisquer danos físicos podem comprometer a qualidade da pulverização gerada pelas pontas, uma vez que modificam a geometria original (KECSKÉSNÉ NAGY; KOSZEL; SZTACHÓ-PEKÁRY, 2014)

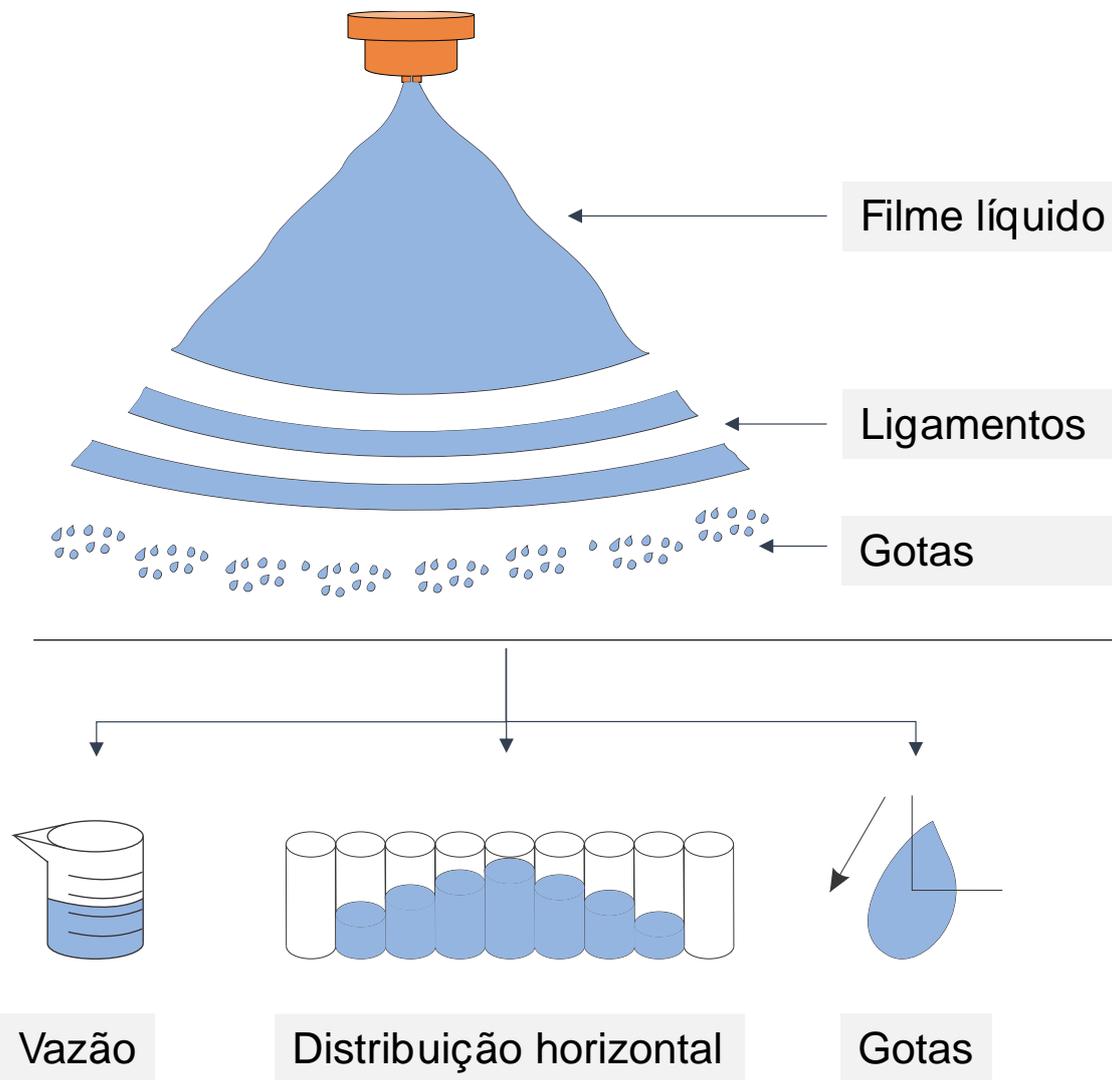


Figura 2. Exemplo generalista da geração de gotas pelas pontas de pulverização e as principais características fornecidas.

Para a pulverização agrícola, as pontas de pulverização de energia hidráulica são classificadas em quatro principais modelos: leque plano, leque uniforme, cone cheio e cone vazio. Cada modelo atende uma necessidade específica no campo.

Em geral, as pontas do tipo leque plano são usadas na aplicação de herbicidas, possuindo gotas e ângulo de abertura do jato maiores que os demais. Já as pontas do tipo leque uniforme são empregadas nos pulverizadores costais, que não possuem sobreposição. As pontas do tipo cone cheio possuem distribuição horizontal semelhante ao leque plano, mas distribui líquido em toda projeção cônica, com gotas e ângulo menores. As pontas do tipo cone vazio são semelhantes às de cone cheio, com a diferença de não haver líquido no centro da projeção cônica. Essa característica pode comprometer a distribuição de líquido na barra, pois a sobreposição não é suficiente. Por isso, tais pontas são mais associadas a aplicação de defensivos com turbo atomizadores (Figura 3).

Evidentemente, a origem desses modelos vem das geometrias completamente diferentes no núcleo.

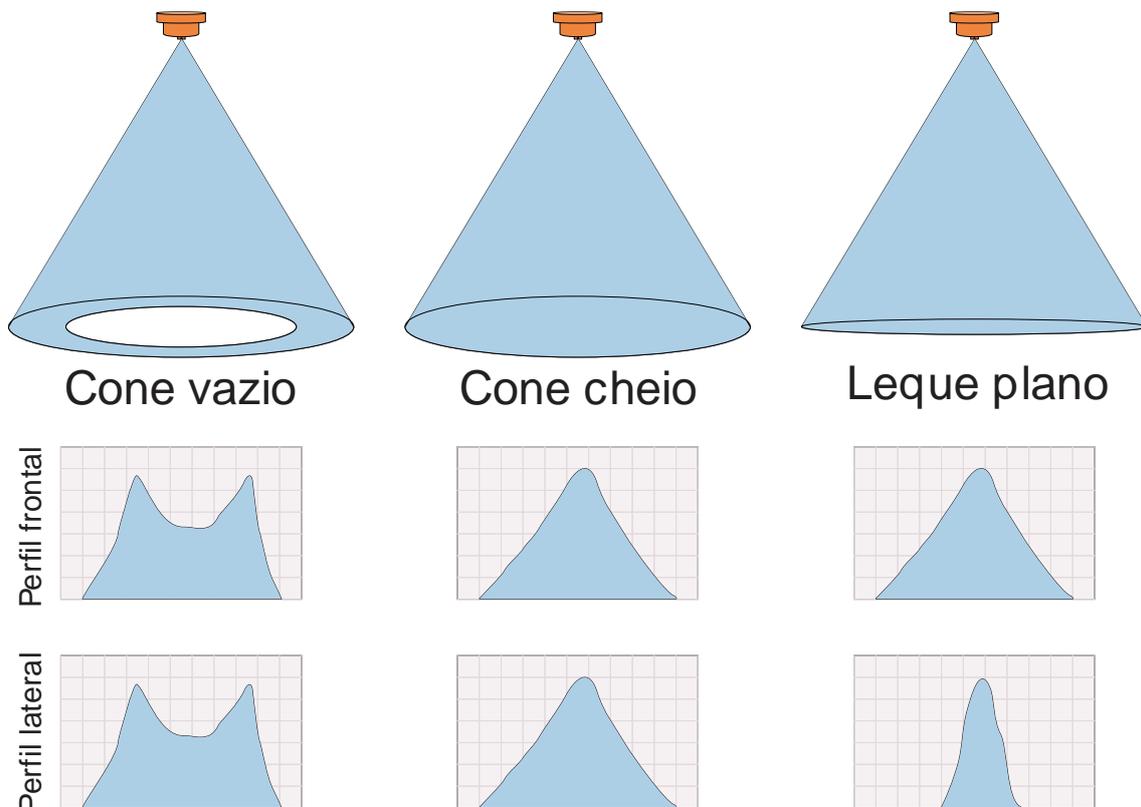


Figura 3. Exemplo dos perfis de distribuição de líquido das pontas de energia hidráulica mais utilizadas no campo.

Um aspecto importante, mas às vezes difícil de avaliar em campo, é a cobertura de gotas geradas por essas pontas. Cada aplicação, é dependente das variáveis descritas na próxima seção e da mistura utilizada e requer que as gotas possuam tamanhos específicos. Se as partículas são muito finas (e.g., < 100 micras), pode haver excelente cobertura, mas o potencial de deriva é muito alto, além da rápida evaporação. As gotas finas (e.g., 200 micras), possuem características semelhantes, com pequenas alterações para menor cobertura e menor susceptibilidade às condições climáticas em relação as gotas muito finas, mas ainda requer atenção considerável. Já as gotas médias (e.g., 350 micras) possuem boa cobertura e menor potencial de deriva, entretanto podem gerar escorrimento. Gotas grossas são vantajosas devido ao melhor comportamento em relação as condições climáticas, diminuindo a deriva. Entretanto, sua baixa cobertura requer cuidado na determinação correta do volume de aplicação de calda, principalmente na adoção de volumes reduzidos.

Devido à alta complexidade, esses sistemas devem ser estritamente avaliados de acordo com as normas internacionais. Especificamente, as normas ISO (International Standard Organization) 5682-1 e 5682-2 (2011) descrevem vários testes para os pulverizadores, o que inclui as pontas e até o funcionamento de componentes secundários. As pontas de pulverização são testadas em condições controladas dentro de um laboratório para analisar sua vazão, distribuição horizontal e classe de tamanho de gota.

Também há testes de vazão e distribuição em condições de campo, entretanto, esses são menos restritivos. De qualquer maneira, é importante notar que todos os componentes fabricados por empresas renomadas passam por testes e controle de qualidade, minimizando os prejuízos no campo.

Variáveis na aplicação de defensivos

Antes de iniciar a adição de produtos no tanque, é imprescindível que esse esteja limpo e livre de quaisquer resíduos das aplicações anteriores, que podem ser potenciais contaminantes. Caso ocorra essa contaminação, pode haver problemas de fitotoxicidade, diminuindo a produtividade da cultura em questão. Como exemplo, dentro dos herbicidas mais problemáticos relacionados a fitotoxicidade, são frequentemente citados os com composição hormonal: 2,4-D e Dicamba. Portanto, a lavagem do reservatório, inclusive com o uso de produtos neutralizantes, é uma prática essencial.

Além disso, ainda dentro do reservatório, a qualidade da água utilizada tem forte influência na pulverização. Isso porque parâmetros como o potencial de hidrogênio (pH), dureza, alcalinidade e turbidez podem alterar a performance dos defensivos. Não menos importante, a compatibilidade química e física dos produtos deve ser verificada para adicioná-los na correta ordem, evitando fenômenos que reduzam a atividade dos produtos ou até mesmo distúrbios na calda.

Independente da fonte de água, há sólidos dissolutos e esses se encontram na forma de sais e sua qualidade depende dos ânions e cátions que as compõe. Dependendo da combinação de sais dissolutas, as águas podem ser: neutras, alcalinas ou duras.

Águas neutras são quando sua salinidade provém fundamentalmente, de cátions monovalentes, sódio e potássio, (sendo muito baixa a concentração dos di e trivalentes) e de ânions como cloretos e sulfatos, sendo muito baixa a concentração de bicarbonatos e carbonatos. Estas águas têm um pH muito próximo a 7.

Águas alcalinas são quando sua salinidade provém, fundamentalmente, de cátions monovalentes, sódio e potássio, (sendo muito baixa a concentração de íons di e trivalentes) e de ânions que, além de cloretos e sulfatos, são carbonatos e bicarbonatos, sendo os sais destes últimos as que lhe conferem alcalinidade. Têm um pH maior que 7, podendo atingir valores de 8,5 – 9.

Águas duras são quando sua salinidade provém, não somente de cátions monovalentes sódio e potássio, mas também de divalentes como cálcio e magnésio, e de trivalentes, ferro, alumínio e arsênio. Os ânions são cloretos, sulfatos, bicarbonatos e eventualmente fluoretos. O conceito de dureza da água exprime-se como o somatório do conteúdo de cálcio e magnésio, os cátions mais importantes em águas para aplicações agrícolas, expressados ambos no equivalente em mg/l (ou partes por milhão = ppm) de carbonato de cálcio.

Além da dureza, o pH da água pode influenciar na hidrólise do produto, sendo a faixa ideal para a maioria deles na entre 5 e 6. pH muito alto ou baixo favorecem à decomposição por hidrólise. Quando se fala em turbidez, refere-se à sujeira e cor escura que se vê na água pela presença de argilas e restos de matéria orgânica que se encontram em suspensão. Estes materiais absorvem-se fortemente à parte aniônica de alguns

fitossanitários, principalmente herbicidas, baixando sua disponibilidade na calda aspergida. Pode desativar facilmente os herbicidas que tiverem valores altos de Koc. (Coeficiente de absorção de carbono orgânico). Para os referidos valores é muito importante água limpa. Os de baixo valor de Koc não são afetados.

É importante que o equipamento esteja com todo o sistema de mangueiras em posições adequadas e sem nenhum vazamento. Filtros principais e de linhas em perfeitas condições e sem impurezas. Além disso, as pontas de pulverização devem ser adequadas para o objetivo da aplicação, bem como livres de impurezas tampouco desgastadas a ponto de aplicar um volume acima do recomendado. É nesse momento que podem ocorrer em maior ou menor proporção as perdas por deriva e evaporação.

Trabalhar nas condições climáticas adequadas, de vento, temperatura, umidade relativa do ar, sem inversão térmica, são fatores-chaves para o sucesso da aplicação. O vento pode provocar a deriva das gotas numa maior ou menor distância, dependendo do seu tamanho. A temperatura e a umidade relativa do ar também são fatores críticos, pois contribuem para a evaporação das gotas.

Deriva é considerada o transporte do produto na forma líquida para fora da área de aplicação, podendo ser provocada pela ação do vento (Exoderiva) ou pelo escorrimento na planta (Endoderiva). A deriva é influenciada pelos seguintes fatores: características do produto aplicado (natureza química, formulação etc.), características do equipamento de aplicação (vazão, pressão, altura de trabalho, largura da faixa etc.) e condições meteorológicas. Já a evaporação é o transporte do produto na forma gasosa para fora da área de aplicação.

Garantir o número mínimo de gotas/área, de acordo com o defensivo, de contato ou sistêmico, é de suma importância. Após o impacto, a gota pode se fragmentar, rebotar ou escorrer, o que soma mais outro fator às perdas já citadas. As folhas e caules da planta estão cobertos por uma membrana serosa chamada cutícula. Esta é a primeira barreira que deve ser superada pelo herbicida aplicado sobre o vegetal. Uma vez retida a gota pelo vegetal, tem que ser absorvida vencendo a barreira da cutícula e depois translocada até chegar ao local de ação. É necessário considerar as características do alvo, a natureza química e biológica do fitossanitário e as propriedades do adjuvante.

A presença de ceras é de longe o componente da cutícula que influi na retenção e penetração de um princípio ativo. A grossura e composição da cera afeta a absorção do produto dentro da folha. As ceras cuticulares com alto conteúdo em hidrocarbonetos não polares (lipofílicos), de longa cadeia de aldeídos e cetonas, são menos permeáveis à água e ao herbicida respeito das cutículas de alto conteúdo em componentes seroso polares (hidrofílicos).

É comum observarmos perdas por misturas inadequadas de tanque, provocando retenção de resíduos no circuito do equipamento e como consequências erro na dose do produto e maior gasto em tempo para limpeza dele. Perdas por descalibração da máquina, tem um impacto direto na dose do produto aplicado. Perdas por deriva, evaporação e volatilidade, contribuem para que menos produto chegue ao alvo causando falhas de controle. E perdas pelo alvo não interceptado, que de fato houve alguma falha no processo para que isso ocorresse. Todos esses pontos somados, podem contribuir para uma pulverização ineficiente.

Resultados científicos e tecnologias emergentes

Em paralelo aos desenvolvimentos privados para atender as necessidades dos agricultores, a pesquisa científica também contribuiu fortemente para o avanço da tecnologia de aplicação. Na realidade, todo o desenvolvimento requer em algum nível uma base de literatura, que é construída pelos estudantes e pesquisadores da área, com investimento público, privado ou ainda uma união dos dois. Para a tecnologia de aplicação não é diferente. Ao longo dos anos inúmeros componentes foram introduzidos e testados em diversas condições, buscando entender o funcionamento, limitações e lacuna a serem preenchidas. Nessa seção estão descritos a seguir os principais assuntos abordados na literatura recente.

A válvula de modulação por largura de pulso (PWM) é um componente de presença absoluta nos pulverizadores recentes. Na literatura, esse componente foi introduzido pela primeira vez a duas décadas, numa tentativa de controlar de forma independente a vazão e tamanho de gota das pontas de pulverização (GILES, 1997). Basicamente, em vez de utilizar a pressão, a válvula diminui ou aumenta seu ciclo de trabalho, ou seja, a largura de pulso (CARREIRA; PEREIRA DA SILVA, 2022).

Um ciclo de trabalho de 100% indica que a válvula está totalmente aberta durante seu funcionamento; enquanto um ciclo de 50% indica metade da passagem e, portanto, metade da vazão original. Desde o desenvolvimento do PWM, há um esforço por parte dos pesquisadores para verificar as condições ideais de funcionamento. Como exemplo, sabe-se que não é recomendado utilizar pontas de indução a ar ou então trabalhar em ciclos muito baixos (e.g., < 40%), pois esses podem aumentar a instabilidade do fluido e comprometer o tamanho de gotas (BUTTS *et al.*, 2019).

Uma alternativa flexível para os pulverizadores terrestres é o uso de ARP (CHEN *et al.*, 2020). Em pequenas áreas, seu uso é ideal para substituir as bombas costais, diminuindo a contaminação do operador e, também, o impacto ambiental. Para áreas maiores, seu uso ainda pode ser restrito à pulverização localizada, principalmente em casos de infestação de daninhas. Em geral, prefere-se aplicação de baixo volume, muito devido a limitação de seu reservatório. A aerodinâmica gerada pela sua hélice durante o voo pode até mesmo contribuir para o melhor depósito das gotas, empurrando-as para baixo (MENG *et al.*, 2018)

Ainda não presente, mas um futuro já traçado é o uso de máquinas autônomas. Nesse modelo, o operador pilotaria remotamente o pulverizador, sem a necessidade de estar dentro da cabine. Para isso, as máquinas utilizam um sistema para simular o mundo real, geralmente por meio de visão computacional ou nuvem de pontos (DANTON *et al.*, 2020; REGER; STUMPENHAUSEN; BERNHARDT, 2022). Isso permite visualizar as linhas que possuem plantas e, também, possíveis obstáculos a serem evitados. Da mesma forma, o risco de contaminação do operador é diminuído e a eficiência de operação maximizada. Entretanto, o desenvolvimento está longe de seu estágio final, uma vez que as condições adversas dos campos agrícolas demandam um sistema extremamente robusto.

Calibração e regulagem dos pulverizadores

Duas etapas fundamentais antes da aplicação de defensivos agrícolas são a regulagem e calibração da máquina. Evidentemente, o operador deve possuir uma visão holística da situação e compreender que há outras variáveis além da própria máquina, conforme descrito anteriormente, o que inclui as condições climáticas e demandas da lavoura. A seguir, descrevemos as principais orientações para a calibração e regulagem de um pulverizador de barras no campo, após já saber a taxa de aplicação e quantidade de calda desejada:

1. Antes de iniciar, certifique-se que está protegido utilizando o EPI adequado para o serviço.
2. Verifique se a altura da barra corresponde ao desejado, que depende da ponta e da aplicação corrente.
3. Aumenta a rotação do trator até atingir a faixa de 540 rpm, que aciona a tomada de potência (TDP).
4. Selecione um conjunto de marchas adequado a operação e percorra 100 m, cronometrando o tempo gasto. Se necessário, repita três vezes e utilize a média dos valores. Desse modo, obterá a velocidade real da máquina.
5. Selecione uma ponta de pulverização que garanta o tamanho de gotas e vazão necessários em uma determinada pressão de trabalho. Para isso, faça o cálculo abaixo quanto á vazão.

$$q = \frac{Q * V * E}{600}$$

q = vazão da ponta (L.min)

Q = taxa de aplicação (L.ha)

V = velocidade do pulverizador (Km.h)

E= Espaçamento entre bicos (cm)

6. Verifique as recomendações do fabricante quanto altura de barra para a correta sobreposição dos jatos.
7. Ligue a pulverização e faça uma inspeção visual da pulverização gerada pelas pontas, buscando por falhas ou riscos.
8. Com a pulverização desligada, coloque mangueiras nas pontas de pulverização, direcionando o líquido para baldes ou provetas. Evitar a obstrução dos orifícios laterais em pontas de indução a ar.
9. Em um primeiro momento, deixe os baldes fora da direção da mangueira. Então, ligue a pulverização e o cronômetro e empurre um balde debaixo de cada mangueira a cada 5 segundos. Quando chegar aos 60 segundos, retire o primeiro balde e, novamente, a cada 5 segundos retire balde por balde. Se disponível, é possível utilizar copos graduados que agilizam a leitura dos valores coletados.
10. Com os valores de vazão de cada ponta, verifique se o desvio entre o valor adquirido e a média de todos os valores é superior a 5%. Verifique as causas desse

desvio (por exemplo, perda de pressão). Caso não haja problemas no circuito, substitua as pontas que possuem desvio superior a esse limite.

11. Assim, calcule a taxa de aplicação e verifique se esta é próxima a taxa desejada, utilizando o cálculo:

$$Q = \frac{q * 600}{V * E}$$

CAPÍTULO 10

RESISTÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS A HERBICIDAS

Francielli Santos de Oliveira¹

Guilherme Chudzik²

Laís Sousa Resende³

Leonardo de Oliveira Semensato⁴

Pablo Alves de Sousa¹

Pedro Jacob Christoffoleti⁵

¹Mestrando em Fitotecnia pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP.

²Mestrando no Departamento de Agronomia pela Universidade de Wisconsin-Madison.

³Doutoranda em Fitotecnia pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP).

⁴Acadêmico do curso Bacharelado em Engenharia Agrônômica na Universidade Federal de São Carlos, CCA/UFSCar, Campus de Araras – SP.

⁵PhD. em Weed Science pela Colorado State University - CSU (1992).

Introdução

A conceituação correta do termo resistência de plantas daninhas a herbicidas é importante, pois a partir dela é que se desenvolve todos demais aspectos abordados no capítulo. Também é essencial o entendimento de como uma população com resistência cruzada e múltipla a herbicidas é selecionada, pois com isso podem ser estabelecidas formas corretas de diversificação dos herbicidas em um sistema, que é a base do manejo da resistência em uma área.

A resistência de plantas daninhas a herbicidas é um fenômeno natural, que ocorre em baixa frequência, sendo que a velocidade de seleção das populações resistentes de plantas daninhas é função dos fatores de seleção e da intensidade que são controlados. Há fatores ligados a biologia da planta daninha, outros relacionados a frequência inicial dos indivíduos resistentes na população. Porém, o mais importante é aquele relacionado ao sistema de produção adaptado. Este sim é controlado pelas práticas agrícolas, que quando empregadas de forma adequada pode prevenir ou retardar a seleção de plantas daninhas resistentes.

Também é fundamental que os diagnósticos da frequência e/ou presença de biótipos resistentes de plantas daninhas a herbicidas sejam embasados em princípios corretos de detecção. Nem sempre uma falha de controle por um herbicida significa resistência de plantas daninhas. Assim, é importante que certos protocolos de detecção de resistência sejam seguidos, como os desenvolvidos pelo HRAC-BR (Comitê Brasileiro de Ação a Resistência de Plantas Daninhas a Herbicidas).

Antes do estabelecimento de altas frequências do biótipo resistente de plantas daninhas no campo é importante que medidas preventivas sejam adotadas, sendo, portanto, proativo. No entanto, se a resistência já está estabelecida em uma área, medidas de manejo, de forma reativa têm que ser tomadas, caso contrário o produtor perde produtividade. O princípio básico tanto da prevenção quanto do manejo é diversidade de controle, tanto do sistema de produção e práticas de manejo, como do herbicida aplicado, quer seja em mistura em uma mesma aplicação ou aplicando sequencialmente na cultura ou em culturas em sucessão.

Apesar dos princípios de manejo da resistência serem universais, ou seja, diversidade, cada espécie de planta daninha tem sua particularidade de manejo. O capim-amargoso exige o controle das plantas perenizadas com os herbicidas inibidores da ACCase, além do banco de sementes com residuais. Já a buva em pós-emergência exige auxínicos de alta eficácia e latifolicidas residuais para o banco de sementes. O capim-pé-de-galinha tem como principal preocupação as populações com resistência múltipla ao glifosato e aos inibidores da ACCase. Preocupação esta que também ocorre nas espécies de caruru resistente ao glifosato e aos inibidores da ALS, e mais recentemente relatada a resistência ao glifosato em amendoim-bravo.

Sendo assim, o objetivo deste capítulo é explorar de forma técnica, porém com recomendações práticas o maior desafio que os produtores de grãos enfrenta no momento, que é a resistência de plantas daninhas a herbicidas, principalmente ao glifosato. Neste capítulo, estão detalhados conceitos, formas de detecção, prevenção e manejo, além de indicações práticas de como manejar as principais plantas daninhas resistentes a

herbicidas no Brasil. Dentro de um sistema de produção temos diversos fatores ambientais e de manejo que interferem na população de plantas. A resistência de plantas daninhas a herbicidas ocorre a nível de população, onde o biótipo em questão passa por diversos processos de seleção.

Fatores como regime hídrico, temperatura, manejo de solo, época de semeadura e colheita, são elementos importantes quando se diz respeito a presença de uma planta daninha em determinada área. Embora elementos de manejo não ocorram com o objetivo de controlar plantas daninhas, cada um destes fatores impõe certa pressão de seleção sobre a comunidade de plantas ao longo dos anos, restando apenas plantas daninhas que possuem determinadas características com alta aptidão a este sistema de produção. Semelhante aos fatores ambientais, os herbicidas geram pressão de seleção sobre as plantas daninhas, e acabam por selecionar indivíduos dentro da população que possuem menor suscetibilidade ao herbicida aplicado.

Conceitos iniciais em resistência de plantas daninhas a herbicidas

Uma população de plantas daninhas apresenta naturalmente a maior ou menor tendência de ser impactada após uma aplicação de herbicida. A susceptibilidade de uma planta sofrer ou não injúria está ligada a muitos fatores, dentre eles pode-se citar diferenças morfológicas, fisiológicas e metabólicas.

Neste sentido, tem-se o primeiro conceito importante a ser entendido – a tolerância de plantas daninhas a herbicidas. A tolerância consiste na capacidade inata de uma espécie de planta daninha em sobreviver e se reproduzir após a aplicação do herbicida na dose recomendada, que seria letal a outras espécies, sem alterações marcantes em seu crescimento e desenvolvimento. É uma característica que existe nas plantas antes mesmo da primeira aplicação do herbicida (CHRISTOFFOLETI; LÓPEZ-OVEJERO, 2008).

Um exemplo clássico de planta daninha tolerante é a trapoeraba (*Commelina benghalensis*), planta tolerante ao herbicida glifosato devido às limitações impostas na absorção e translocação do herbicida pela presença abundante de tricomas e cerosidade em suas folhas.

Já a resistência de plantas daninhas a herbicidas pode ser definida como a capacidade de uma planta em sobreviver e se reproduzir após a exposição a uma dose que seria letal para uma população suscetível da mesma espécie (CHRISTOFFOLETI; LÓPEZ-OVEJERO, 2003). Nota-se que o herbicida é um elemento chave na evolução da resistência, uma vez que a confirmação do caso está atrelada a dose do produto aplicado e ao estágio de desenvolvimento da planta daninha no momento da aplicação.

Ao contrário do que se pode pensar, herbicidas atuam apenas como agentes de seleção, e não são capazes de alterar as características genéticas das plantas de modo a “torná-las” resistentes. Assim, seja qual for o mecanismo de resistência que a planta daninha apresente, este caractere é inato, e a exposição ao herbicida apenas o evidencia.

A resistência de plantas daninhas aos herbicidas pode ser classificada quanto ao número de ingredientes ativos e ao mecanismo de ação ao qual pertencem. A resistência simples ocorre quando o biótipo em questão é resistente a apenas um ingrediente ativo. Há também a resistência múltipla, que consiste na ocorrência de resistência a mais de um

ingrediente ativo que pertencem a mecanismos de ação diferentes. Já a resistência cruzada ocorre quando o biótipo é resistente a mais de um ingrediente ativo que pertence ao mesmo mecanismo de ação.

Para exemplificar os tipos de resistência, pode-se citar o registro de resistência simples em buva (*Conyza sumatrensis*) resistente ao glifosato, caso notificado em 2010 no Brasil. Em 1993, houve a notificação do picão-preto (*Bidens pilosa*) resistente a chlorimuron-ethyl, imazaquin, imazethapyr, nicosulfuron, and pyriithiobac-sodium, todos pertencentes ao mecanismo de ação inibição da enzima acetolactato sintase (ALS), indicando um caso de resistência cruzada.

E, como exemplo da resistência múltipla, em 2010 foi registrada a resistência de azevém (*Lolium perenne* ssp. *multiflorum*) a clethodim e glifosato, um inibidor da ACCase e um inibidor da EPSPS, respectivamente. Todos estes casos foram obtidos por uma consulta ao “International Herbicide-Resistant Weed Database” – base de dados de acesso livre onde são compiladas as ocorrências de resistência do mundo.

Dentre os fatores que determinam a evolução da resistência de plantas daninhas a herbicidas dentro de uma população temos a frequência inicial de indivíduos naturalmente resistentes devido a mutações naturais; a pressão de seleção causada pelo herbicida; o número de gerações da planta daninha em que o herbicida foi utilizado; e características biológicas da planta daninha (GRESSEL; SEGEL, 1990).

As plantas daninhas possuem em sua população, naturalmente, indivíduos resistentes que ocorrem devido a variabilidade genética da espécie, e após a aplicação de certo herbicida as plantas suscetíveis desta população serão controladas, assim, ocorre a pressão de seleção sobre os indivíduos resistentes (JASIENIUK *et al.*, 1996). Trata-se de um fenômeno natural que ocorre espontaneamente nas populações, não sendo, portanto, o herbicida o agente causador, mas sim selecionador dos indivíduos que se encontram em baixa frequência inicial (CHRISTOFFOLETI *et al.*, 1994; LÓPEZ-OVEJERO *et al.*, 2006).

A eficácia de um herbicida e sua frequência de uso são importantes fatores que determinam a pressão de seleção que está sendo aplicada sobre a população em questão. Basicamente, herbicidas com alta eficácia de controle são os herbicidas que geram maior pressão de seleção, restando apenas indivíduos resistentes dentro da população aplicada.

Um exemplo a nível de campo relacionado a pressão de seleção foi a adoção de culturas geneticamente modificadas como a soja tolerante ao glifosato (RoundUp Ready). Após a introdução desta tecnologia em 2005, o herbicida glifosato passou a ser amplamente utilizado, devido a diversos fatores, entre eles a alta eficácia no controle de daninhas. Entretanto, a ausência de rotação de princípios ativos e alternativas não químicas de manejo levaram a seleção de populações resistentes ao glifosato em diversas espécies (LÓPEZ-OVEJERO *et al.*, 2019).

Embora as probabilidades de ocorrência de mutações que conferem resistência sejam eventos raros, há uma relação positiva entre o tamanho da população de plantas suscetíveis e a probabilidade de ocorrência de plantas resistentes, ou seja, espécies com maior prolificidade requerem menos gerações expostas ao herbicida, quando comparadas a espécies com populações menos numerosas, para a ocorrência de biótipos resistentes em alta frequência na população (DÉLYE *et al.*, 2013).

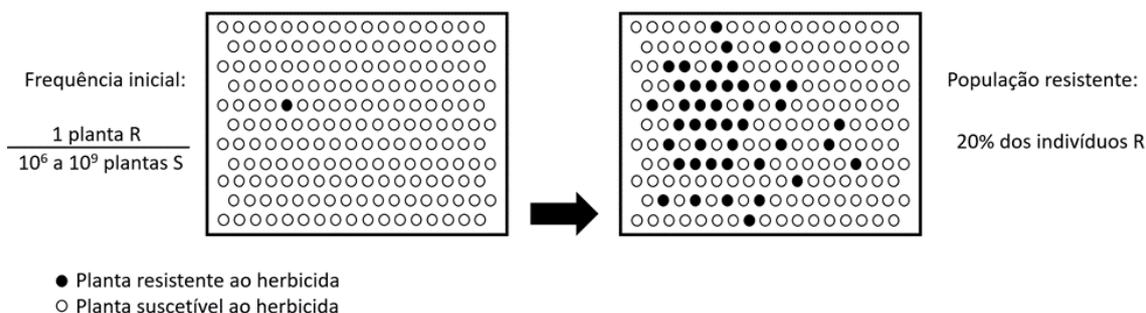


Figura 1. Frequência de plantas daninhas resistentes aos herbicidas ao longo do tempo.

A figura anterior ilustra os conceitos explicados nos parágrafos anteriores, onde a frequência inicial é baixa e após gerações de seleção a frequência de plantas resistentes dentro da população aumenta. Este é um cenário em que a resistência se torna um problema significativo dentro do campo em questão, e a cada geração em que as plantas daninhas são expostas ao herbicida ocorre o controle de plantas suscetíveis e posterior aumento na frequência de plantas resistentes.

Vale ressaltar que o número de gerações necessárias para que a frequência de indivíduos resistentes aumente dentro de uma população é variável. Quanto maior a frequência inicial de plantas naturalmente resistentes e maior a pressão de seleção sobre indivíduos resistentes menos gerações serão necessárias para se atingir uma alta frequência de resistência dentro da população.

Identificação de casos de resistência

Conforme já discutido, a resistência de plantas daninhas a herbicidas surge com o uso intensivo de uma mesma molécula em sucessivas safras, no entanto o herbicida não cria a resistência, e sim apenas promove a seleção de algum biótipo que já estava em frequência muito baixa na área. Nesse sentido somente com o manejo racional e utilizando os vários métodos de controle disponíveis é que a resistência pode ser combatida e a probabilidade do surgimento de novos casos pode ser minimizada (VARGAS; ROMAN, 2006).

Com a chegada da tecnologia Roundup Ready (RR), o herbicida glifosato tornou-se a base do manejo de plantas daninhas, devido ao amplo espectro de ação e grande eficácia para diversas espécies (ALBRECHT, *et al.*, 2013; IKEDA, 2013) na pós-emergência da soja. Contudo, essa centralização trouxe consigo um problema, aplicações excessivas deste mesmo herbicida promoveram a seleção de diversos casos de plantas daninhas resistentes. Essa informação fica mais clara quando se observa que normalmente os agricultores constataam a presença de plantas daninhas resistentes em suas lavouras apenas quando, aproximadamente 30% da comunidade infestante da espécie na área é formada por biótipos resistentes (LEBARON; GRESSEL, 1982). Infelizmente, nesse momento a situação já está bem agravada, e as medidas de contenção do problema tornam-se mais caras e menos eficientes. Para que isso não ocorra, a detecção precoce da resistência através de monitoramento constante das lavouras permite colocar a área suspeita em quarentena e propiciar a erradicação do biótipo selecionado (VIDAL *et al.*, 2006).

A confirmação de plantas daninhas resistentes a herbicidas começa com a correta identificação da espécie no campo, sendo esta etapa fundamental para o sucesso dos passos de confirmação seguintes (HRAC, 2021). Em seguida, outro fator de atenção está na falha de controle que gerou a suspeita de resistência, uma vez que, uma falha de controle de plantas daninhas não significa exatamente que o agricultor está com problemas de biótipos resistentes.

Dessa forma, a resistência só pode ser considerada a causa possível quando todos os outros fatores de ineficácia de um herbicida tiverem sido analisados. Por isso, é importante realizar uma observação cuidadosa de alguns fatores a campo, para que qualquer redução na eficiência do herbicida possa ser detectada (CHRISTOFFOLETI; LÓPEZ-OVEJERO, 2003). Um importante sinal observado no campo que pode reforçar a suspeita de resistência seria a presença de plantas da mesma espécie vivas e mortas lado a lado após a aplicação do herbicida, como pode ser observada na Figura 2.



Figura 2. Plantas de vassourinha-de-botão vivas e mortas lado a lado após a aplicação de glifosato ($1080 \text{ g e.a. ha}^{-1}$).

Segundo Christoffoleti *et al.* (2016) antes de atribuir a resistência de uma planta daninha a herbicidas é importante eliminar outras possíveis causas de controle inadequado:

- 1) Tecnologia de aplicação do herbicida
 - a. Dose inadequada
 - b. Baixa cobertura do alvo ou incorporação insuficiente
 - c. Estádio da planta daninha
 - d. Necessidade do adjuvante
 - e. Excesso de poeira na folha ou água de baixa qualidade usada na calda
 - f. Efeito de cobertura “guarda-chuva” nas aplicações em pós-emergência
 - g. Antagonismo entre dois ou mais herbicidas no tanque de pulverização; e outras causas.
- 2) Solo e/ou condições climáticas
 - a. Umidade excessiva ou solo seco

- b. Condições de preparo do solo no momento da aplicação
- c. Adsorção dos herbicidas no solo e na matéria orgânica
- d. Condições de estresse, tais como quente e seco
- e. Período sem chuva após a aplicação para ativação do herbicida, e outras causas.

Depois de descartadas todas essas possibilidades, as plantas supostamente resistentes são coletadas juntamente com as suas sementes para a realização da confirmação da resistência, sendo comum a utilização de curvas de dose-resposta de herbicidas em condições de campo ou semi-controladas, e caso comprovado e atendendo as definições de Resistência de Plantas Daninhas deve ser enviado para o Comitê de Resistência de Plantas Daninhas da SBCPD (HRAC, 2021). Além disso, na área onde foi identificado a resistência deve ser realizada a erradicação imediata das plantas remanescentes ou usar práticas para reduzir o acréscimo de sementes no solo (dessecação e “rouging”), colocar em prática o programa de manejo de resistência e evitar disseminação das plantas resistentes (VARGAS; ROMAN, 2006).

Manejo da resistência de plantas daninhas a herbicidas

As plantas daninhas possuem diversas características que as tornaram aptas a sobreviver em ambientes extremos com poucos recursos. O uso contínuo da mesma estratégia de controle faz com que as espécies de plantas daninhas menos adaptadas a essas práticas diminuam, ao passo que as mais adaptadas que, normalmente, estavam em menor frequência no início, passam a dominar a área. Isso ocorre porque as plantas daninhas possuem diversas estratégias de sobrevivência às diferentes condições do meio e de manejo agrícola, o que as tornam extremamente competitivas e persistentes no ambiente.

As técnicas de prevenção e manejo da resistência buscam reduzir a pressão de seleção e controlar os indivíduos resistentes antes que eles possam se multiplicar. Para isso recomenda-se reduzir a propagação, a severidade e o impacto econômico da resistência, por meio de boas práticas agrícolas. Nesse sentido, é aplicado principalmente o conceito de diversificação do manejo de forma a utilizar várias estratégias de controle na propriedade. A rotação de culturas é um exemplo, e permite o uso de herbicidas com diferentes mecanismos de ação na área. Essa estratégia é importante para modificar as condições em que as plantas daninhas crescem, como a variação do espaçamento que contribui para a redução da interferência da planta daninha sobre a cultura. Por meio dessa prática previne-se a seleção dos biótipos resistentes, assim como facilita o manejo dos biótipos existentes na área.

Outro fator a ser considerado para o manejo de biótipos resistentes é o arranquio de plantas de difícil controle. Em condições de alta infestação, é importante a retirada das plantas que sobreviveram ao controle químico da área antes da produção de sementes, pois estas podem facilmente rebrotar de caules remanescentes da capina, assim como se restabelecer pelo contato do solo com a raiz arrancada ou mesmo pela emissão de raízes em partes da planta em contato com o solo (IKEDA *et al.*, 2019). Essas plantas arrancadas devem ser queimadas ou enterradas em altas profundidades.

Uma forma de dispersão de plantas daninhas resistentes é por meio de maquinários, principalmente por colhedoras. Para evitar a dispersão para outros talhões ou propriedades vizinhas é recomendado que o produtor programe a colheita das áreas de alta infestação por último para não espalhar sementes para outras áreas. Além disso, ressalta-se a importância da limpeza de maquinários para evitar a introdução de biótipos na área e reduzir o acréscimo de sementes ao banco. Um biótipo resistente com suspeita de introdução no Brasil por colhedoras de algodão sujas, se refere a *Amaranthus palmeri*. Outra via de introdução e disseminação de plantas daninhas é por meio das sementes da própria cultura. Por isso, é sempre recomendado utilizar sementes certificadas para que a produção agrícola não seja prejudicada ou inviabilizada.

Para suprimir as plantas daninhas, pode-se citar o uso de plantas de cobertura devido ao impedimento físico, a redução das oscilações de temperatura e da qualidade da luz incidente no solo (JHA *et al.*, 2010). Essa estratégia é uma boa opção principalmente na entressafra. Nesse período há a multiplicação de muitas espécies enriquecendo o banco de sementes e a pressão de infestação. Com essa estratégia evita-se a introdução de novas sementes no banco prevenindo infestações futuras. Como o período de entressafra em muitas regiões é caracterizado por baixa precipitação, uma boa opção de planta de cobertura para se utilizar é o capim-braquiária. Essa planta de cobertura proporciona excelente cobertura do solo e alta produção de massa.

A inserção do uso de herbicidas residuais nos programas de manejo é interessante devido ao controle das plantas daninhas em estádios iniciais de desenvolvimento favorecendo a dianteira competitiva da lavoura e reduzindo as aplicações em pós-emergência. Isso pode ser explicado devido a atividade residual desses herbicidas que controla os primeiros fluxos germinativos e flexibiliza a aplicação de herbicidas pós-emergentes. Outra prática envolvendo os herbicidas pré-emergentes é a aplicação de dois ou mais herbicidas para que haja a sobreposição do residual. Essa estratégia se baseia em aplicar um herbicida residual e antes que esse residual termine e novas plantas germinem, é realizada a aplicação de um segundo herbicida para sobrepor o residual do primeiro. Essa sobreposição, também chamada de “overlapping” permite que o solo fique “limpo” por mais tempo e previne a matocompetição precoce.

Considerando que o uso de herbicidas é o principal método de controle utilizado devemos considerar alguns aspectos para o manejo racional desses produtos. Para o controle químico é recomendado estádios de desenvolvimento iniciais, sendo o recomendado de 2-4 folhas, pois a eficácia dos herbicidas é reduzida com o desenvolvimento das plantas. Para a escolha do herbicida correto deve-se considerar espectro de controle das plantas daninhas alvo na área, seletividade para a cultura, alta eficácia, viabilidade econômica e ambiental, além de observar se há “carryover” para o próximo cultivo. No caso de plantas daninhas em estádios mais tardios o produtor pode optar por aplicações sequenciais, principalmente nas dessecações pré-plantio. Para isso é realizado na primeira aplicação a associação de herbicidas sistêmicos, e após 10 a 15 dias utiliza-se um herbicida de contato.

O monitoramento de plantas daninhas resistentes nos talhões deve ser realizado frequentemente observando-se principalmente a presença de escapes e reboleiras. Destaca-se também a ocorrência dessas plantas daninhas em áreas não agricultáveis como

beiradas de estradas, canais de irrigação, cercas que podem servir de foco de contaminação para outras áreas, sendo necessário a eliminação dessas plantas.

A diversificação de manejo é de extrema importância para produtores e para a indústria de insumos, pois previne os casos de resistência e permite que estratégias para o manejo dessas plantas daninhas sejam implementados visando a sustentabilidade da produção agrícola.

Capim-amargoso (*Digitaria insularis*)

No passado, o capim-amargoso era uma planta daninha secundária, infestando terrenos baldios e culturas abandonadas, principalmente pomares. No entanto, sua adaptabilidade ecológica, variabilidade genética, e a dinâmica populacional imposta pelo uso sucessivo do glifosato, tornou as populações resistentes a este herbicida de alta frequência nas culturas de grãos, especialmente na soja e milho, além da cultura de algodão, e nas perenes citros e café.

Dentre as características biológicas que torna o capim-amargoso difícil de ser controlado destacam-se um alta prolificidade, com sementes de alta dispersabilidade, além de perenizar, produzindo rizomas em abundância. Estas duas características tornam uma infestante de ocorrência generalizada no país, germinando o ano todo. Os rizomas por sua vez, exigem para seu controle, que os herbicidas pós-emergentes utilizados sejam de translocação, e os residuais de alta eficácia e de longo residual.

A alta frequência de indivíduos resistentes nas áreas agrícolas levou os sistemas de manejo a adotarem herbicidas alternativos, aplicados em condições de pós-emergência, como os inibidores da ACCase. Esta classe de herbicidas apresenta translocação na planta de capim-amargoso, porém quanto mais avançado for o estágio de perenização da planta daninha, mais difícil se torna o controle, exigindo aplicações sequenciais.

Nas aplicações sequenciais de plantas perenizadas e já em estádios avançados de crescimento, resultados melhores têm sido obtidos quando o glifosato é associado ao inibidor da ACCase, na primeira aplicação, e na segunda é usando um produto de contato, como diquat ou glufosinato de amônio. Em situações de estádios muito avançados de crescimento, o controle total destas plantas, quando na cultura da soja, só vai ocorrer mesmo dentro da cultura com uma terceira aplicação de um inibidor da ACCase.

É importante atentar que devido à alta prolificidade da planta daninha, herbicidas residuais com ação no banco de semente não dormente devem ser utilizados. Este herbicida pode ser aplicado junto com o produto de contato, nas áreas onde há aplicação sequencial do pós-emergente, ou logo após a semeadura da cultura, no caso da soja.

Dentre os herbicidas residuais destacam se o S-metolachlor, clomazone, flumioxazina, pyroxasulfone, diclosulan, dentre outros. No entanto, para o bom funcionamento destes herbicidas destaca se a observância da dose, de acordo com a textura do solo, bem como as condições hídricas do solo, pois geralmente estes herbicidas têm melhor eficácia de ativação no solo, quando este está úmido.

Além das medidas químicas, práticas integradas de manejo devem ser adotadas pelo produtor no manejo do capim-amargoso. No preparo do solo, mesmo sendo áreas de adoção do plantio direto, o arranquio mecânico das touceiras pode ser uma ferramenta

interessante de manejo, pois o capim-amargoso é bastante sensível ao distúrbio mecânico. A roçagem mecânica pode ser também uma prática interessante, quando as plantas perenizadas de amargoso estão estressadas, assim, a roçagem pode estimular a brotação e facilitar a ação dos herbicidas pós-emergentes, principalmente os inibidores da ACCase.

A formação de palhada, a partir de uma cultura de cobertura, como a braquiária, sorgo ou cereais de inverno, ajuda no controle de capim-amargoso. Este controle é obtido tanto no momento que a cultura está estabelecida, pois não deixa espaço para o capim-amargoso desenvolver se, ou mesmo a palhada formada após a dessecação desta cultura de cobertura pode reduzir a germinação do banco de sementes pelo efeito físico, químico ou biológico exercido sobre as sementes do capim-amargoso.

O correto espaçamento da cultura, população adequada de plantas, e outras práticas culturais também ajudam, de forma integrada o manejo de plantas daninhas. No entanto, o fator que mais contribui para a diversificação do sistema é a rotação de mecanismos de ação. Assim, segue a lista dos principais herbicidas utilizados nas culturas de soja e de milho que apresentam ação sobre o capim-amargoso (Quadro 1).

Quadro 1. Herbicidas que apresentam ação sobre capim-amargoso e que são utilizados nas culturas de soja e milho.

Inibidores da ACCase – (Acetil CoA carboxilase – A/1)
Clodinafope-propargil; fenoxaprop-p-etílico, haloxyfop-p-metílico, quizalofop-p-etílico, quizalofop-p-tefurílico, cletodim e setoxidim
Inibidores da ALS – (Acetolactato Sintase – B/2)
Imazetapir e diclosulam
Inibidores do fotossistema II (C1/5)
Diuron
Inibidores da Protox (E/14)
Flumioxazin
Inibidores da HPPD (4-hidroxifenil-piruvato-dioxigenase – F2/28)
Isoxaflutole, mesotrione e tembotrione
Inibidores da DOPX (Desoxi-D-xilulose fosfato – F4/13)
Clomazone
Inibidores da EPSPS (Enol-piruvil-chiquimato-sintetase – G9/17)
Glifosato
Inibidores da GS (glutamina sintetase H/10)
Glufosinato de amônio
Inibição da DHP (/18)
Azulam
Inibição da divisão celular (tubulina K3/15)
Pendimethalina, trifluralina
Inibição da síntese de ácidos graxos de cadeia longa (K3/15)
Acetochlor, alachloro, S-Metolachloro
Inibição da síntese de celulose (L/29)
Indaziflam

Desconhecidos (Z/17)
MSMA

BUVA (*Conyza* spp.)

Nos diversos ambientes agrícolas distribuídos de norte a sul do Brasil, apresentam em comum a presença de buva (*Conyza* spp.) nas áreas de cultivo. Uma planta que foi anteriormente considerada uma espécie infestante secundária, tornou-se uma das principais plantas daninhas distribuídas ao redor do mundo (DAN *et al.*, 2013). Esta planta daninha pertence à família Asteraceae, sendo representada principalmente pelas espécies *Conyza canadenses*, *C. bonariensis* e *C. sumatrensis*, sendo amplamente dispersas, causando perdas significativas de produção nas mais variadas culturas (BAJWA *et al.*, 2016). Mesmo tratando-se de três espécies diferentes, estas possuem grande similaridade e possibilidade de hibridação entre elas (MAROCHIO *et al.*, 2017), o que leva a uma dificuldade de identificar corretamente qual a espécie presente no campo.

Além disso, as espécies de gênero *Conyza* se destacam pela habilidade reprodutiva e à diversidade genética, o que facilita o aparecimento de biótipos com resistência a herbicidas e dificulta seu manejo (DAN *et al.*, 2013). A maior diversidade genética promovida pela hibridação entre espécies torna-se um fator relevante para entender a grande quantidade de casos de biótipos resistentes a herbicidas, e em alguns casos a mais de um mecanismo de ação.

Um exemplo foi o relato de um biótipo da espécie *C. sumatrensis* no estado do Paraná com resistência múltipla a glifosato, 2,4-D, saflufenacil, diuron e paraquat (HEAP, 2022), reduzindo drasticamente as opções de controle para esta planta daninha no campo. Além de restringir as opções de controle, a resistência de plantas daninhas a herbicidas promove um aumento significativo nos custos de manejo, sendo estimado um aumento de 42 a 290% nos custos de produção dependendo das espécies presentes na área (ADEGAS *et al.*, 2017).

O desenvolvimento da tecnologia Roundup Ready (RR), vista como a solução dos problemas com plantas daninhas da época, tornando possível a utilização de um único produto (glifosato), de amplo espectro de ação e grande eficiência para o manejo de várias espécies resistentes (ALBRECHT *et al.*, 2013; IKEDA, 2013). No entanto a simplificação do manejo proporcionada pelo herbicida glifosato tornou-se a condição necessária para o aparecimento de diversos biótipos resistentes a este herbicida, uma vez que o manejo se resumia a esta única molécula na pós-emergência do cultivo das variedades RR.

Além disso, os problemas com plantas daninhas resistentes a herbicidas, em especial o glifosato, não estão restritos a um estado ou cidade, e sim encontram-se distribuídos em diversas áreas agrícolas no país. Em um monitoramento realizado em nove estados brasileiros por Mendes *et al.* (2021) observaram nas amostras de *Conyza* spp. uma frequência de 71% com resistência ao glifosato e de 39% ao chlorimuron entre os anos de 2014 e 2018. O que evidencia a disseminação de biótipos resistentes a herbicidas em áreas agrícolas brasileiras.

Então, após identificado e confirmado a presença de biótipos de buva resistentes a herbicidas na propriedade, a próxima etapa começa com a escolha do correto manejo sobre esta planta daninha. Vale ressaltar que além da correta escolha de herbicidas, outro fator de extrema atenção seria o estágio de crescimento, nesse sentido as aplicações realizadas durante o inverno tornam-se mais eficientes, já que a buva é mais sensível aos produtos em estádios iniciais de desenvolvimento (VARGAS *et al.*, 2016). Esse fato torna-se importante devido ao maior fluxo de emergência dessa planta daninha estar localizado nos meses de outono/inverno, havendo crescimento das plantas durante o pousio, logo, na dessecação pré-plantio esta espécie encontra-se em estágio de crescimento avançado, provocando falhas de controle, e havendo rebrota em meio a cultura da soja (CONSTANTIN *et al.*, 2013).

Nesse sentido, considerando que todos os critérios para uma aplicação eficiente estão sendo realizados, em condições que ocorra a presença de biótipos buva resistente ao herbicida glifosato na propriedade, as alternativas de manejo podem ser de glufosinato de amônio isolado ou associado a MSMA, bromacil+diuron, metsulfuron, carfentrazone (MOREIRA *et al.*, 2010), 2,4-D e dicamba associados com saflufenacil (PRETTO *et al.*, 2020).

Vale a pena lembrar que apesar da ineficiência do herbicida glifosato a estes biótipos resistentes, é recomendado adicioná-lo a aplicação em virtude da presença de outras espécies daninhas da área que são susceptíveis ao herbicida. No caso da presença de biótipos de buva com resistência múltipla, como o caso da *C. sumatrensis* resistente ao glifosato, 2,4-D, saflufenacil, diuron e paraquat (HEAP, 2022), as alternativas de controle são os herbicidas dicalma, glufosinato de amônio e atrazina (SOUZA *et al.*, 2019).

Capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*)

O capim-pé-de-galinha é uma gramínea anual que apresenta um ciclo de 120 a 180 dias (TAKANO *et al.*, 2016), o qual é influenciado pela precipitação pluvial e pela temperatura do ar, sendo mais longo quanto mais frio e seco estiver o ambiente. Trata-se de uma planta autógama, que se reproduz via sementes e que pode produzir até 40 mil unidades (KISSMANN, 2007). Também é uma planta bastante adaptável as condições adversas de solo compactado e com baixa fertilidade.

Esta planta apresenta ampla distribuição ao redor do mundo, e no Brasil pode ser encontrada de norte a sul em áreas agrícolas e não agrícolas. Atualmente, existem 37 casos de resistência registrados no mundo, sendo 3 deles no Brasil (HEAP, 2022). Do total de casos relatados para esta espécie, 43% apresentam resistência ao glifosato, mas outra grande preocupação é ocorrência de casos de resistência múltipla, principalmente entre glifosato e inibidores da ACCase.

Ainda de acordo com Heap (2022), em 2017, houve o relato da resistência múltipla de capim-pé-galinha a glifosato, fenoxaprop e haloxyfop em uma população proveniente do Mato Grosso. Tais ingredientes ativos são bastante utilizados para o controle de plantas daninhas nas culturas de grãos, em especial da soja, e um estudo com produtores do Rio Grande do Sul apontou que entre os anos de 2008 e 2009, 69% dos produtores de soja

entrevistados afirmaram cultivar o grão em safras consecutivas durante 5 a 10 anos (ULGUIM *et al.*, 2013).

Conforme apresentado ao longo do capítulo, quanto menor for a diversidade de práticas no controle de plantas daninhas, maior será a pressão de seleção exercida sobre a resistência. Neste sentido, quando se cultiva uma área com a mesma cultura por vários anos consecutivos, a disponibilidade de diferentes ingredientes ativos fica limitada.

Vale lembrar também que ingredientes ativos diferentes, pertencentes ao mesmo mecanismo de ação, podem exibir respostas distintas quanto ao controle de plantas daninhas. Dois biótipos de capim-pé-de-galinha provenientes de áreas agrícolas do Maranhão, suspeitos de resistência a herbicidas inibidores da ACCase, exibiram comportamento diferencial quanto a resposta frente a aplicação de clethodim (0,4 L p.c. ha⁻¹) e haloxyfop (0,45 L p.c. ha⁻¹). Apesar de apresentar sinais de injúria, as plantas dos biótipos suspeitos (S1 e S2) submetidas a aplicação de haloxyfop foram capazes de sobreviver e emitir suas inflorescências aos 35 DAA, enquanto o padrão suscetível foi controlado com eficácia. Porém, quando aplicado o herbicida clethodim, nenhum dos biótipos sobreviveu (Figura 3).

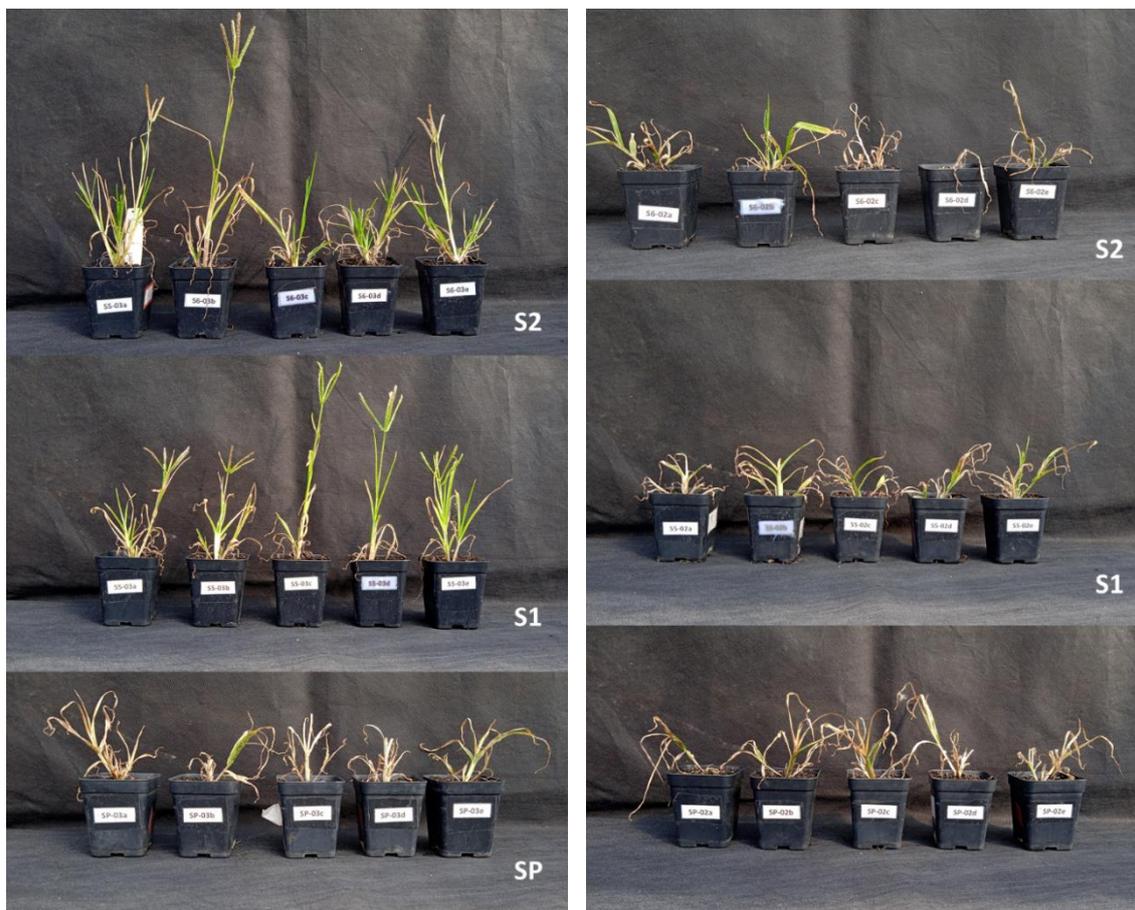


Figura 3. Eficácia de haloxyfop (a) e clethodim (b) sobre biótipos capim-pé-de-galinha suspeitos de resistência (S1 e S2) e suscetível (SP) provenientes do Maranhão.

Outro estudo considerou 6 biótipos provenientes do Mato Grosso, e verificou que todos os materiais apresentaram resistência ao haloxyfop, sendo que dois acessos também demonstraram resistência ao clethodim, ou seja, seriam casos de resistência cruzada

(NUNES *et al.*, 2022). Assim, com tantos relatos de resistência de capim-pé-de-galinha ao glifosato e aos inibidores da ACCase, estudos que avaliam a eficácia de controle por outros herbicidas têm sido conduzidos.

O herbicida indaziflam (70 g i.a. ha⁻¹), aplicado em pré-emergência, controlou o capim-pé-de-galinha efetivamente (McCULLOUGH *et al.*, 2013). No entanto, no Brasil este ingrediente ativo apresenta registro apenas para culturas perenes e semi-perenes, como citros, café e cana-de-açúcar. Na cultura da soja, foi verificado que a aplicação de diclosulam (35 g i.a. ha⁻¹) no dia da semeadura propiciou elevado controle do capim-pé-de-galinha até 45 DAA (MINOZZI *et al.*, 2017). Para o também pré-emergente sulfentrazone, ambos os autores verificaram o controle inconsistente do capim-pé-de-galinha. Segundo Minozzi *et al.* (2017), o flumioxazin não foi eficaz para o controle desta planta daninha. No entanto, a mistura entre flumioxazin e pyroxasulfone (200+200 g i.a. ha⁻¹) foi efetiva no controle de capim-pé-de-galinha até 150 DAA na cultura do café.

Existem também opções para aplicação de pós-emergência. Neste caso, é de extrema importância se atentar para o estágio de desenvolvimento da planta daninha, uma vez que quanto mais avançado for seu desenvolvimento, menor tende a ser a eficácia dos herbicidas, especialmente os de contato, como o glufosinato de amônio (TAKANO *et al.*, 2018).

As misturas atrazine+mesotrione (1500+120 g i.a. ha⁻¹), atrazine+tembotrione (1500+75,6 g i.a. ha⁻¹), atrazine+mesotrione+nicossulfuron (1500+120+6 g i.a. ha⁻¹) e glifosato+nicossulfuron (960+60 g i.a. ha⁻¹) foram eficazes no controle do capim-pé-de-galinha quando aplicados no estágio de emissão de um perfilho (TAKANO *et al.*, 2018). No entanto, ainda segundo os autores, aplicações realizadas sobre plantas que haviam emitido 4 perfilhos tiveram reduções de 15 a 30% em sua eficácia aos 28 DAA, mais uma vez indicando a importância do estágio de desenvolvimento para o sucesso do controle químico de plantas daninhas.

CARURU (*Amaranthus spp.*)

O gênero *Amaranthus* é composto por 60 espécies, das quais aproximadamente 20 possuem importância como plantas daninhas nos cultivos agrícolas em regiões tropicais e subtropicais (KISSMANN; GROTH, 1997). No Brasil, aproximadamente de 10 espécies tem ocorrência, sendo as mais encontradas: *A. hybridus* (caruru-roxo ou verde), *A. deflexus* (caruru-rasteiro), *A. lividus* (caruru-folha-de-cuia), *A. retroflexus* (caruru-gigante), *A. spinosus* (caruru-de-espinho) e *A. viridis* (caruru-de-mancha) (CARVALHO, 2006). Os carurus são caracterizados como plantas de difícil manejo, devido ao extenso período de germinação do banco de sementes, rápido crescimento e desenvolvimento, elevada produção de sementes viáveis e longa viabilidade de suas sementes no solo (HORAK; LOUGHIN, 2000; CARVALHO *et al.*, 2015).

Além das características citadas, a ocorrência de biótipos resistentes no campo atribui grande importância ao gênero *Amaranthus*. No Brasil, quatro espécies de *Amaranthus* estão envolvidas com resistência a herbicidas (HEAP, 2022). O primeiro relato de resistência de *Amaranthus* no Brasil se refere a *Amaranthus viridis* resistente aos herbicidas inibidores de ALS e FSII (FRANCISCHINI *et al.*, 2014; HEAP, 2022).

Posteriormente, foi relatado *Amaranthus retroflexus* com resistência múltipla a herbicidas inibidores de ALS e FSII, e outro caso de resistência a herbicidas inibidores da Prototox também foi relatado no Brasil (HEAP, 2022). Outro caso preocupante se refere a *Amaranthus palmeri*.

Essa planta daninha não nativa do Brasil foi encontrada pela primeira vez em lavouras de algodão do Mato Grosso. Segundo Netto *et al.* (2016), o biótipo possui elevado nível de resistência ao glifosato (DL50 = 8406.76 g e.a. ha⁻¹), e ainda resistência cruzada aos herbicidas inibidores da ALS entre os grupos químicos sulfonilureias, triazolpirimidinas e imidazolinonas. O relato mais recente de resistência se refere a planta daninha *Amaranthus hybridus* com resistência múltipla ao glyphosate e a herbicidas inibidores de ALS, encontrado em lavouras de soja no Paraná (PENCKOWSKI; MASCHIETTO, 2019).

Resende *et al.* (2022) estudando populações de *A. hybridus* encontraram elevado GR50 para o glyphosate (3019,13 – 3316,45 g e.a. ha⁻¹), enquanto a população suscetível exibiu GR50 igual a 227,63 g e.a. ha⁻¹. Os casos de resistência do gênero *Amaranthus* são preocupantes, pois pode ocorrer a hibridação interespecífica e a transferência do gene de resistência à herbicidas a outras espécies de caruru (GAINES *et al.*, 2011).

LEITEIRO (*Euphorbia heterophylla*)

O leiteiro tem sua origem nas regiões tropicais e subtropicais da América, embora sejam observadas regiões com altos níveis de infestação, a espécie pode ser encontrada em todas as regiões agrícolas do país. Se trata de uma planta de fotossíntese pelo ciclo C4 com crescimento anual, seu caule é cilíndrico e herbáceo, seus entrenós são ocos e apresentam alta produção de látex, o porte desta espécie pode variar bastante de acordo com as condições de desenvolvimento, porém geralmente são observadas plantas de 40 a 60 cm (BRIGHENTI; OLIVEIRA, 2011; KISSMANN; GROTH, 1995).

A reprodução do leiteiro ocorre exclusivamente por sementes, após a sua dispersão é originado o banco de sementes no solo, que será a principal fonte das plantas que infestarão a área no ano seguinte. As sementes podem germinar em até 12 cm de profundidade, sendo que a germinação pode ocorrer de forma escalonada, ocasionando várias gerações em um único ano (BRIGHENTI; OLIVEIRA, 2011; GAZZIERO *et al.*, 2015).

A espécie apresenta uma boa capacidade de adaptação a adversidades, quando eliminadas as gemas que determinam a dominância apical (como no caso de uma roçagem no campo), o leiteiro tem a formação de gemas adventícias ao longo do colmo gerando novas folhas e ramos, já no caso da aplicação de herbicidas de contato, uma vez que a planta apresenta mais de quatro folhas desenvolvidas no momento da aplicação, pode ser observada a recuperação da planta, principalmente quando exposta a alta luminosidade (KISSMANN; GROTH, 1995).

O leiteiro apresenta características determinantes para o seu sucesso como planta daninha, afinal, o conjunto de atributos apresentados por esta espécie confere a capacidade de adaptar ao ambiente e cultura na qual está situado, portanto, se torna uma espécie oportunista e de difícil controle (ADEGAS *et al.*, 2020).

No Brasil temos registro de três casos de leiteiro resistente a herbicidas, sendo eles; resistência a glifosato (inibidores da EPSPs); inibidores da acetolactato sintase (ALS) como clorimurrom e imazamox; e resistência cruzada aos inibidores da ALS e inibidores da protoporfirinogênio oxidase (PROTOX) como fomesafem e saflufenacil (HEAP, 2022). Os casos de resistência presentes no Brasil são oriundos de áreas de produção de milho e soja na região sul do país (ADEGAS et al., 2020; GELMINI *et al.*, 2005; TREZZI et al., 2005).

Trezza *et al.* (2005) relataram a ineficácia de fomesafem no controle de biótipos de *E. heterophylla* coletados nos estados de Paraná e Santa Catarina, porém, outros inibidores da Protox foram capazes de controlar a planta daninha quando aplicados em pré emergência. Trezza *et al.* (2005) relataram diferentes níveis de resistência de *E. heterophylla* aos herbicidas fomesafem e imazamox de acordo com a temperatura do ambiente, isto é, além de fatores relacionados a planta daninha em questão, o ambiente pode exercer influência na eficácia do herbicida.

Em ensaios realizados por Vidal *et al.* (2007) com *E. heterophylla* resistente ao glifosato, foi observado a rebrota de meristemas em plantas expostas ao herbicida, onde os meristemas provenientes do rebrote começaram a florescer 40 dias após a aplicação de glifosato.

A associação de saflufenacil com outros herbicidas é uma prática comum, utilizada para aumentar o espectro de ação da aplicação e evitar a seleção de biótipos resistentes a herbicidas. A associação de saflufenacil com clomazone ou metribuzim se mostrou como uma mistura sinérgica no controle de *E. heterophylla* (DIESEL *et al.*, 2018).

CAPÍTULO 11

POTENCIAL DE PRODUTIVIDADE DE CULTURAS AGRÍCOLAS E A INTERFERÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS

Andre da Rosa Ulguim¹

Sylvio Henrique Bidet Dornelles²

Isabela Bulegon Pilecco³

José Eduardo Minussi Winck⁴

Roberto Avila Neto⁵

Alencar Junior Zanon⁶

¹Professor Adjunto no Departamento de Defesa Fitossanitária, Universidade Federal de Santa Maria.

²Professor Associado do Departamento de Biologia/CCNE, Universidade Federal de Santa Maria.

³Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria.

⁴Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Santa Maria, sócio-proprietário da empresa Crops Team e da Plataforma Árion Carbon Store.

⁵Professor da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), Campus Santo Ângelo.

⁶Professor Adjunto no Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria.

Estimativas de que a população mundial será de 9,7 bilhões de pessoas em 2050 trazem preocupações relacionadas à capacidade de produzir alimentos suficiente para atender essa crescente demanda (MARIN *et al.*, 2016). Além do aumento populacional, também deve-se considerar as mudanças no estilo de vida e nos hábitos alimentares, principalmente nos residentes urbanos de maior renda dos países em desenvolvimento, que estão consumindo mais alimentos de origem animal (HE *et al.*, 2021). Esse aumento na demanda global por carne gera um aumento na demanda por grãos que fazem parte das rações animais, como soja e milho (CHEN *et al.*, 2014).

A produção de grãos pode aumentar de duas maneiras: pela expansão da área de cultivo ou através de ganhos de produtividade. O primeiro caminho pode causar o desmatamento acelerado, já que as áreas onde é possível expandir a agricultura estão sob as florestas tropicais da América do Sul e África, assim, são áreas de alto valor social, econômico e ecológico (HOANG; KANEMOTO, 2021). Por isso, o segundo caminho (verticalização) é o mais aceito do ponto de vista ambiental. No entanto, a rápida intensificação da produção pode levar a uma dependência excessiva de insumos, como aconteceu com a produção de arroz no sul do Vietnã no final da década de 1990, resultando no aumento do custo de produção e, que possuem um alto impacto ambiental, se usados de forma inadequada (STUART *et al.*, 2016). Dessa forma, além de aumentar a produtividade das culturas, é necessário buscar a eficiência do uso de recursos e lucratividade da agricultura (SILVA *et al.*, 2022).

Nesse sentido, buscamos a intensificação sustentável da produção agrícola, ou seja, produzir mais alimentos nas terras agrícolas existentes, melhorando a eficiência do uso de recursos (GRASSINI, 2014). Estudos sobre o potencial de produtividade (Pp), o potencial de produtividade limitado por água (Ppa) e as lacunas de produtividade (Lp) são fundamentais na busca pela intensificação sustentável dos sistemas, pois possibilitam a identificação dos fatores biofísicos e de manejo que influenciam nas produtividades médias (VAN ITTERSUM *et al.*, 2013).

Através desses estudos é possível identificar quais as regiões ou sistemas de produção devem ser priorizados para aumentar com sucesso a produção de alimentos, uma vez que locais com grande Lp possuem mais oportunidades de aumento da produção através do aumento da produtividade (OORT *et al.*, 2017). Para tal, foi criado em 2011, a plataforma *Global Yield Gap Atlas* (GYGA - www.yieldgap.org), que tem como objetivo determinar o quanto é possível produzir de alimentos na atual área agricultável no mundo. Do ponto de vista agrônomo, esse é o maior esforço global de intensificação sustentável da produção de alimentos e está presente em mais de 70 países responsáveis por mais de 91, 86, 58 e 82% da produção global de arroz, milho, trigo e soja, respectivamente.

O potencial de produtividade é definido pela quantidade de radiação solar incidente, água disponível, concentração de CO₂ atmosférico, temperatura do ar e as características genéticas de uma cultivar que determinam o máximo que a cultura pode produzir (CASSMAN *et al.*, 2003). O potencial de produtividade limitado pela água é considerado quando não há suprimento total das necessidades de água da cultura pela precipitação natural em determinada região (VAN ITTERSUM *et al.*, 2013).

Assim, a água e nutrientes são fatores que limitam o potencial de produtividade das culturas. Alcançar os potenciais de produtividade é muito difícil, mesmo em parcelas experimentais, pois inúmeros fatores reduzem a produtividade das culturas (plantas daninhas, insetos, doenças, sistema de cultivo, densidade de semeadura, época de semeadura, nutrição, por exemplo). Sabemos que a busca pela obteção do Pp ou Ppa não é rentável, dessa forma, consideramos que as máximas produtividades economicamente viáveis de serem atingidas em lavouras estão entre 70 e 85% do Pp ou Ppa de cada cultura, de acordo com a utilização ou não de irrigação e com o acesso a insumos, mercado e informação técnica (MONZON *et al.*, 2021).

A produtividade média (Pm) é a produtividade alcançada nas lavouras comerciais de uma determinada região, refletindo os solos, o clima, a utilização de tecnologia e as habilidades médias dos produtores. Ressaltamos que, a nível de país, é inviável economicamente e ambientalmente (disponibilidade de água) que todas as lavouras sejam irrigadas, por isso, consideramos que a lacuna possível de ser atingida através de melhorias nas práticas de manejo é aquela representada pela diferença entre 70 a 85% do Ppa e a Pm (Figura 1).

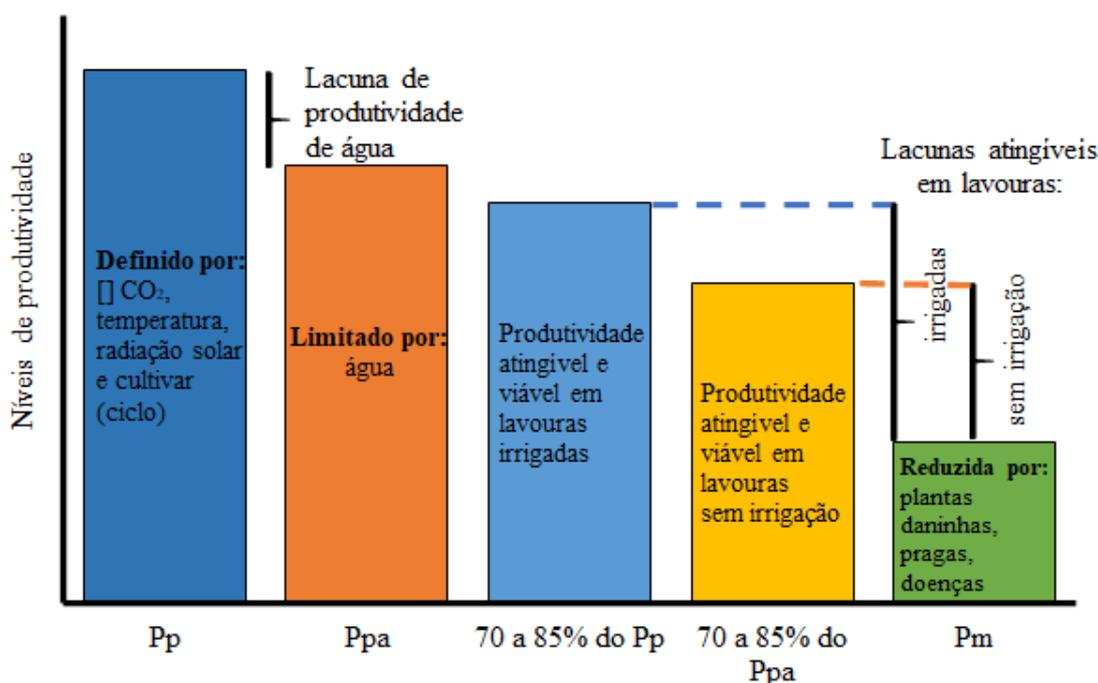


Figura 1. Níveis de produtividade determinados pelos fatores que definem, limitam e reduzem a produtividade.

O potencial de produtividade (Pp) é considerado para lavouras em que é realizada a irrigação, ou seja, sem limitações por deficiência ou excesso de água. Para lavouras não irrigadas (condições de sequeiro), o potencial de produtividade é limitado pela água (Ppa). A produtividade atingível e economicamente viável em lavouras comerciais está relacionada com a obtenção de 70 a 85% do Pp ou Ppa (encerramento das lacunas atingíveis), de acordo com o uso ou não de irrigação. A produtividade média (Pm) é a produtividade atual das culturas. Adaptado de Van Ittersum *et al.* (2013).

Nos países em desenvolvimento, em geral, as lacunas de produtividade tendem a ser maior do que naqueles desenvolvidos, uma vez que o nível tecnológico das lavouras é mais baixo devido ao alto custo de produção, ou mesmo pela menor capitalização dos agricultores (www.yieldgap.org). No Brasil, os potenciais e as lacunas de produtividade já foram estimados para cana-de-açúcar (MARIN *et al.*, 2016), soja (TAGLIAPIETRA *et al.*, 2021), milho (ANDREA *et al.*, 2018) e arroz irrigado (RIBAS *et al.*, 2021). Neste capítulo iremos destacar o Pp, o Ppa e a Lp de soja, milho e arroz irrigado no Brasil. Devido a extensão territorial do Brasil, há uma grande variabilidade climática, assim, há diferentes potenciais de produtividade nas regiões produtoras de grãos.

O Pp e o Ppa de soja no Brasil são de 6,7 e 5,5 t ha⁻¹, respectivamente (TAGLIAPIETRA *et al.*, 2022). Percebemos uma variação de Pp de 5,7 a 7,5 t ha⁻¹ nas regiões brasileiras, sendo superior em locais de menor latitude (Sul) e inferior em locais de maior latitude (Norte), explicada pela diferença no coeficiente fototérmico entre as regiões. Em relação ao Ppa, a variação é de 3,1 a 6,9 t ha⁻¹, sendo que os maiores valores encontrados na Região Centro-Oeste e os menores na Região Sul, devido a quantidade e distribuição das chuvas ao longo do ciclo da cultura (TAGLIAPIETRA *et al.*, 2022) (Figura 2). Fatores de manejo como a época de semeadura e escolha do grupo de maturação relativa (genética) são formas de aumentar o potencial produtivo e a produtividade média das lavouras de acordo com cada região, pois possibilitam ajustar o momento de máxima área foliar com a maior disponibilidade de radiação solar, que ocorre entre dezembro e janeiro.

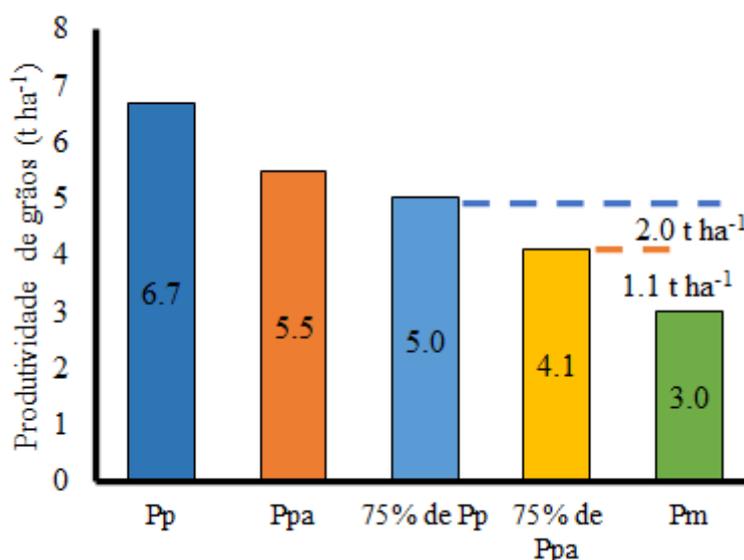


Figura 2. Potencial de produtividade (Pp), potencial de produtividade limitado por água (Ppa), produtividades atingíveis e economicamente viáveis a nível de lavoura (75% do Pp e do Ppa) e lacunas de produtividade atingível com irrigação (diferença entre 75% do Pp e a Pm) (2,0 t ha⁻¹) e sem irrigação (diferença entre 75% do Ppa e a Pm) (1,1 t ha⁻¹) para soja no Brasil. Fonte: GYGA (2022).

Para milho foram estimados o Pp e Ppa na primeira e na segunda safra. Ambos foram superiores na primeira safra. Na média, o Pp e o Ppa de milho de primeira safra no Brasil são de, respectivamente, 15,3 e 12,1 t ha⁻¹ (RIBEIRO *et al.*, 2020) (Figura 3). Na

segunda safra esses valores são de 13,4 e 9,3 t ha⁻¹. Maiores potenciais são encontrados na primeira safra porque a fase reprodutiva e enchimento de grãos (fases críticas para a cultura) ocorrem próximo a dezembro, mês com alta incidência de radiação solar.

Já na segunda safra, as lavouras atingem essa fase crítica próximo a abril, onde a disponibilidade de radiação solar é inferior. Além disso, no Centro-Oeste, onde estão concentradas as lavouras de milho de segunda safra, há maiores chances de ocorrência de temperaturas muito elevadas na fase crítica e déficit hídrico, o que também explica as menores produtividades encontradas nesse período (RIBEIRO *et al.*, 2020). Quando pensamos em Ppa na primeira safra, os valores são superiores na região Centro-Oeste do país, devido a maior disponibilidade e melhor distribuição das chuvas ao longo do ciclo da cultura (ANDREA *et al.*, 2018).

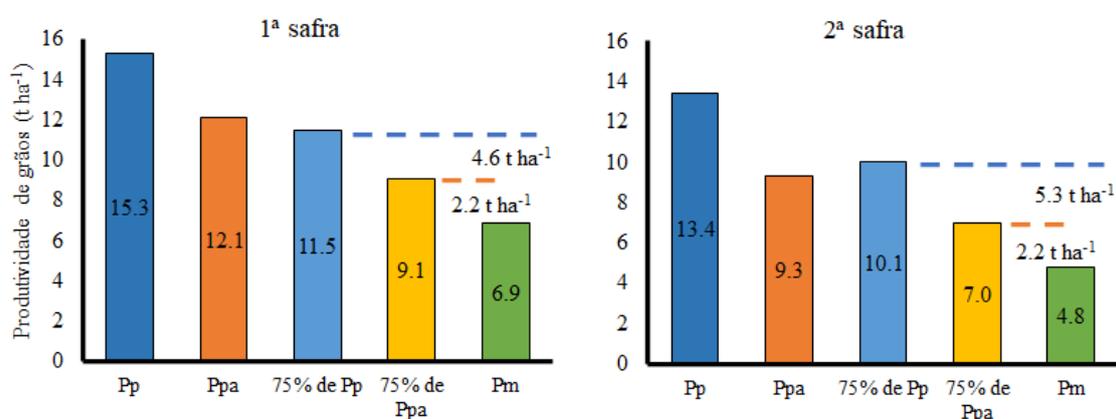


Figura 3. Potencial de produtividade (Pp), potencial de produtividade limitado por água (Ppa), produtividades atingíveis e economicamente viáveis a nível de lavoura (75% do Pp e do Ppa) e lacunas de produtividade atingível com irrigação (diferença entre 75% do Pp e a Pm) (4,6 e 5,3 t ha⁻¹, respectivamente em primeira e segunda safra) e sem irrigação (diferença entre 75% do Ppa e a Pm) (2,2 t ha⁻¹ em ambas as safras) para milho no Brasil para 1ª e 2ª safra. Fonte: GYGA (2022).

Considerando a lacuna atingível de 75% do Pp ou Ppa, se todas as lavouras atingissem a máxima eficiência produtiva e econômica, a produtividade média de milho no Brasil em primeira safra poderia atingir 11,5 t ha⁻¹, se todas as lavouras fossem irrigadas, ou 9,1 t ha⁻¹ sem irrigação. Já na segunda safra, se todas as lavouras recebessem irrigação, a produtividade média de milho poderia atingir 10,1 t ha⁻¹, já em condições de sequeiro, poderia chegar a 7,0 t ha⁻¹.

Com isso, se todas as lavouras recebessem irrigação, ou seja, se não houvesse déficit hídrico, poderíamos aumentar a produção de milho no Brasil em 16,1 e 62,6 milhões de toneladas na primeira e segunda safra, respectivamente (RIBEIRO *et al.*, 2020). Porém, considerando que a maioria das lavouras são de sequeiro, e que essas atingissem 75% do Ppa, poderíamos aumentar a produção brasileira de milho, através do aumento da produtividade, em 7 milhões de toneladas na primeira safra e 24 milhões de toneladas na segunda safra, mantendo as atuais áreas agrícolas em cada safra.

O Pp de arroz irrigado no Brasil é de 14,8 t ha⁻¹ (Figura 4). Esse Pp é próximo ao encontrado para países que fazem fronteira com o Brasil, como a Argentina e o Uruguai

(15 e 14 t ha⁻¹, respectivamente) e superior ao Pp dos Estados Unidos, China e África (9,5, 12,4 e 9,0 t ha⁻¹, respectivamente) (GYGA, 2022). Essas diferenças são explicadas pelo ambiente biofísico de cada país.

Notamos um maior Pp em regiões subtropicais, com latitude próxima a 30°, onde há maior disponibilidade de radiação solar durante a fase de floração e enchimento de grãos, quando comparadas com regiões tropicais. Já quando comparamos com regiões temperadas, os maiores Pp em países de clima subtropical são atribuídos ao menor risco de estresses por baixas temperaturas no período crítico para a cultura (MEUS *et al.*, 2020). A lacuna de produtividade atingível no Brasil é de 2,8 t ha⁻¹, ou seja, através de melhorias nas práticas de manejo é possível que a produtividade média de arroz irrigado no Brasil atinja 11,1 t ha⁻¹.

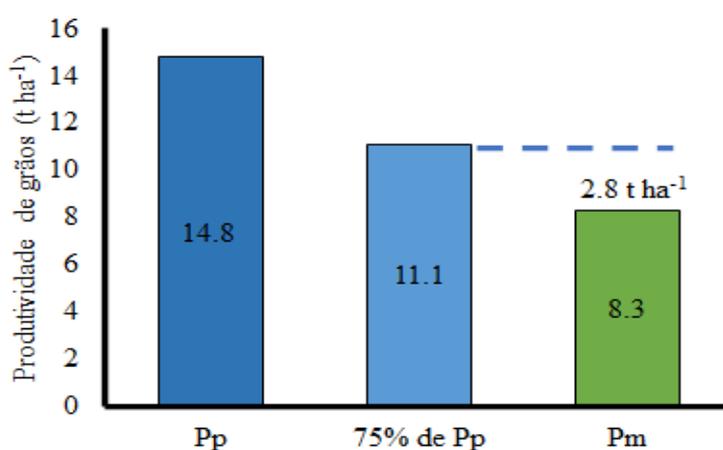


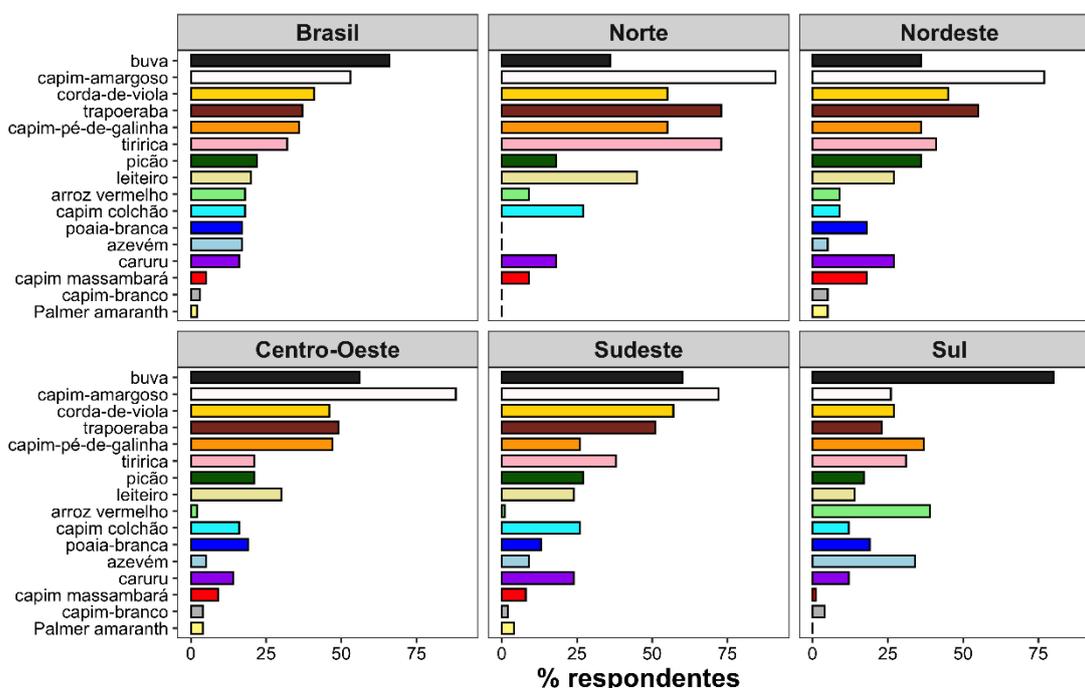
Figura 4. Potencial de produtividade (Pp), produtividade atingível e economicamente viáveis a nível de lavoura (75% do Pp) e lacuna de produtividade atingível (diferença entre 75% do Pp e a Pa) (2,8 t ha⁻¹) arroz irrigado no Brasil. Fonte: GYGA (2022).

Os estudos sobre lacunas de produtividade também auxiliam na identificação dos fatores biofísicos e de manejo que causam perdas de produtividades nas lavouras e que aumentam essa lacuna entre o potencial de produtividade de uma cultura e a produtividade a nível de lavoura. Identificar a variabilidade da Lp e as suas causas (ambientais e/ou de manejo) pode auxiliar no desenvolvimento de estratégias específicas para aumentar a produtividade de cada local, possibilitando que os agricultores selecionem práticas que melhoram a lucratividade e a sustentabilidade da atividade agrícola (DENG *et al.*, 2019).

Realizar esses estudos em escala local nos permite compreender as peculiaridades e limitações da interação entre genética, manejo e ambiente em cada local, sendo mais eficientes na identificação e melhoria dos fatores biofísicos e de manejo que estão limitando as produtividades (STUART *et al.*, 2016). Priorizando as práticas de manejo de acordo com o que reduz as produtividades em cada região é possível garantir o suprimento da demanda mundial por alimentos, além de aumentar os retornos econômicos para os produtores rurais (BATTISTI *et al.*, 2020). A presença de plantas daninhas está entre os principais fatores responsáveis por reduzir a produtividade das culturas a nível de lavoura (SILVA *et al.*, 2022).

A competição com plantas daninhas é uma das principais causas de perdas de produtividade em cultivos agrícolas (RADOSEVICH *et al.*, 2007). Essas perdas estão relacionadas, principalmente, por recursos importantes para desenvolvimento das plantas, como água, CO₂, luz e nutrientes. A competição com plantas daninhas incide diretamente sobre o aumentando das lacunas de produtividade das culturas agrícolas ao redor do mundo. Diante disso, é de grande importância reconhecer o efeito da presença de plantas daninhas em áreas agrícolas e suas consequências à produção, em conjunto com a percepção de agentes da cadeia produtiva como extensionistas e produtores sobre esses aspectos. Esse “diagnóstico” busca identificar potenciais soluções para diferentes problemas em relação ao manejo, de modo que seja possível atuar para reduzir possíveis lacunas de produtividade causadas pela interferência de plantas daninhas.

Por isso, primeiramente, é de grande relevância conhecer as principais plantas daninhas que ocorrem e que causam prejuízos na cadeia agrícola. Destaca-se que essa inferência é importante pois as decisões de manejo dessas espécies começam por efetivamente conhecer qual é o alvo das práticas adotadas. Estudando o manejo de plantas daninhas com produtores e consultores de todas as regiões do Brasil verificou-se que as plantas daninhas que mais preocupam os agentes da cadeia da soja e do milho são a buva (*Conyza* spp), o capim-amargoso (*Digitaria insularis*), a corriola (*Ipomoea* spp.), o capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) e a trapoeraba (*Commelina* spp.) Ainda verificou-se que para as regiões Norte e Nordeste do Brasil, que compreendem a região agrícola do MATOPIBAPA, as duas principais plantas daninhas são o capim-amargoso e a trapoeraba (OLIVEIRA *et al.*, 2021) (Figura 5).



Fonte: Oliveira et al. 10.1017/wet.2020.96

Figura 5. Plantas daninhas mais problemáticas que ocorrem no Brasil separadas por Região de ocorrência. Fonte: <https://maxweeds.rbind.io/pt/post/planta-daninha-brasil/>.

Por outro lado, a percepção de produtores de soja e milho do estado do Rio Grande do Sul indica que a buva e o azevém (*Lolium multiflorum*) são as principais plantas

daninhas que ocorrem e preocupam nas áreas de cultivo (HOLKEM *et al.*, 2022). Ainda, na Argentina observou-se resposta similar, com buva, azevém e capim-pé-de-galinha identificadas como as plantas daninha de maior importância para os sistemas de produção do país (SCURSONI *et al.*, 2019).

Esses resultados reforçam que as práticas de manejo a serem adotadas nas diferentes regiões produtivas, e em nível de propriedade em determinadas situações, devem ser ajustadas de acordo com a (s) espécie (s) alvo (s). Também que práticas que podem ser muito eficientes em determinadas regiões, com predominância de plantas daninhas específicas, podem não surtir efeito para outras regiões. Considera-se esse um dos fatores importantes que justificam as lacunas de produtividade de plantas daninhas variável entre regiões.

Para sistemas de produção de arroz-irrigado no Sul do Brasil, a percepção entre produtores e consultores é semelhante, tendo o arroz-daninho (*Oryza sativa*) como a planta daninha mais problemática, seguida por capim-arroz (*Echinochloa* spp.) e plantas da Família Cyperaceae (SILVA *et al.*, 2022). Assim, no contexto geral, a presença e predominância de espécies daninhas nas diferentes regiões de cultivo e culturas agrícolas pode indicar os efeitos negativos da interferência. O reconhecimento da interferência das principais plantas daninhas é importante para nortear estudos sobre a competição entre plantas, bem como subsidiar aspectos que permitem inferir sobre os impactos de sua presença no potencial de produtividade das culturas.

Modelos matemáticos para avaliar a competição de plantas daninhas e perda de produtividade são largamente utilizados em diversos cultivos (FLECK *et al.*, 2007). Para isso se faz uso de vários tipos de equações que visam prever os comportamentos ecológicos da cultura e da planta daninha, cuja utilização de modelos não lineares pode servir para avaliação de caracteres morfológicos da planta de interesse agrícola em relação a competição com plantas daninhas (McDONALD *et al.*, 2010).

Um dos principais modelos é o da hipérbole retangular, onde consegue-se estimar a perda que cada unidade de uma determinada espécie daninha pode causar na produtividade da cultura. Isso se dá através da estimativa do parâmetro “*i*” do modelo de regressão da hipérbole retangular. Além disso, pode-se inferir sobre a perda máxima de produtividade causada pela competição da planta daninha com a cultura, definido pelo parâmetro “*a*” da equação.

O conhecimento do potencial de interferência de plantas daninhas, baseado no parâmetro “*i*” pode indicar os efeitos em redução de produtividade, como no caso da buva em que 1 planta m⁻² pode reduzir 12 ou 36% quando estabelecida 38 ou 81 dias antes do estabelecimento da soja, respectivamente (TREZZI *et al.*, 2013) (Tabela 1). Porém, quando a buva estabelece-se na mesma época da cultura da soja, esse valor pode variar de 1% até cerca de 28% de potencial de perda de produtividade, dependendo de alguns fatores, tais como a cultivar escolhida (SILVA *et al.*, 2017). Para a cultura do algodão, onde a presença de buva também foi citada como de grande importância, a infestação pode gerar perdas de produtividade máximas de 28 a 44% (STECKEL; GWATHMEY, 2009).

Outras plantas daninhas de folha larga de importância são aquelas do gênero *Amaranthus*. Elas destacam-se por apresentarem vários casos de resistência a herbicidas no Brasil, abrangendo várias espécies (HEAP, 2022). Por exemplo, o caruru-roxo (*Amaranthus hybridus*) pode causar uma perda por unidade de planta daninha por m² de 6,4% na soja (ZANDONÁ *et al.*, 2021). Já o caruru-gigante (*Amaranthus retroflexus*), pode causar perdas máximas de produtividade de 38% na soja e até 81% no feijão (BENSCH *et al.*, 2003).

Tabela 1. Estimativa de potencial de perda de produtividade (%) de diferentes plantas daninhas em culturas de grãos

Planta daninha	Cultura	<i>i</i> ¹	<i>a</i> ¹	Fonte
Buva	Soja	1-36%	82,8-100	TREZZI <i>et al.</i> , 2013; SILVA <i>et al.</i> , 2017
<i>Conyza bonariensis</i>	Algodão	2,80%	53%	STECKEL e GWATHMEY, 2009
Caruru-roxo	Soja	6,40%	64,99-100%	ZANDONA <i>et al.</i> , 2021
<i>Amaranthus hybridus</i>	Soja	6,30%	38%	BENSCH <i>et al.</i> , 2003;
Caruru-gigante	Soja	18,3-36,7%	81%	AMINI <i>et al.</i> , 2013
<i>Amaranthus retroflexus</i>	Feijão	11,8-37,9%	78,7	BENSCH <i>et al.</i> , 2003;
Caruru-palmeri	Soja	1,46-2,47	80%	BRAZ <i>et al.</i> , 2021
<i>Amaranthus palmeri</i>	Soja	Na ²	27%	WU <i>et al.</i> , 2015
Capim-amargoso	Algodão	1,28	100%	ULGUIM <i>et al.</i> , 2020
<i>Digitaria insularis</i>	Arroz	1,67-12,65	100%	AGOSTINETTO <i>et al.</i> , 2005
Capim-pé-de-galinha	Arroz	0,02-0,09	100%	WESTENDORFF <i>et al.</i> , 2014
<i>Eleusine indica</i>	Arroz	0,19-0,58%	59%	GALON <i>et al.</i> , 2018
Capim-arroz				
<i>Echinochloa crusgalli</i>				
Arroz-daninho				
<i>Oryza sativa</i>				
Junquinho				
<i>Cyperus iria</i>				
Azevém				
<i>Lolium multiflorum</i>				

¹Parâmetro obtido a partir de estudos de interferência através da hipérbole retangular, em que o “i” representa o potencial de perda de uma planta daninha m⁻², e o “a” representa a máxima perda devido à altas infestações da espécie daninha. ²Não aplicado pelo modelo utilizado.

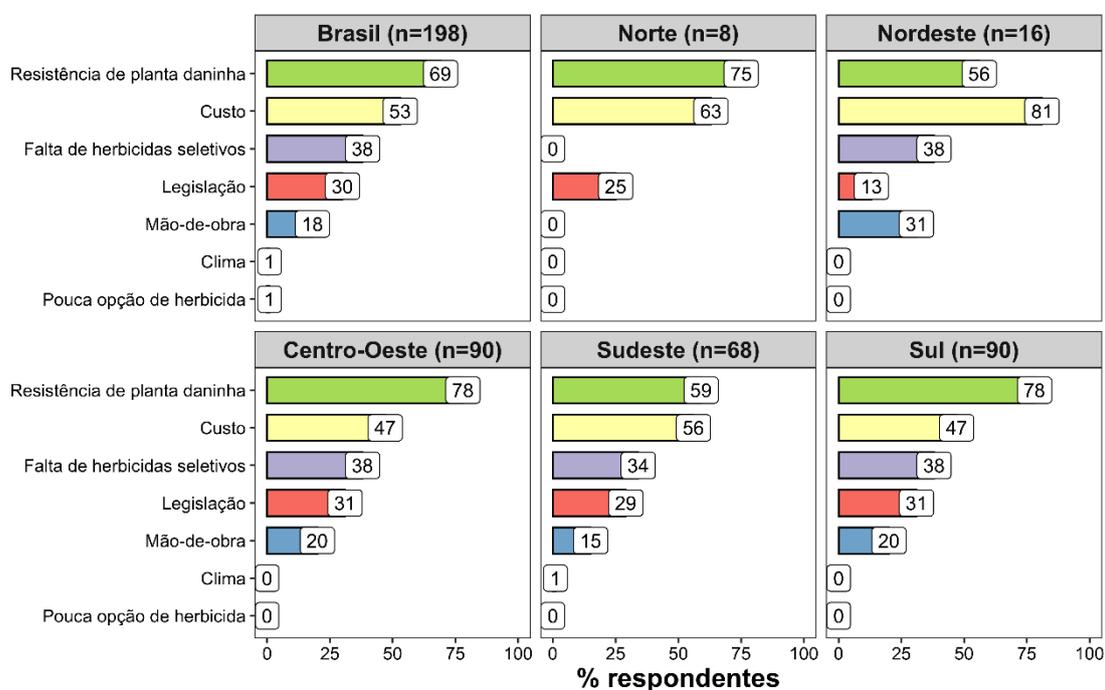
Algumas plantas daninhas da Família Poaceae, como o capim-amargoso (*Digitaria insularis*) e o capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*), podem causar danos de magnitudes variáveis aos cultivos agrícolas. Na soja, estima-se que uma unidade de planta de capim-amargoso por m² reduziu a produtividade entre 1,46 a 2,47% (BRAZ *et al.*, 2021). Por sua vez o capim-pé-de-galinha pode causar uma perda máxima de até 27% de produtividade de algodão (MA *et al.*, 2015).

Já na cultura do arroz, o capim-arroz (*Echinochloa sp.*) pode causar uma perda de produtividade estimada em 1,28% quando há a infestação de 1 planta por m² (ULGUIM *et al.*, 2020). Em comparação com arroz-daninho, o parâmetro “i” estimado pelo modelo da hipérbole retangular foi estimado entre 1,67 e 12,67% variando entre 4,07 (AGOSTINETTO *et al.*, 2004). Para as espécies da Família Cyperaceae, que ocorrem em arroz, o *Cyperus esculentus* tem potencial de perda na produtividade do arroz variando entre 0,02e0,09%.

Em trigo, o azevém (*Lolium perenne multiflorum*) pode reduzir em até 59% o rendimento de grãos, com uma perda de produtividade potencial promovida pela presença de uma única planta por m², variando de 0,19 a 0,58% (GALON *et al.*, 2018). Existem

diversas variáveis que incidem em diferentes respostas na competição entre culturas e plantas daninhas. No entanto, pode-se afirmar que quanto maior a proximidade morfofisiológica de uma planta daninha em relação à cultura, maior será o potencial de dano decorrente da interferência (RADOSEVICH *et al.*, 2007). Nesse sentido, justifica-se o manejo integrado de plantas daninhas como forma de mitigar os danos, principalmente mediante a adoção de diversas práticas de controle.

Pode-se afirmar que atualmente as práticas de controle de plantas daninhas têm sido adotadas em relação à ocorrência e presença de biótipos resistentes a herbicidas nas áreas de cultivo, caracterizando esse como o principal desafio para seu manejo no Brasil (OLIVEIRA *et al.*, 2021) (Figura 6). Dentre as práticas associadas ao controle químico destacam-se a rotação e misturas de herbicidas, tendo como vantagens a possibilidade de aumentar o espectro de controle e reduzir a pressão de seleção. Porém pode promover aumento nos custos de controle (OWEN *et al.*, 2014) (Figura 7).



Fonte: Oliveira et al. 10.1017/wet.2020.96

Figura 6. Principais desafios no manejo de plantas daninhas no Brasil para redução da interferência negativa à produtividade das culturas, separados por Região. Fonte: <https://maxweeds.rbind.io/pt/post/planta-daninha-brasil/>.

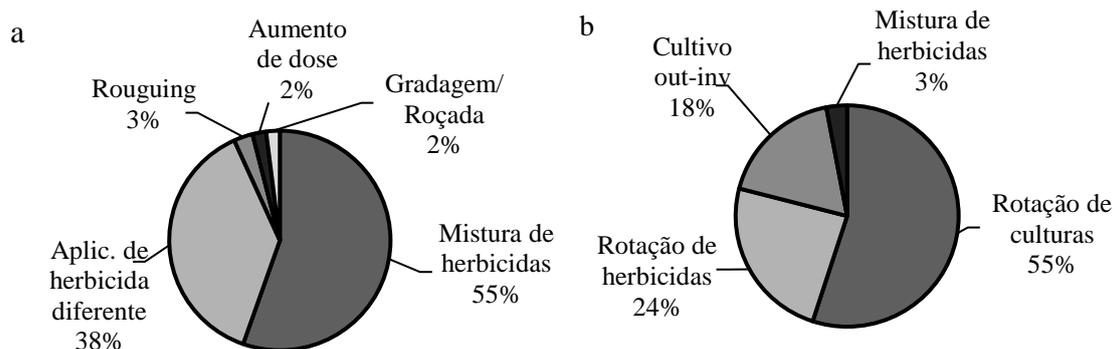


Figura 7. Recomendações de manejo de plantas daninhas escapes ao controle herbicida (a) e em áreas com resistência comprovada (b) de acordo com extensionistas (%) em culturas tolerantes ao glyphosate no Rio Grande do Sul. n = 112. Fonte: HOLKEM *et al.*, 2022.

Outra forma de manejar resistência, destaca-se a utilização de herbicidas pré-emergentes (BECKIE *et al.*, 2019), como importante estratégia de rotação com mecanismos de ação que não são comumente utilizados em dessecação pré-semeadura ou na pós emergência da cultura. Porém no Brasil, para as culturas da soja e do milho, ainda existe uma adesão baixa do uso de pré-emergentes (menor que 50%), principalmente em comparação com demais culturas, como arroz, algodão e cana-de-açúcar (maior que 70%) (OLIVEIRA *et al.*, 2021). Cabe ressaltar que é importante essa adesão devido à sua eficiência no controle (OWEN *et al.*, 2014) combinado com uso de herbicidas com mecanismos com poucos ou nenhum caso de resistência a herbicidas (HEAP, 2022).

O uso de pré-emergentes para a cultura do arroz irrigado constitui-se como o fator importante para a garantia de altas produtividades. A aplicação de herbicida residual juntamente com glyphosate em ponto-de-agulha (estágio S3) foi o principal fator que colaborou para incremento das produtividades em áreas comerciais de produção do cereal (SILVA *et al.*, 2022) (Figura 8). Porém, o controle químico não pode ser a única forma de controle de plantas daninhas em sistemas agrícolas, deve-se lançar mão de outros métodos de controle principalmente como o físico, mecânico e o cultural.

A irrigação por inundação em arroz caracteriza-se como um exemplo de sucesso de implementação de controle físico, pois além de suprir os requerimentos hídricos para a cultura, reduz a emergência de diversas plantas daninhas como o arroz-daninho e as ciperáceas. No entanto, o atraso do início da irrigação é um dos principais motivos para a baixa eficiência de controle de plantas daninhas no arroz (SILVA *et al.*, 2022) (Figura 8). Ainda na cultura de arroz, práticas mecânicas de controle como a gradagem na entressafra são de grande importância para o manejo de arroz-daninho e outras plantas daninhas problemáticas (ULGUIM *et al.*, 2021), caracterizando-se como alternativas de controle mecânico de plantas daninhas.

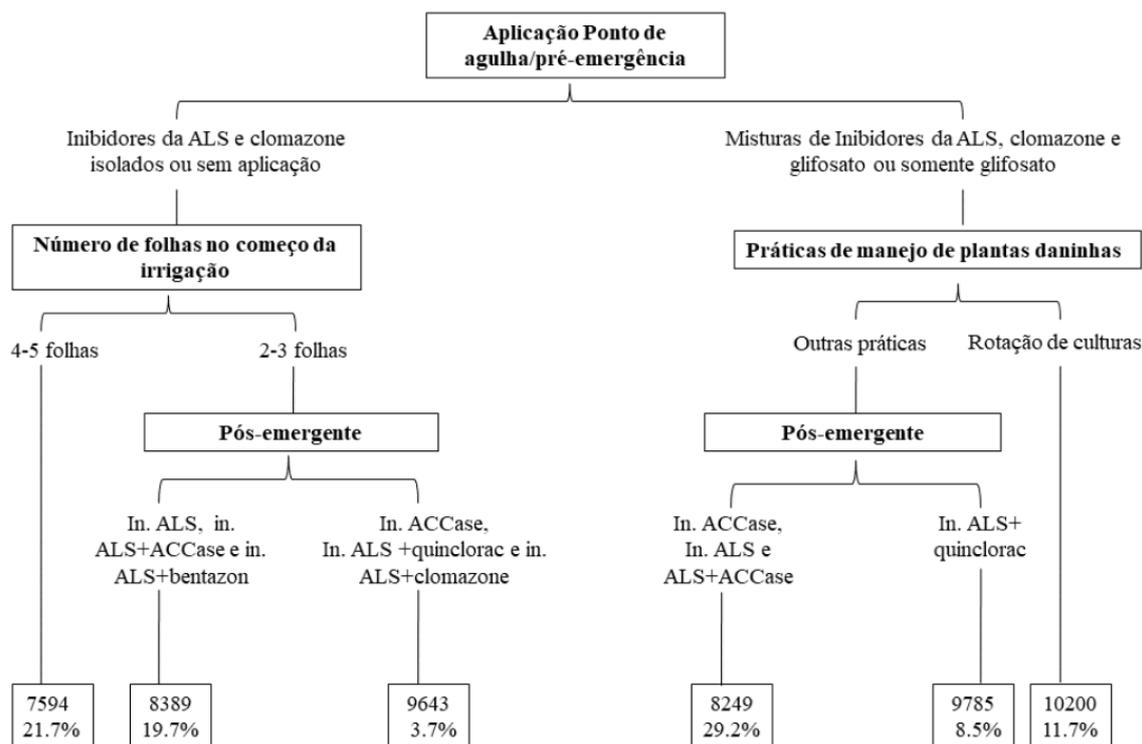
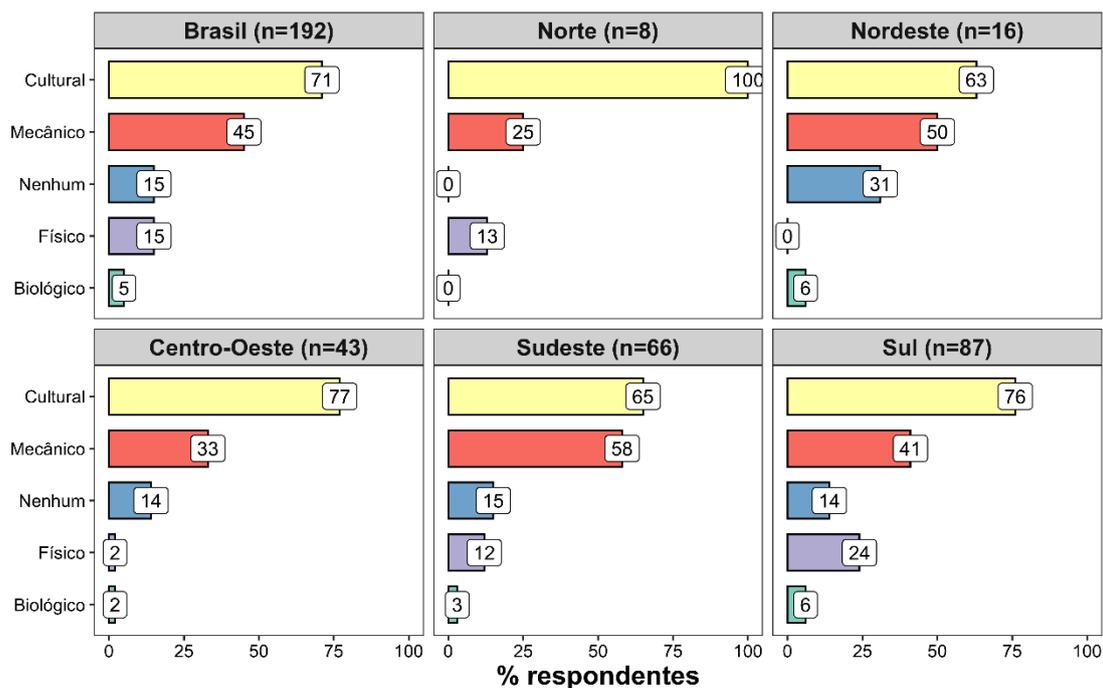


Figura 8. Árvore de regressão apresentando as fontes de variação para a produtividade de arroz irrigado devido às práticas de controle de plantas daninhas. As caixas são divisores dos nós, com caixas de baixo representando nós terminais. Os valores dentro de cada nó terminal indicam a média de grãos (kg ha^{-1}) e a porcentagem de observações em cada nó terminal. ¹Misturas: Inibidores de ALS+clomazone, inibidores de ALS+clomazone +glyphosate, inibidores de ALS+ glyphosate e clomazone+ glyphosate. ²Culturas de cobertura durante o outono-inverno, misturas de herbicidas, rotação de modos de ação herbicida e aumento da dose de herbicida. $n = 219$. Fonte: adaptado de SILVA *et al.*, 2022.

As práticas físico-mecânicas de controle de plantas daninhas em outros sistemas de produção são menos adotadas no Brasil como métodos complementares ao controle químico (OLIVEIRA *et al.*, 2021) (Figura 9). Isso deve-se, principalmente, à adoção do sistema de plantio direto que representa uma das principais práticas de controle cultural, devido ao uso de plantas de cobertura e manutenção da palhada na superfície do solo (Figura 9). O controle cultural foi escolhido por extensionistas do Sul do Brasil como o principal método recomendado para o manejo de plantas daninhas em culturas tolerantes a herbicidas (HOLKEM *et al.*, 2022).



Fonte: Oliveira et al. 10.1017/wet.2020.96

Figura 9. Principais métodos alternativos (além dos herbicidas) de manejo de plantas daninhas no Brasil, separado por Região. Fonte: <https://maxweeds.rbind.io/pt/post/planta-daninha-brasil/>.

O uso de plantas de cobertura como método de controle cultural é uma prática bastante difundida em sistemas de produção agrícola, auxiliando em aspectos das características físicas e químicas do solo, além de conseguir suprimir a incidência de plantas daninhas de importância. Além de ser uma forma integrada de manejo, pois pode unir diversos métodos de controle como o físico (impossibilitando a entrada de luz para germinação de plantas daninhas), cultural (suprimindo através de competição o aparecimento de espécies indesejadas para a cultura subsequente), ainda traz a possibilidade de possuir efeitos alelopáticos (OSIPITAN *et al.*, 2019).

Essa estratégia é fundamental para o manejo e redução da infestação de plantas daninhas que comumente são problemas nos sistemas de produção, como a buva, que tem seu aparecimento reduzido pela presença de plantas de cobertura (THOMASI *et al.*, 2021). No Brasil uma das plantas de cobertura mais utilizadas são as aveias e outras Poaceas, principalmente em regiões onde o inverno é mais pronunciado. Nas regiões que incluem os estados do MATOPIBAPA, predomina o uso de Poaceas de verão, como milho e plantas do gênero *Urochloa* (OLIVEIRA *et al.*, 2021). Outra forma importante e muito utilizada de controle cultural de plantas daninhas é a rotação de culturas.

A rotação de culturas também é uma prática que auxilia em vários caracteres nos sistemas agrícolas. O uso de rotação de culturas permite alterar o ambiente para o desenvolvimento de diversas espécies daninhas, devido as épocas de semeadura e níveis de competição dos diferentes cultivos, bem como auxilia na implementação de rotação de mecanismos de ação de herbicidas (RADOSEVICH *et al.*, 2007). Por exemplo, no arroz, a rotação da cultura com a soja, é uma das formas de manejo mais importantes para manter os altos níveis de produtividade, pois reduz a incidência de arroz-daninho e diminui o uso

de controle químico através de glyphosate. Porém, tal sistema de rotação de cultura ainda é utilizado em somente 25% das áreas de arroz no Sul do Brasil (ULGUIM *et al.*, 2021), mas com alto potencial de avanço e desenvolvimento.

Em cultivos de sequeiro no Brasil, a sucessão de culturas em duas safras distintas é adotada por 71% dos produtores (OLIVEIRA *et al.*, 2021). Situação que se dá principalmente pela possibilidade da rotação soja/milho, possibilitando a alternância entre herbicidas inibidores da ACCase e de PPO na cultura da soja, e herbicidas inibidores do FSII na cultura do milho. Além desse fenômeno, e a combinação de práticas de manejo dessas culturas, a rotação consegue diminuir o banco de sementes de plantas daninhas no solo (GARRISON *et al.*, 2014). Ou seja, a rotação de culturas pode ser a melhor e mais simples forma de auxiliar no manejo de plantas daninhas e alterar o balanço de plantas daninhas de difícil controle na área.

De maneira geral, é de grande importância conhecer todos os aspectos que atuam na interferência das plantas daninhas sobre as culturas. Conhecer as espécies incidentes em cada área/sistema de produção, bem como seus efeitos e métodos de manejo utilizados, implicam em diminuir a lacuna entre a produtividade atingível e produtividade média. Essas informações devem ser utilizadas por diversos agentes da cadeia agrícola como pesquisadores, consultores e produtores visando promover formas de manejo mais sustentáveis e assertivas para reduzir o impacto negativo das plantas daninhas no sistema agrícola. Isso se dará, efetivamente, através da redução da interferência e perda de produtividade das plantas daninhas, seja pelo reconhecimento das espécies ocorrentes, uso das práticas de manejo adequadas, e identificação do seu potencial de dano.

CAPÍTULO 12

COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA DE PLANTAS DANINHAS EM CULTIVOS ANUAIS

Jordean Costa dos Santos¹
Edmilson Igor Bernardo Almeida²
Gregori da Encarnação Ferrão²
Isabela Cristina Gomes Pires³
Ramon Leon Gonzalez⁴
Marcelo de Sousa da Silva¹

¹Graduado em Agronomia na Universidade Federal do Maranhão (UFMA).

²Professor do Curso de Agronomia, Centro de Ciências de Chapadinha, Universidade Federal do Maranhão (UFMA).

³Doutora em Ciências, Universidade de São Paulo (USP), Centro de Energia Nuclear na Agricultura.

⁴Professor da University Faculty Scholar Weed Biology (North Carolina).

Introdução

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma das culturas de maior destaque no cenário agrícola mundial. O potencial de mercado e ótima adaptação a diferentes condições edafoclimáticas propiciaram o seu cultivo em todas as regiões brasileiras (ROCHA *et al.*, 2018). Atualmente, o Maranhão é o segundo maior produtor da região Nordeste com produção estimada em 3.285,6 mil toneladas de soja, na safra 2020-21 (CONAB, 2021). A cultura foi introduzida neste estado, a partir de 1970, na mesorregião Sul Maranhense e, ao longo dos anos 2000, houve a expansão para microrregião de Chapadinha e outras microrregiões limítrofes, como o Baixo Parnaíba Maranhense, Coelho Neto e mais recentemente, a microrregião de Caxias (CONTE *et al.*, 2018).

A mesorregião Leste Maranhense está localizada na porção oriental do estado do Maranhão, na divisa com o estado do Piauí. É dividida em seis microrregiões: Chapadas do Alto Itapecuru, Caxias, Codó, Baixo Parnaíba Maranhense, Coelho Neto e Chapadinha, sendo esta última, o foco principal do presente estudo. O levantamento bibliográfico do presente estudo, reuniu trabalhos realizados nos municípios de Anapurus, Brejo, Buriti, Chapadinha, Mata Roma, São Benedito do Rio Preto e Santa Quitéria (MA) (Figura 1), os quais abrangem área plantada de 54.655 ha e produtividade média de 3.077 kg.ha⁻¹, conforme o IBGE (2020).

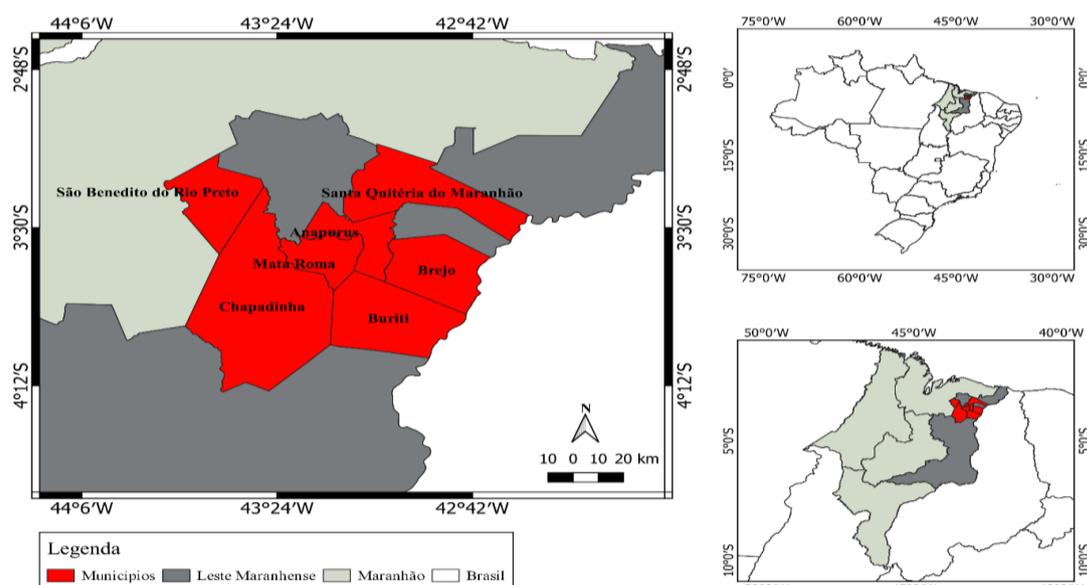


Figura 1. Posição geográfica do estado Maranhão e municípios englobados pelo levantamento florístico de plantas daninhas.

No Leste Maranhense, a sojicultura é explorada em duas condições fisiográficas denominadas de chapadas e baixões. As chapadas correspondem a extensas áreas de topografia plana, vegetação original típica de cerrado e solos de baixa fertilidade natural, ao passo que os baixões se caracterizam por porções de relevo ondulado, com vegetação nativa de cocais e maior fertilidade natural que as chapadas (ALMEIDA; MATTOS JÚNIOR, 2016).

Segundo Köppen-Gerger, o clima desta mesorregião é classificado como Aw (savanas tropicais) com duas estações bem definidas (inverno seco e verão chuvoso),

precipitação média anual de 1.500 mm. Os solos apresentam variabilidade quanto às suas propriedades, porém predominam solos coesos, predominantemente relacionados com os sedimentos argiloarenosos da Formação Barreiras, os quais estão geologicamente relacionados com os depósitos sedimentares do período Terciário, que constituem a unidade geomorfológica dos Tabuleiros Costeiros (DANTAS *et al.*, 2014).

Essas características tornam a mesorregião Leste Maranhense um ambiente muito peculiar, capaz de comportar enorme variabilidade genética e número de espécies ocorrentes. A condução de levantamentos florísticos de plantas daninhas nesta mesorregião ainda é incipiente, comparativamente a outras fronteiras agrícolas. O que pode limitar a adoção de estratégias eficazes de manejo, uma vez que há dificuldade quanto a identificação, classificação e monitoramento das principais espécies infestantes. Neste aspecto, este trabalho teve como objetivo reunir alguns dos resultados de trabalhos realizados sobre a comunidade de plantas daninhas do Leste Maranhense, com ênfase na comunidade infestante de cultivos anuais.

Para realização da pesquisa foram compilados dados disponíveis na literatura oriundos de estudos realizados em diferentes locais no Leste Maranhense (Tabela 1) que tiveram o objetivo de identificar as principais plantas daninhas da região em cultivos anuais.

Tabela 1. Lista de trabalhos científicos utilizados para revisão bibliográfica e compilamento de resultados.

Título do trabalho científico	Local	Autor
Composição florística de plantas daninhas ocorrentes em lavouras de soja no município de Anapurus	Anapurus - MA 03°43'44.98" S 42°59'01.89" O	Silva (2020)
Comunidade de plantas daninhas e seus efeitos sobre os atributos químicos e produtivos no cerrado maranhense	Anapurus - MA 03°43'44.98" S 42°59'01.89" O & Chapadinha - MA 03°42'01" S 42°56'24" O	Rocha (2020)
Resultados de projeto de pesquisa conduzido na safra agrícola 2021/2022, mesorregião Leste Maranhense	Anapurus – MA Brejo – MA Buriti - MA Mata Roma - MA	NEPF (2022)
Levantamento fitossociológico de plantas daninhas em áreas de produção de soja	Brejo - MA 03°42'01" S 42°56'24" O	Santana (2020)
Controle pré-emergente de plantas daninhas em lavouras de soja, sob condições de baixão e chapada	Mata Roma - MA 03°14'50" S 43°11'13" O & Brejo- MA 03°42'11" S 42°56'19" O	Silva (2022)

Mapeamento da produtividade da soja, associada a diferentes herbicidas pré-emergentes, ocorrência de plantas daninhas e fertilidade do solo	Brejo - MA 03°42'09" S 42°57'36.5" O	Furtado <i>et al.</i> (2021)
Performance of pre-emergence herbicides in weed competition and soybean agronomic components	Brejo - MA 03°42' S 42°57' O	Silva <i>et al.</i> (2021a)
Weed control and selectivity of different pre-emergence active ingredients in a soybean crop	Brejo - MA 03°42' S 42°57' O	Silva <i>et al.</i> (2022)
Fitossociologia do banco de sementes de plantas daninhas em campo agrícola em vegetação de cerrado	Chapadinha - MA 03°44'28.7" S 43°18'46" O	Lopes <i>et al.</i> (2020)
Levantamento de plantas daninhas na cultura de abacaxi cv Turiaçu no período de transição (estiagem e chuvoso) no cerrado maranhense	Chapadinha - MA 03°44'30" S 43°21'37" O	Santos <i>et al.</i> (2020)
Comunidade e crescimento de plantas daninhas ocorrentes em lavouras de soja no município de Mata Roma - MA	Mata Roma - MA 04°19'13" S 44°50'58" O	Traesel (2015)
Utilização da fitomassa de Feijão-Caupi como cobertura de solo e supressão de plantas daninhas em áreas produtoras de soja	Mata Roma - MA 04°19'21" S 44°50'50" O	Oliveira <i>et al.</i> (2015)
Composição florística de plantas daninhas em lavoura de soja no cerrado maranhense	Santa Quitéria - MA 03°28'00" S 42°36'07" O	Silva (2017)
População de plantas daninhas na cultura da soja no município de São Benedito - MA	São Benedito - MA 03°19'59" S 43°31'40" O	Lima (2017)

Os autores destes trabalhos realizaram os levantamentos de plantas daninhas no período pré-semeadura da soja (entressafra), entre os meses de novembro e dezembro, nas safras agrícolas 2013/2014 a 2021/2022. A amostragem foi realizada em cinquenta pontos, com intervalo de caminhada em malha regular de 10,0 m x 10,0 m, com 5 posições de partida, perfazendo 10 pontos amostrais por linha horizontal de percurso na lavoura.

Para isso, utilizaram o método de amostragem convencional, com quadrado inventário de 1,0 m x 1,0 m, o qual foi disposto em pontos regulares da área amostral. Todas as plantas daninhas contidas no interior do quadrado inventário foram identificadas e classificadas com literatura especializada (LORENZI, 2014). Através das informações coletadas, procedeu-se com a organização dos dados em tabela, a qual apresenta todas as plantas daninhas que foram identificadas nos levantamentos florísticos referenciados na Tabela 1.

A partir disto, realizou-se a confecção de gráficos e tabelas que abrangeram número de espécies por famílias e gêneros botânicos, hábito de crescimento, classes botânicas, ciclo de vida, formas de reprodução, taxa de produção de sementes por planta e análise de similaridade de Soresen. O Índice de Similaridade (IS) de Soresen foi estimado pela

seguinte fórmula: $IS = [(2a)/(b+c) \times 100]$, em que, a = número de espécies comuns a dois municípios; b e c = número total de espécies em cada município.

Levantamento florístico no leste maranhense

Composição florística

A diversidade florística compreendeu 87 espécies, pertencentes a 24 famílias e 57 gêneros botânicos (Tabela 2).

Tabela 2. Composição florística de plantas daninhas identificadas em lavouras de grãos, pertencentes a sete municípios da mesorregião Leste Maranhense.

Família	Espécie	Nome popular
Amaranthaceae	<i>Amaranthus deflexus</i> L.	Caruru rasteiro
Amaranthaceae	<i>Amaranthus hybridus</i> L.	Caruru
Amaranthaceae	<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	Caruru-gigante
Amaranthaceae	<i>Alternanthera tenella</i> Colla	Apaga fogo
Apocynaceae	<i>Asclepias curassavica</i> L.	Oficial-de-sala
Asteraceae	<i>Achillea millefolium</i> L.	Mil folhas
Asteraceae	<i>Bidens pilosa</i> L.	Picão-preto
Asteraceae	<i>Emilia coccinea</i> (Sims) G. Don	Pincel
Asteraceae	<i>Jaegeria hirta</i> (Lag.) Less.	Botão-de-ouro
Asteraceae	<i>Vernonanthura nudiflora</i> (Less.) H. Rob.	Alecrim-do-campo
Asteraceae	<i>Ageratum conyzoides</i> L.	Erva de são joão
Boraginaceae	<i>Heliotropium indicum</i> L.	Crista-de-galo
Clusiaceae	<i>Platonia insignis</i> Mart.	Bacuri
Commelinaceae	<i>Commelina benghalensis</i> L.	Trapoeaba
Commelinaceae	<i>Commelina erecta</i> L.	Trapoeaba-azul
Commelinaceae	<i>Tradescantia fluminensis</i> Vell.	Erva-da-fortuna
Convolvulaceae	<i>Ipomoea fimbriosepala</i> Choisy	Cipó-coração
Convolvulaceae	<i>Ipomoea ramosissima</i> (Poir.) Choisy	Gramofone
Convolvulaceae	<i>Ipomoea triloba</i> L.	Corda-de-viola
Convolvulaceae	<i>Ipomoea bahiensis</i> Willd. ex Roem. & Schult.	Jetirana
Cucurbitaceae	<i>Cucumis anguria</i> L.	Maxixe
Cyperaceae	<i>Cyperus esculentus</i> L.	Juncinha
Cyperaceae	<i>Cyperus iria</i> L.	Tiririca do brejo
Cyperaceae	<i>Cyperus meyenianus</i> Kunth	Tiririca-de-três-quinhas
Cyperaceae	<i>Cyperus odoratus</i> L.	Capim-de-cheiro
Cyperaceae	<i>Cyperus rotundus</i> L.	Tiririca
Cyperaceae	<i>Cyperus ferax</i> Rich.	Junquinho
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia hyssopifolia</i> L.	Burra-leiteira
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia prostrata</i> Aiton	Quebra-pedras-roxo
Euphorbiaceae	<i>Dalechampia scandens</i> L.	Coça-coça
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	Leiteiro
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia hirta</i> L.	Erva-de-santa-luzia
Fabaceae	<i>Aeschynomene histrix</i> Poir.	Lentilha do campo

Fabaceae	<i>Chamaecrista rotundifolia</i> (Pers.) Greene	Erva-de-coração
Fabaceae	<i>Desmodium tortuosum</i> (Sw.) DC.	Carrapicho-beiço-de-boi
Fabaceae	<i>Mimosa hirsutissima</i> Mart.	Malícia
Fabaceae	<i>Mimosa pudica</i> L.	Dormideira
Fabaceae	<i>Neptunia plena</i> (L.) Benth.	Jurema-d'água
Fabaceae	<i>Senna obtusifolia</i> (L.) H.S.Irwin & Barneby	Fedegoso
Lamiaceae	<i>Hyptis atrorubens</i> Poit.	Hortelã-brava
Lamiaceae	<i>Hyptis suaveolens</i> (L.) Poit.	Alfavaca-de-caboclo
Lamiaceae	<i>Marsypianthes chamaedrys</i> (Vahl) Kuntze	Erva de cobra
Lecythidaceae	<i>Lecythis pisonis</i> Camb.	Sapucarana
Loganiaceae	<i>Spigelia anthelmia</i> L.	Erva-lombrigueira
Malvaceae	<i>Sida cordifolia</i> L.	Malva veludo
Malvaceae	<i>Sida linifolia</i> Cav.	Linho-do-campo
Malvaceae	<i>Sida rhombifolia</i> L.	Guanxuma
Malvaceae	<i>Waltheria indica</i> L.	Malva branca
Malvaceae	<i>Herissantia crispa</i> (L.) Medik.	Malva-de-lavar-prato
Malvaceae	<i>Sida glaziovii</i> K. Schum.	Guanxuma branca
Molluginaceae	<i>Mollugo verticillata</i> L.	Molugo
Nyctaginaceae	<i>Boerhavia diffusa</i> L.	Erva tostão
Phyllanthaceae	<i>Phyllanthus niruri</i> L.	Quebra-pedra
Plantaginaceae	<i>Bacopa salzmännii</i> (Benth.) Wettst.	Bacopa Araguaia
Plantaginaceae	<i>Scoparia dulcis</i> L.	Vassourinha-doce
Plantaginaceae	<i>Stemodia verticillata</i> (Mill.) Hassl.	Meladinha-anã
Poaceae	<i>Cenchrus echinatus</i> L.	Capim-carrapicho
Poaceae	<i>Coix lacryma</i> L.	Lágrima de Nossa Senhora
Poaceae	<i>Digitaria horizontalis</i> Willd.	Capim milhã
Poaceae	<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	Capim colchão
Poaceae	<i>Eragrostis airoides</i> Nees	Capim névoa
Poaceae	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	Capim pé-de-galinha
Poaceae	<i>Eragrostis maypurensis</i> (Kunth) Steud.	Capim-pendão-roxo
Poaceae	<i>Poa annua</i> L.	Capim-galinha
Poaceae	<i>Pennisetum purpureum</i> Schumach.	Capim-elefante
Poaceae	<i>Panicum repens</i> L.	Capim-torpedo
Poaceae	<i>Pennisetum typhoides</i> Rich.	Milheto
Poaceae	<i>Sporobolus indicus</i> (L.) R.Br.	Capim-capeta
Poaceae	<i>Eragrostis ciliaris</i> (L.) R. Br.	Capim-fino
Poaceae	<i>Paspalum plicatulum</i> Michx.	capim-da-roça
Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea</i> L.	Beldroega
Rubiaceae	<i>Diodella teres</i> (Walter) Small	Quebra-tigela-de-folha-estreita
Rubiaceae	<i>Richardia brasiliensis</i> Gomes	Poaia branca
Rubiaceae	<i>Richardia grandiflora</i> (Cham. & Schltld.) Steud.	Poaia-da-praia
Rubiaceae	<i>Richardia scabra</i> L.	Poaia-do-cerrado
Rubiaceae	<i>Spermacoce alata</i> Aubl.	Erva de lagarto

Rubiaceae	<i>Spermacoce capitata</i> P.J.Bergius	Poaia-do-campo
Rubiaceae	<i>Spermacoce latifolia</i> Aubl.	Erva quente
Rubiaceae	<i>Spermacoce spinosa</i> L.	Vassoura borreria
Rubiaceae	<i>Spermacoce verticillata</i> L.	Vassourinha-de-botão
Solanaceae	<i>Solanum grandiflorum</i> Ruiz & Pav.	Asa de pato
Turneraceae	<i>Stylosanthes humilis</i> Kunth	Alfafa selvagem
Turneraceae	<i>Turnera subulata</i> Sm.	Chanana
Turneraceae	<i>Turnera ulmifolia</i> L.	Flor-do-guarujá

Esses resultados demonstram a diversidade florística de plantas daninhas ocorrentes em 7 municípios da mesorregião Leste Maranhense, o que segundo Caetano *et al.* (2018), pode estar relacionado às diferenças quanto ao histórico e manejo empregado nas lavouras, os quais podem interferir quanto à supressão e/ou aumento da ocorrência de algumas espécies, dependendo das alternativas adotadas pelos produtores. Fontanetti (2008) também salienta que o clima e propriedades do solo são fatores que apresentam correlação com a infestação de plantas daninhas, cujas áreas de maior fertilidade, geralmente apresentam maior ocorrência de matocompetição.

Famílias botânicas

As famílias botânicas Poaceae (14 spp.), Rubiaceae (9 spp.) e Fabaceae (7 spp.) foram as que mais se destacaram em número de espécies (Figura 2).

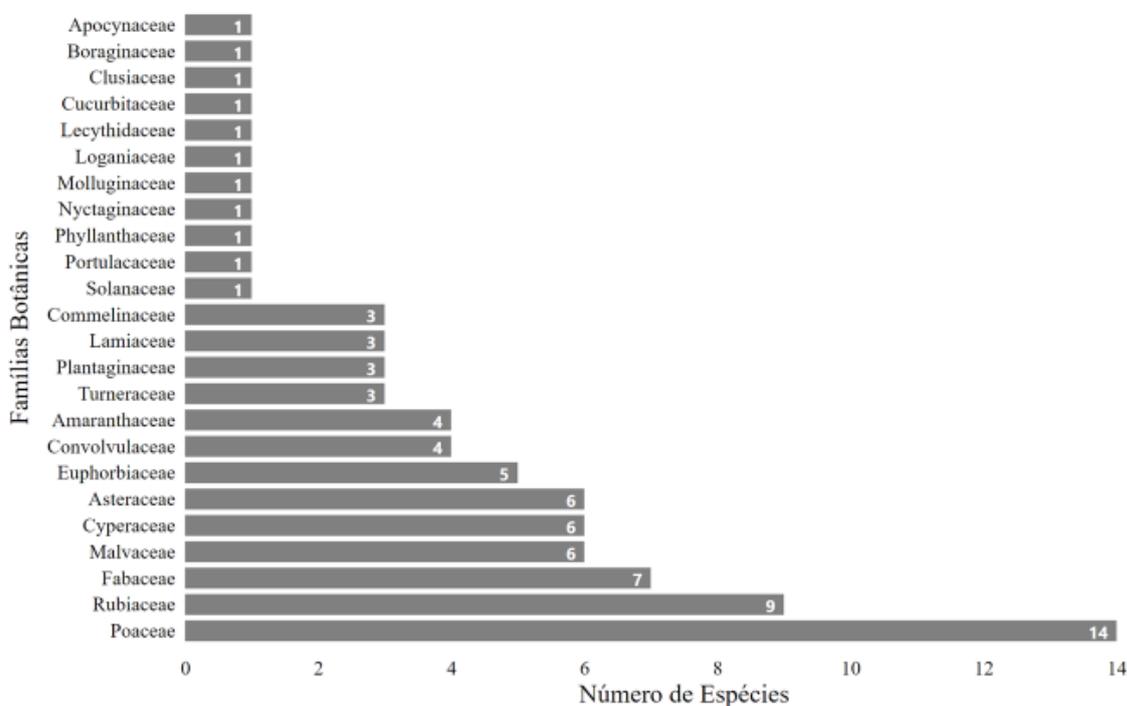


Figura 2. Número de espécies de plantas daninhas por família botânica, em lavouras de grãos pertencentes a sete municípios da mesorregião Leste Maranhense.

Em levantamentos florísticos realizados por Santos *et al.* (2017) em lavoura de soja no município de Formoso do Araguaia, localizado na região sudoeste do Tocantins, e Mesquita *et al.* (2016), em lavoura de grãos em São Luís Gonzaga, na porção central do

do Maranhão, também relataram-se famílias botânicas Poaceae, Cyperaceae, Fabaceae, Euphorbiaceae e Malvaceae como as de maior representatividade. Isto pode ter influência da exploração destas lavouras agrícolas em transições de cerrado, bioma que tem relevante ocorrência de plantas pioneiras, pertencentes geralmente as estas famílias botânicas.

A família Poaceae é considerada uma das maiores no grupo das angiospermas, estando entre as mais importantes, ecológica e economicamente (WELKER; LONGHI-WAGNER, 2007). Em termos de espécies de plantas daninhas ocorre representativamente em vários ecossistemas. No Brasil há em torno de 1.500 espécies, pertencentes a 180 gêneros (SOUZA e LORENZI, 2005). Junto à família Asteraceae abrangem mais de 50% das espécies de plantas daninhas existentes no mundo (HOLM *et al.*, 1997). Holm *et al.* (1991) atribuem estes números ao fato de várias espécies da família Poaceae serem perenes e produzirem grande quantidade de sementes, o que aumenta o seu poder de disseminação e colonização de diferentes ambientes, mesmo em condições adversas.

As famílias Rubiaceae e Fabaceae também se destacam. Segundo Whitmore (1990), são as duas únicas famílias que possuem espécies com todos os hábitos de crescimento e ocorrência em todos os habitats, principalmente em regiões tropicais. Barbosa (2021) relatou que estas famílias aparecem tanto em áreas de cerrado lato sensu quanto em áreas antropizadas, em consonância com os resultados obtidos no presente estudo, para lavouras de grãos (áreas antropizadas).

No que concerne à família Cyperaceae, 6 espécies foram identificadas neste estudo (*Cyperus esculentus*, *C. iria*, *C. meyenianus*, *C. odoratus*, *C. rotundus* e *C. ferax*), com destaque para *C. rotundus*, que está amplamente distribuída ao redor do mundo (WANG *et al.*, 2021). Desde a antiguidade, os seus rizomas e tubérculos já eram usados para o tratamento de doenças intestinais e estomacais em diversos países, como por exemplo China e Japão (SRIVASTAVA *et al.*, 2013). Mas com o passar dos anos essa espécie começou a se espalhar de maneira descontrolada pelo mundo, principalmente nas regiões tropicais e subtropicais, onde é considerada como uma das plantas daninhas mais difundidas e prejudiciais à agricultura (QASIM *et al.*, 2014). Para Prakash *et al.* (2019), sua grande distribuição se deve à alta capacidade de se adaptar a diferentes condições ambientais, altitudes e propriedades do solo.

Gêneros botânicos

Os gêneros *Cyperus spp.* e *Spermacoce spp.* apresentaram maior riqueza de espécies, com 6 e 5 espécies, respectivamente, seguidos pelos gêneros *Ipomoea spp.* e *Sida spp.*, com 4 espécies cada. A maioria dos gêneros apresentou baixa representatividade em relação ao número de espécies, em torno de 73,73% dos gêneros identificados são representados por apenas uma espécie (Figura 3).

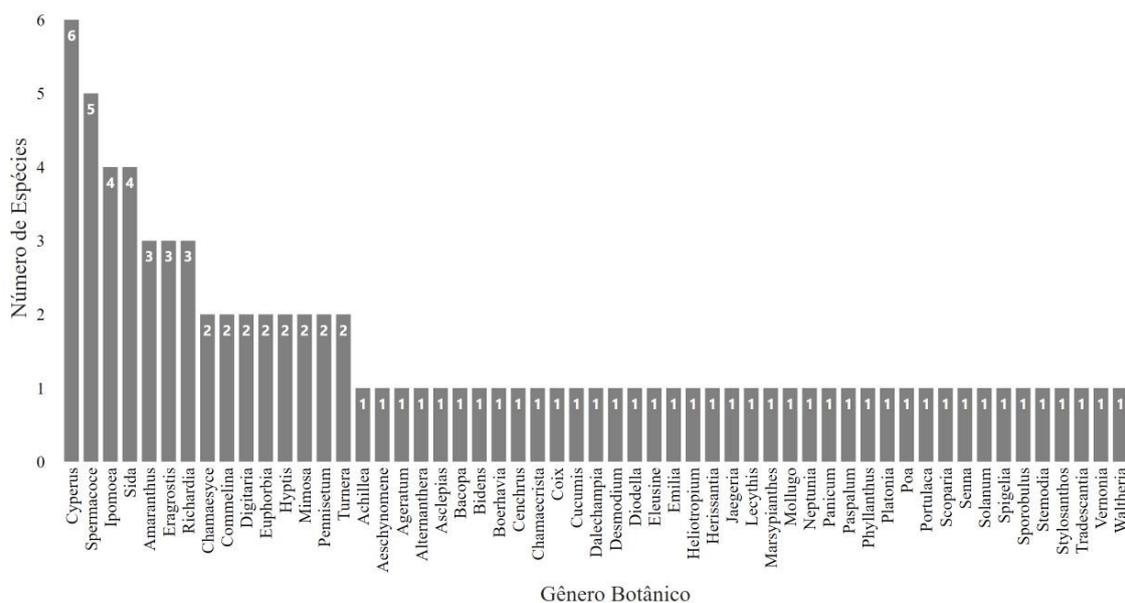


Figura 3. Número de espécies de plantas daninhas por gênero botânico, em lavouras de grãos pertencentes a sete municípios da mesorregião Leste Maranhense.

De acordo com Goetghebeur (1998), o gênero *Cyperus* spp. apresenta cerca de 600 espécies. No Brasil, Alves *et al.* (2015) registraram cerca de 100 espécies, distribuídas em diferentes biomas. A presença em diversos ambientes está relacionada principalmente às diversidades quanto às vias fotossintéticas predominantes nas espécies que o compõe (LI *et al.*, 1999). Segundo estes autores, as espécies com fisiologia C₃ têm ótima distribuição em ambientes de baixas temperaturas e menor luminosidade, ao passo que as C₄ adaptam-se melhor em ambientes com temperaturas mais elevadas, alta radiação solar e déficit hídrico. Condições ambientais que são características do cerrado brasileiro e, portanto, selecionam maior predominância de espécies C₄.

O gênero *Spermacoe* spp. (sinônimo *Borreria* spp.) é considerado o maior da família Rubiaceae e está distribuído em todas as regiões tropicais e subtropicais do mundo, com representatividade de cerca de 300 espécies (DESSEIN *et al.*, 2002), das quais 100 espécies foram registradas na América do Sul (MIGUEL; CABRAL, 2013; MIGUEL *et al.*, 2015) e 70 espécies no Brasil (MIGUEL *et al.*, 2015; SOUZA *et al.*, 2016).

As espécies deste gênero apresentam hábito de crescimento herbáceo, ciclo de vida anual e/ou perene, folhas opostas ou pseudoverticiladas, inflorescências compactas laterais e terminais, ramos cilíndricos a tetrágonos, estípulas fimbrias e conectadas aos pecíolos, e sementes elipsoides, ovoides ou oblongóides, com coloração castanha a preta (NEPOMUCENO *et al.*, 2018).

Hábito de crescimento

Houve relevante diversidade quanto ao hábito de crescimento das plantas daninhas identificadas em lavouras de grãos de sete municípios da mesorregião Leste Maranhense.

Entretanto, com largo predomínio de plantas daninhas herbáceas, que abrangeram cerca de 77% das espécies identificadas (Figura 4).

Hábitos de Crescimento • Herbácea • Semi-arbustivo • Trepadeira • Arbóreo • Arbustiva

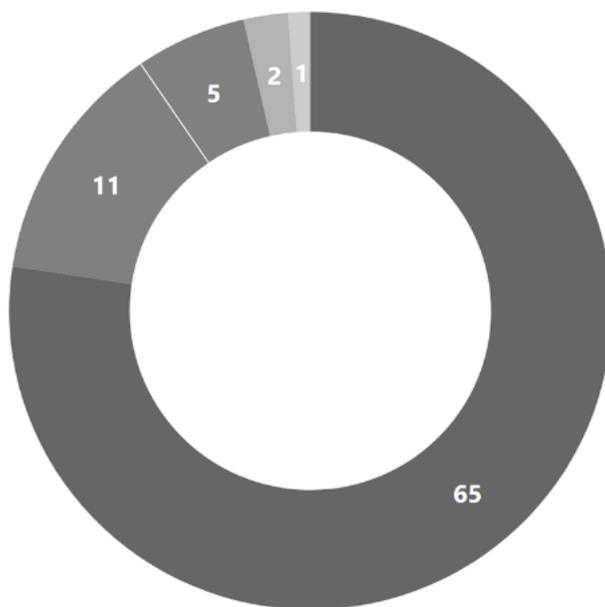


Figura 4. Hábito de crescimento de plantas daninhas identificadas em lavouras de grãos, pertencentes a sete municípios da mesorregião Leste Maranhense.

Este cenário corroborou com os encontrados por Caetano *et al.* (2018) durante levantamento fitossociológico realizado em lavoura de soja na Bahia e Costa *et al.* (2021), em análise de um sistema agrícola com histórico de produção de hortaliças-leguminosas, no estado da Paraíba, onde também observaram a predominância de plantas daninhas herbáceas. Para Lopes *et al.* (2020a), a predominância de espécies com esse hábito crescimento é reflexo da antropização da vegetação nativa, que estimula a presença de plantas colonizadoras.

No que se refere às plantas daninhas semi-arbustivas, detectaram-se 11 espécies, englobando 13,1% das espécies registradas na composição florística. Dentre estas, destaca-se a *Senna obtusifolia* (fedegoso) que conforme Moreira e Bragança (2011), está presente em praticamente todos os polos produtivos do Brasil, como lavouras anuais e perenes, pastagem, fruticultura, bordas de florestas e terrenos baldios. Segundo Gabardo (2018), o fedegoso é uma espécie com sementes naturalmente tóxicas, que podem ocasionar infortúnios ao produtor, pois os seus resquícios quando encontrados em cargas de grãos destinadas à exportação, promove muitas recusas de cargas por partes dos países importadores.

As plantas daninhas trepadeiras englobaram 5 espécies, das quais 4 pertencem ao gênero *Ipomoea*. Conforme Pagnoncelli *et al.* (2017), estas espécies conseguem escalar culturas de interesse econômico e reduzir a disponibilidade de luz, promovendo a redução da taxa fotossintética e, conseqüentemente, causando decréscimos na produtividade.

Além de ocasionar inconvenientes na colheita mecanizada, principalmente de grãos, pois agarram-se à cultura e promovem aumento de umidade e impurezas que se aderem aos grãos colhidos (RAMOS *et al.*, 2019). Essas espécies também se beneficiam da colheita mecanizada para se disseminar no ambiente, pois podem ser espalhadas em grandes distâncias durante a operação.

As plantas daninhas arbóreas abrangem apenas duas espécies, *Platonia insignis* e *Lecythis lúrida*, que estão relacionadas à rebrota da vegetação nativa do cerrado durante a exploração agrícola, possivelmente por ineficiência operacional durante a abertura das áreas e/ou dificuldade de controle na lavoura, uma vez que são plantas lenhosas e com robusto sistema radicular, o que interfere na metabolização de alguns herbicidas. Em anuência com Bandeira *et al.* (2018), em levantamento fitossociológico de plantas daninhas na cultura do feijão-caupi, no município de Vitória da Conquista (BA), e com Silva *et al.* (2013), em estudo das plantas daninhas na cultura do arroz, no município Santa Luzia (MA), que também relataram a presença de plantas daninhas de porte arbóreo em cerrado antropizado.

Em contrapartida, é importante enfatizar a preservação das áreas de proteção permanente, visando resguardar a diversidade genética destas espécies, uma vez que desempenham relevante papel ambiental e socioeconômico, principalmente para os povos camponeses. O bacurizeiro (*Platonia insignis*) é uma planta muito utilizada para obtenção de frutas (bacuri) que são comercializadas e consumidas no mercado interno, principalmente nos meses de maior produção (NETO, 2010). Ao passo que a sapuracana (*Lecythis lúrida*) é utilizada por pequenos produtores de caprinos para o combate de ectoparasitos (ALMEIDA *et al.*, 2019a).

Classes botânicas

Houve predomínio de plantas daninhas eudicotiledôneas (73,81%), comparativamente às monocotiledôneas (Figura 5). Esses resultados foram congruentes aos obtidos por Santos *et al.* (2017) em lavoura de soja no sudoeste de Tocantins; Marques *et al.* (2010), em levantamento da composição florísticas na cultura do feijão em Zé Doca (MA), e Cabrera *et al.* (2019), em levantamento fitossociológico de plantas daninhas da cultura da cana-de-açúcar em diferentes áreas agroecológicas na província de Tucumán na Argentina.

Classes • Eudicotiledônea • Monocotiledôneas

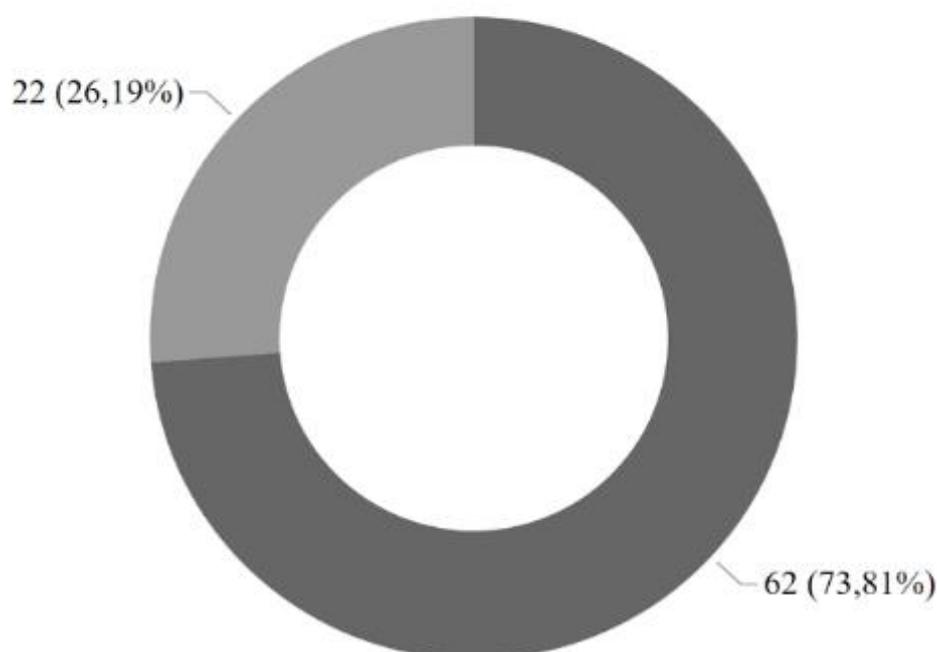


Figura 5. Classes botânicas de plantas daninhas identificadas em lavouras de grãos, pertencentes a sete municípios da mesorregião Leste Maranhense.

De acordo com Pitelli (1987), a comunidade infestante, na maioria das vezes, possui características botânicas muito semelhantes às espécies cultivadas na lavoura. Logo, a predominância dos cultivos de soja (espécie eudicotiledônea) nos municípios visitados pode estar relacionada à representatividade de plantas daninhas latifólias no presente estudo. Dentre estas, pode-se destacar *Amaranthus hybridus* e *Euphorbia heterophylla*, que estão listadas como tolerantes e/ou resistentes a herbicidas, como o glifosato, atualmente o principal herbicida utilizado em lavouras de grãos no cenário mundial. Assim como, *Bidens pilosa*, *Amaranthus retroflexus* e *Ageratum conyzoides*, espécies relacionadas como tolerantes ou resistentes aos inibidores da acetolactato sintase (ALS) (HEAP, 2022).

As espécies monocotiledôneas englobaram 26,19% e distribuíram-se em apenas três famílias botânicas (Commelinaceae, Cyperaceae e Poaceae). A família Poaceae contemplou cerca de 65% das espécies, em consonância com Lima *et al.* (2016) ao analisarem a presença de planta daninhas em diferentes períodos na cultura do feijão-caupi no município de Vitória da Conquista (BA) e Gomes *et al.* (2011), os quais também evidenciaram maior número de espécies monocotiledôneas pertencentes às famílias Poaceae e Cyperaceae, em estudo realizado em diferentes cultivos de café no município de Rolim de Moura (RO).

Embora menos representativas que as eudicotiledôneas, é importante enfatizar que entre as espécies monocotiledôneas, *Eleusine indica* é relatada com resistência ou

tolerância múltipla ao mecanismo inibidor da acetil-Coa carboxilase (ACCase) e ao mecanismo inibidor da EPSP sintase; e a *Cyperus iria*, relatada como tolerante ou resistente aos inibidores da ALS (HEAP, 2022).

Ciclo de vida

A maioria das plantas daninhas identificadas são anuais (50%) (Figura 6). Em conformidade com Albuquerque *et al.* (2012) que ao analisarem a ocorrência de plantas daninhas após cultivo de milho na savana Amazônica; Almeida *et al.* (2019b), em levantamento fitossociológico de plantas daninhas em cultivo de açaizeiro, e Ramírez *et al.* (2015), em levantamento fitossociológico de ervas daninhas associadas a cultivos de arroz em Tolima na Colômbia, também observaram que a maioria das espécies exibiram ciclo de vida anual e correlacionaram este fato com a predominância da propagação por sementes.

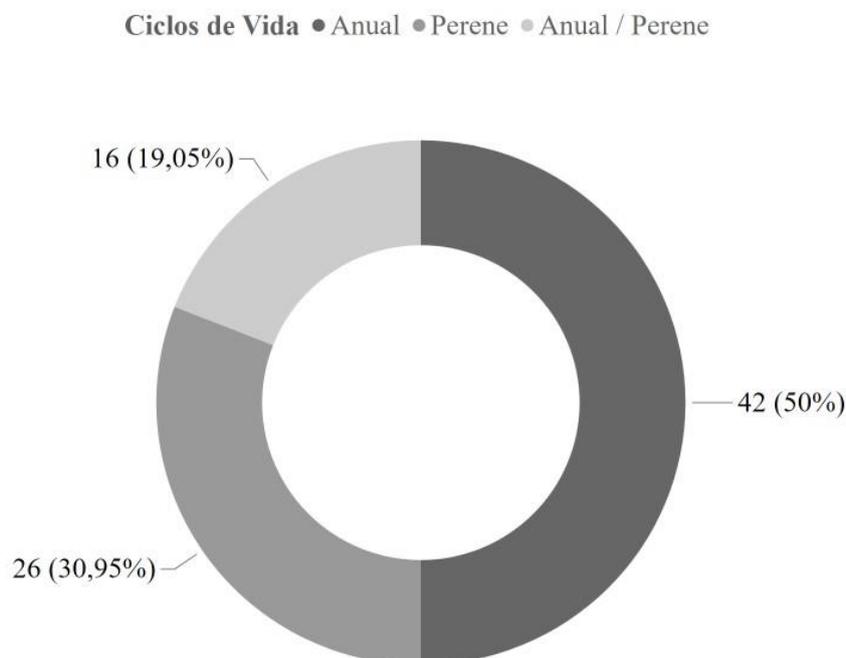


Figura 6. Ciclo de vida de plantas daninhas identificadas em lavouras de grãos, pertencentes a sete municípios da mesorregião Leste Maranhense.

Deste modo, recomenda-se o controle dessas espécies antes da fase reprodutiva, pois algumas delas apresentam alta capacidade de produção de sementes e, em apenas um ciclo de vida, são capazes de reabastecer o banco de dissemináculos para vários anos posteriores (GUL *et al.*, 2018).

As plantas daninhas perenes (30,95%) podem ter sua ocorrência relacionada à entressaiz quanto ao controle químico, físico e mecânico, comparativamente às plantas anuais, pois desenvolvem raízes muito profundas e possuem uma ótima capacidade de produção e dispersão de sementes (MASCARENHAS *et al.*, 1999). Em consonância, Buhler *et al.* (1994) analisando populações de plantas daninhas perenes após 14 anos de cultivo de grãos (soja e milho), constataram populações maiores e mais diversificadas em sistemas com mínimo revolvimento de solo. Dito isto, a presença dessas espécies nas

lavouras do Leste Maranhense, pode estar relacionada dentre outros aspectos, à tentativa de implementação de um modelo sustentável de produção e conservação de solo.

Entre as espécies identificadas, 16 (19,05%) foram classificadas como perenes/anuais, ou seja, podem se comportar como anuais ou perenes em função do ambiente. Lessa *et al.* (2013) salientaram que a maioria das plantas daninhas apresentam mecanismos de aclimação a condições adversas, que abrangem aprofundamento do sistema radicular, presença de pelos na epiderme, redução de área foliar, encurtamento do ciclo fenológico, alterações na condutância estomática e eficiência de uso da água, dentre outros aspectos que propiciam sobreviverem e até se perpetuarem nestes ambientes.

A guaxuma (*Sida rhombifolia*), por exemplo, quando encontrada em cultivos anuais, nas partes dos talhões onde realizam-se periodicamente manejos que promovem sua supressão sugere-se que seu ciclo seja anual. Mas, em partes dos talhões onde não há revolvimento do solo ou aplicação de herbicidas, esta espécie pode apresentar-se de forma perene (CONSTANTIN *et al.*, 2007).

Forma de reprodução

A maioria das plantas daninhas apresentaram forma de reprodução via semente (Figura 7). Em congruência com os resultados obtidos por Albuquerque *et al.* (2017) no estudo florístico de plantas daninhas em cultivos de melancia na savana de Roraima, onde constataram que 88,24% das plantas daninhas propagavam-se sexuadamente. E por Silva *et al.* (2018), em levantamento florístico de lavoura rotacionada de milho e feijão-caupi em plantio direto, onde observaram-se que 92,1% das plantas daninhas reproduziam-se por sementes.

Formas de Propagação ● Sementes ● Sementes e Propagulos

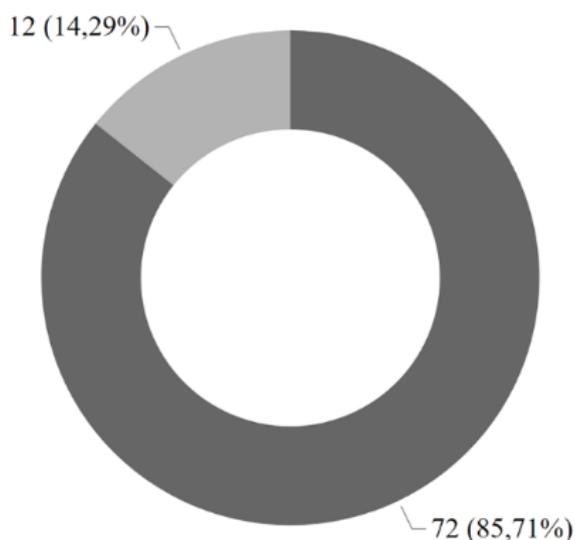


Figura 7. Formas de reprodução de plantas daninhas identificadas em lavouras de grãos, pertencentes a sete municípios da mesorregião Leste Maranhense.

Para Zimdahl (2007), a propagação por sementes é a principal forma de reprodução das plantas daninhas, principalmente aquelas com ciclo de vida anual. Muitas espécies produzem relevante quantidade de sementes viáveis durante o seu ciclo, sendo capazes de reabastecer o banco de sementes do solo por anos (LOPES *et al.*, 2020a; LOPES *et al.*, 2020b; SILVA *et al.*, 2021b) e garantir a sobrevivência de sua espécie. No requisito número de sementes viáveis por ciclo fenológico, as espécies do gênero *Amaranthus* apresentam uma grande capacidade produtiva, conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Número estimado de sementes que as espécies ocorrentes em lavouras de soja na mesorregião Leste Maranhense apresentam potencial de produção.

Espécie	Nº de sementes viáveis	Literatura citada
<i>Amaranthus retroflexus</i>	117.400	Stevens (1932)
<i>Achillea millefolium</i>	210	Stevens (1932)
<i>Amaranthus deflexus</i>	120.000	Deuber (1992)
<i>Amaranthus hybridus</i>	120.000	Deuber (1992)
<i>Bidens pilosa</i>	3.000	Bartolome <i>et al.</i> (2013)
<i>Cyperus iria</i>	3.350	Datta (1976)
<i>Portulaca oleracea</i>	52.300	Stevens (1932)
<i>Portulaca oleracea</i>	53.000	Deuber (1992)
<i>Sida spp.</i>	510	Stevens (1932)
<i>Sporobolus indicus</i>	45.000	Sellers <i>et al.</i> (2020)

Estima-se que a espécie *A. retroflexus* tenha aptidão de disseminar cerca de 117,4 mil sementes viáveis por ciclo de vida, seguida pelas espécies *A. deflexus* e *A. hybridus*, com 120 mil sementes (Tabela 3). A ocorrência destas espécies em lavouras desperta alertas, uma vez que tem grande habilidade competitiva, demandando o seu controle antes da fase reprodutiva para evitar o reabastecimento do banco de sementes. No caso da *Sporobolus indicus*, atualmente não existem herbicidas registrados para seu controle no Brasil (AGROFIT, 2022), onde a prevenção torna-se a principal estratégia de mitigação da disseminação em polos produtivos, principalmente pastagens (DIAS-FILHO, 2015).

Além da propagação por sementes, algumas espécies (14,29%) apresentam propágulos, como caules subterrâneos (rizomas, tubérculos ou bulbilhos), que junto às sementes funcionam como órgãos de propagação. Dentre estas, destacam-se a trapoeraba (*Commelina benghalensis*), juncinha (*Cyperus. esculentus*), tiririca (*Cyperus. rotundus*) e o junquinho (*Cyperus ferax*). Segundo Silva (2020b), são espécies economicamente muito importantes e que graças à multiplicidade propagativa, tornam-se mais agressivas, pois seus órgãos subterrâneos possuem reservas de energia e ao serem submetidos a danos mecânicos se espalham e rebrotam facilmente, garantindo sua perpetuação no ambiente.

Análise de similaridade da infestação por município

O índice de similaridade de Sorensen representa a ocorrência de espécies comuns entre dois ou mais ambientes (Cardoso *et al.*, 2016). Segundo os critérios estabelecidos por Felfili e Venturoli (2000), o índice é considerado alto quando ultrapassa 50%.

Na Tabela 4 pode-se observar que o município de São Benedito obteve índices superiores a 50% quando comparado com os municípios de Santa Quitéria (67%) e Mata Roma (54%). O município de Mata Roma também alcançou altos índices de similaridade quando comparado com os municípios de Santa Quitéria (51%) e Brejo (54%) (Tabela

4). Segundo Souza *et al.* (2017), esta relevante semelhança pode estar associada às uniformidades e/ou similaridades quanto às práticas de manejo do solo, revelo, tipo de solo, condições climáticas, controle de plantas daninhas, cultivares de soja exploradas etc.

Tabela 4. Coeficiente de similaridade dos levantamentos florísticos realizados em 7 municípios do Leste Maranhense: Anapurus, Buriti, Brejo, Chapadinha, Mata Roma, Santa Quitéria e São Benedito do Rio Preto.

Local	Brejo	Buriti	Chapadinha	Mata Roma	Santa Quitéria	São Benedito
Anapurus	35%	44%	22%	47%	46%	46%
Brejo	*	34%	40%	54%	36%	36%
Buriti	*	*	23%	36%	42%	43%
Chapadinha	*	*	*	38%	26%	26%
Mata Roma	*	*	*	*	51%	54%
Santa Quitéria	*	*	*	*	*	67%

Legenda:

- Is de até 40%
- Is entre 40 e 50%
- Is maior ou igual a 50%

No geral, foram encontradas duas espécies comuns aos sete municípios analisados, a *Eleusine indica* e *Scoparia dulcis*, reforçando a necessidade de uma atenção maior para essas espécies. A *E. indica*, comumente conhecida no Brasil como capim-pé-de-galinha é extremamente agressiva e hodiernamente é classificada como uma das dez piores plantas daninhas do mundo. Registram-se danos causados em 46 culturas de interesse econômico, exploradas em mais de 60 países (NG *et al.*, 2004). Ocorre tanto em cultivos perenes quanto em cultivos anuais (MOROTA *et al.*, 2018). Cada planta desta espécie produz em média 40 mil sementes viáveis durante o seu ciclo (KISSMANN, 2007; SILVA, 2020c), porém acredita-se que elas possuem a capacidade de produzir até 140 mil sementes viáveis (LEE; NGIM, 2000).

Segundo Vidal *et al.* (2006), o capim-pé-de-galinha possui ótima adaptação a solos com acidez elevada, fertilidade baixa e compactados, podendo servir como planta indicadora dessas condições. Estas características são peculiares no Leste Maranhense, que apresenta lavouras exploradas em solos coesos originários dos sedimentos argiloarenosos da Formação Barreiras (DANTAS *et al.*, 2014), com baixo teor de matéria orgânica e elevada tendência à compactação. O que leva a acreditar-se que seja um dos principais motivos para sua aparição em todos os municípios estudados, geralmente de forma relevante como apresentado em levantamentos fitossociológicos realizados por Silva *et al.* (2021a) e Silva *et al.* (2022), em Brejo (MA) e Mata Roma (MA).

Outro fator que possivelmente se relaciona com a grande importância dessa espécie na mesorregião Leste Maranhense é sua capacidade de adquirir resistência a herbicidas. No Brasil há 3 casos de resistência da *Eleusine indica* a herbicidas. O primeiro ocorreu em 2003, com resistência aos herbicidas cyhalofop, fenoxaprop e sethoxydim (inibidores da ACCase). Em 2016, resistência a glifosato (inibidor da EPSPs). E, em 2017, foi notificada resistência múltipla a fenoxaprop e haloxyfop (inibidores da ACCase) e glifosato (inibidor da EPSPs) (HEAP, 2022).

Considerações finais

A composição florística de plantas daninhas dos sete municípios estudados apresentou 87 espécies, pertencentes a 24 famílias botânicas. As famílias mais representativas foram Poaceae, Rubiaceae e Fabaceae. Os gêneros botânicos *Cyperus* e *Spermacoce* se destacaram com os maiores números de espécies. A maioria das plantas daninhas pertencem a classe botânica eudicotiledônea, com ciclo de vida anual, hábito de crescimento herbáceo e propagação por sementes. Observaram-se duas espécies comuns aos sete municípios, a citar-se, *Eleusine indica* e *Scoparia dulcis*.

O município de São Benedito obteve altos índices de similaridade quando comparado com os municípios de Santa Quitéria e Mata Roma, assim como, Mata Roma com os municípios de Santa Quitéria e Brejo. A partir de estudos a respeito da composição florística de plantas daninhas numa determinada fronteira agrícola torna-se possível conhecer os padrões de distribuição e características predominantes, para desta forma, realizar-se eficiente manejo das espécies infestantes em lavouras.

Referências

- ABDALLA, M. *et al.* Assessing the combined use of reduced tillage and cover crops for mitigating greenhouse gas emissions from arable ecosystem. **Geoderma**, v. 223-225, p. 9-20, 2014.
- ABDI, D. E. *et al.* Reducing pesticide transport in surface and subsurface irrigation return flow in specialty crop production. **Agricultural Water Management**, v. 256, p. 107124, 2021.
- ADEGAS, F. S. *et al.* Levantamento fitossociológico de plantas daninhas na cultura do girassol. **Planta Daninha**, v. 28, p. 705-716, 2010.
- ADEGAS, F.S. *et al.* **Euphorbia heterophylla**: Um novo caso de resistência ao glifosato no Brasil. **Comunicado Técnico**, v. 98, p. 1-5, 2020.
- ADEGAS, F.S. *et al.* **Impacto econômico da resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil**. 1. ed. Londrina, PR: EMBRAPA SOJA, 2017. 11 p. (Circular Técnica 123).
- AGARWAL, M.; SHRIVASTAVA, N.; PADH, H. Advances in molecular marker techniques and their applications in plant sciences. **Plant Cell Reports**, v. 27, p. 617-31, 2008.
- AGOSTINETTO, D. *et al.* Dano econômico como critério na decisão sobre manejo de genótipos de arroz concorrentes em arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 1-9, 2004.
- AGOSTINI, L.P. *et al.* Effects of Glyphosate Exposure on Human Health: Insights from Epidemiological and in Vitro Studies. **Science of The Total Environment**, v. 705, p. e135808, 2020.
- AGROFIT. **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. 2022. Disponível em <https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 09 de maio de 2022
- AHANGAR, A. G. *et al.* Separating the effects of organic matter–mineral interactions and organic matter chemistry on the sorption of diuron and phenanthrene. **Chemosphere**, v. 72, p. 886-890, 2008.
- AHMAD, R. *et al.* The nature of soil organic matter affects sorption of pesticides. 1. Relationships with carbon chemistry as determined by ¹³C CPMAS NMR spectroscopy. **Environmental Science & Technology**, v. 35, p. 878-884, 2001.
- ALBARRÁN, A. *et al.* Behaviour of simazine in soil amended with the final residue of the olive-oil extraction process. **Chemosphere**, v. 54, p. 717-724, 2004.
- ALBRECHT, A. J. P. Interferência de densidades populacionais de buva na produtividade de soja. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS**. Anais. Rio de Janeiro, 2018.
- ALBRECHT, L.P.; ALBRECHT, A.J.P.; VICTORIA FILHO, R. Soja RR e o Glyphosate. In: ALBRECHT, L. P.; MISSIO, R. F. **Manejo de cultivos transgênicos**. 1. ed. Palotina, PR: UFPR, 2013, cap. 2, p. 25-45.
- ALBUQUERQUE, J. A. A. *et al.* Estudo florístico de plantas daninhas em cultivos de melancia na Savana de Roraima, Brasil. **Scientia Agropecuaria**, v. 8, p. 91-98, 2017.
- ALBUQUERQUE, J. A. A. *et al.* Ocorrência de plantas daninhas após cultivo de milho na savana amazônica. **Planta Daninha**, v. 30, p. 775-782, 2012.
- ALBUQUERQUE, J. A. A. *et al.* Phytosociology and morphological characteristics of weeds under cover crops intercropped with soybean under no-tillage. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, p. 60248-60260, 2021.
- ALBUQUERQUE, J. A. A. *et al.* Weed incidence after soybean harvest in no-till and conventional tillage crop rotation systems in Roraima's Cerrado. **Planta Daninha**, v. 35, p. e017162796, 2017.
- ALCANTARA NETO, F. *et al.* Floristic composition of weeds in a dystrophic Red-Yellow Argisol under the cultivation of cowpea, cv. BRS Novaera. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, p. 767-772, 2019.
- ALDRICH, R. J. **Weed-crop ecology**. 1. ed. North Scituate: Breton Publ, 1984.
- ALEKSEEVA, T. *et al.* Effect of soil properties on pure and formulated mesotrione adsorption onto vertisol (Limagne plane, Puy-de-Dôme, France). **Chemosphere**, v. 111, p. 177-183, 2014.
- ALEMAYEHU, B.; TESHOME, H. Soil colloids, types and their properties: A review. **Open Journal of Bioinformatics and Biostatistics**, v. 5, p. 08-13, 2021.
- ALISTER, C.; ARAYA, M.; KOGAN, M. Effects of physicochemical soil properties of five agricultural soils on herbicide soil adsorption and leaching. **Ciencia e investigación agraria: revista latinoamericana de ciencias de la agricultura**, v. 38, p. 243-251, 2011.
- ALMEIDA, J. G.; MATTOS JUNIOR, J. S. A dinâmica da produção de soja no município de Brejo (MA) e seus reflexos na produção agrícola camponesa. **CAMPO-TERRITÓRIO: revista de geografia agrária**, v. 11, p. 374-399, 2016.
- ALMEIDA, J. G.; SODRÉ, R. B.; MATTOS JUNIOR, J. S. O matopiba nas chapadas maranhenses: impactos da expansão do agronegócio na microrregião de chapadinha. **Revista Nera**, v. 22, p. 248-271, 2019a.
- ALMEIDA, U. O. *et al.* Fitossociologia de plantas daninhas em cultivo de açaizeiro. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, p. 59-67, 2019b.
- ALVES, E. R. de A.; COTINI, E.; GASQUES, J. G. Evolução da produção e produtividade da agricultura brasileira. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. da (Ed.). **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. cap. 2, p. 67-98.
- ALVES, M. *et al.* Cyperaceae in lista de espécies da flora do Brasil. **Jardim Botânico do Rio de Janeiro**, 2015. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB82185>>. Acesso em: 05 de abril de 2022.
- AMARAL, L. da G.; FILHO, F. A. da S. **Sistemática Vegetal II Estudo das plantas vasculares**. 1. ed. Florianópolis: Biologia/EaD/UFSC, 2010. 162 p.
- AMIM, R.T. *et al.* Banco de sementes do solo após aplicação de herbicidas pré-emergentes durante quatro safras de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, p.1710-1719, out. 2016.
- ANDREA, M. C. S. *et al.* Variability and limitations of maize production in Brazil: Potential yield, water-limited yield

- and yield gaps. **Agricultural Systems**, v. 165, p. 264–273, 2018.
- ANDRÉS, E.G. *et al.* On glyphosate–kaolinite surface interactions. A molecular dynamic study. **European Journal of Soil Science**, v.72, p.1231-1242, 2021.
- ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). **Parecer Técnico de Reavaliação. RDC nº 428, de 07 de outubro de 2020.** Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=08/10/2020&jornal=515&pagina=67>. Acesso: 01/05/2022.
- ARAÚJO, F. C.; NASCENTE, A. S.; GUIMARÃES, J. L. N.; SOUSA, V. S.; SILVA, M. A. Cultivo de plantas de cobertura na produção de biomassa de plantas daninhas. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO**, 6. Anais. Balneário Camboriú: Embrapa Arroz e Feijão, 2019.
- ARIAS-ESTÉVEZ, M. *et al.* The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 123, p. 247-260, 2008.
- ASGARIAN, A. *et al.* Experiments and modeling of the breakup mechanisms of an attenuating liquid sheet. **International Journal of Multiphase Flow**, v. 130, p. 103347, 2020.
- ASLAM, S. *et al.* Adsorption and desorption behavior of selected pesticides as influenced by decomposition of maize mulch. **Chemosphere**, v. 91, p. 1447-1455, 2013.
- AVILA, I. A. M. *et al.* Soil attributes and weed seedbank spatial correlation. **Bioscience Journal**, v. 35, p. 1871-1877, 2019.
- AWAD, A. M. *et al.* Adsorption of organic pollutants by natural and modified clays: a comprehensive review. **Separation and Purification Technology**, v. 228, p. 115719, 2019.
- BACHEGA, L. P. S. *et al.* Períodos de interferência de plantas daninhas na cultura do quiabo. **Planta Daninha**, v. 31, p. 63–70, 2013.
- BAJWA, A. A. *et al.* Biology and management of two important *Conyza* weeds: a global review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, p. 24694-24710, 2016.
- BAKER H. G. The Evolution of Weeds. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 5, p. 1–24, 1974.
- BALLARÉ C. L. *et al.* The demography of *Datura ferox* (L.) in soybean crops. **Weed Research**, v. 27, p. 91–102, 1987.
- BANDEIRA, A. S. *et al.* Levantamento fitossociológico de plantas daninhas na cultura do feijão-caupi. **Cultura Agrônômica**, v.27, p.327-340, 2018.
- BARBOSA JÚNIOR, M. R. *et al.* The Time of Day Is Key to Discriminate Cultivars of Sugarcane upon Imagery Data from Unmanned Aerial Vehicle. **Drones**, v. 6, p. 1–12, 2022b.
- BARBOSA JÚNIOR, M. R. *et al.* UAVs to Monitor and Manage Sugarcane: Integrative Review. **Agronomy**, v. 12, p. 1-19, 2022a.
- BARBOSA, A. V. M. **Estudo florístico de um cerrado sensu stricto em afloramento de calcário no Pontal do Triângulo Mineiro.** 2021. 29f. Monografia (Bacharel em Ciências) – Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba.
- BARON V.; ANJOS J. B. **Mecanização agrícola com tração animal.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 9, p. 30-35, 1983.
- BARON, E. B. **Resposta da cultura da soja a diferentes arranjos espaciais.** 2013. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília.
- BARROSO, A. A. M. *et al.* Accase and glyphosate diferent formulations herbicides association interactions on sourgrass control. **Planta daninha**, v. 32, p. 619-627, 2014.
- BARROSO, A. A. M.; MURATA, A. T. **Matologia: estudos sobre plantas daninhas.** 1. ed. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 2021. 547 p.
- BARTOLOME, A. P. *et al.* *Bidens pilosa* L. (Asteraceae): botanical properties, traditional uses, phytochemistry, and pharmacology. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2013 p. 1-51, 2013.
- BATTISTI, R. *et al.* Rules for grown soybean-maize cropping system in Midwestern Brazil: Food production and economic profits. **Agricultural Systems**, v.182, p.102850, 2020.
- BENECH-ARNOLD R. L.; SÁNCHEZ R. A.; FORCELLA F. Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. **Field Crops Research**, v. 67, p. 105–122, 2000.
- BENEDITO, V. A.; BACHA, A. L.; ALVES, P. L. C. A. Efeito alelopático do tremoço branco em rotação com milho. In: **CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP**, 33. Anais. Jaboticabal: UNESP, 2021.
- BENSCH, C. N., HORAK, M. J., PETERSON, D. Interference of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*), Palmer amaranth (*A. palmeri*), and common waterhemp (*A. rudis*) in soybean. **Weed Science**, v. 51, p. 37-43, 2003.
- BENTO, C. P. M. *et al.* Glyphosate and AMPA distribution in wind-eroded sediment derived from loess soil. **Environmental pollution**, v. 220, p. 1079-1089, 2017.
- BERNARDI, A. C. C. *et al.* (Eds.) **Agricultura de Precisão: Resultados de um novo olhar.** Brasília, DF: Embrapa, 2014. 596p.
- BERNS, A. E. *et al.* Interactions between 2-Aminobenzothiazole and Natural Organic Matter as Evidenced by CPMAS Nitrogen-15 NMR Spectroscopy. **Vadose Zone Journal**, v. 8, p. 670-676, 2009.
- BLANCO F. M. G. Classificação e mecanismos de sobrevivência das plantas daninhas. In: MONQUEIRO P. A. **Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas.** 1. ed. São Paulo: SBCPD, 2014. cap 1, p. 33-59.
- BLATCHLEY, W. S. The Indiana Weed Book Nature Pub. Co, Indianapolis, IN, 1912.
- BOOTH, B. D.; MURPHY, S. D.; SWANTON, C. J. **Weed ecology in natural and agricultural systems.** 2. ed. Cambridge: CABI, 2003. 303 p.
- BORCHARTT, L. *et al.* Períodos de interferência de plantas daninhas na cultura do feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ciencia Agronomica**, v. 42, p. 725–734, 2011.

- BORGES W. L. B. *et al.* Supressão de plantas daninhas utilizando plantas de cobertura do solo. **Plantas Daninhas**, v. 32, p. 755-763, 2014.
- BOTTEGA, E. L. *et al.* Spatial and temporal distribution of weeds in no-tillage system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 1107-1111, 2016.
- 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, p. 105558, 2021.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 40, de 11 de outubro de 2018. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Seção 1, n. 198, p. 3, 15 out. 2018.
- BRAZ, G. B. P. *et al.* Sourgrass interference on soybean grown in Brazilian Cerrado. **Revista Caatinga**, v. 34, p. 350-358, 2021.
- BRICEÑO, G.; PALMA, G.; DURÁN, N. Influence of organic amendment on the biodegradation and movement of pesticides. **Critical reviews in environmental science and technology**, v. 37, p. 233-271, 2007.
- BRIGHENTI A. M.; OLIVEIRA M. F. Biologia de plantas daninhas. In: OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. 1. ed. Curitiba: Ompipax, 2011. p. 1-36.
- BRIGHENTI, A. M.; OLIVEIRA, M. F. Biologia de plantas daninhas. In: OLIVEIRA JR.; R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Edição dos autores. Curitiba: Ompipax, 2011, cap. 1, p. 1-36, 2011
- BRIGHENTI, A.M. *et al.* Persistência e fitotoxicidade de herbicidas aplicados na soja sobre o girassol em sucessão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.559-565, 2002.
- BRIGHENTI, A.M. **Manual de identificação e manejo de plantas daninhas em cultivos de cana-de-açúcar**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2010. 112 p.
- BROWN, D. Estimating the composition of a forest seed bank: a comparison of the seed extraction on seedling emergence methods. **Canadian Journal of Botany**, v. 70, p. 1603-1612, 1992.
- BUHLER, D. D. *et al.* Perennial weed populations after 14 years of variable tillage and cropping practices, **Weed Science**, v. 42, p. 205–209, 1994.
- BURKE, I. C.; BELL, J L. Plant Health Management: Herbicides. In: Van Alfen, N. K. **Encyclopedia of Agriculture and Food Systems**. 2. ed. Davis: Elsevier, 2014. p. 425-440.
- BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems**. 1. ed. Oxford: Clarendon, 1998. p 34.
- BUSI, R. Resistance to herbicides inhibiting the biosynthesis of very-long-chain fatty acids. **Pest Management Science**, v. 70, p. 1378-1384, 2014.
- BUTTS, T. R. *et al.* Droplet size and nozzle tip pressure from a pulse-width modulation sprayer. **Biosystems Engineering**, v. 178, p. 52–69, 2019.
- CABRAL J. I. **Portal Embrapa**, 2005. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/memoria-embrapa/personagens/jose-irineu-cabral>>. Acesso em: 5 jun. 2022.
- CABRERA, D. C. *et al.* Phytosociological survey of sugarcane crop weeds in different agroecological areas in Tucumán province, Argentina. **Planta Daninha**, v. 37, p. 1-10, 2019.
- CAETANO, A. P. O. *et al.* Levantamento fitossociológico na cultura da soja em Luís Eduardo Magalhães-BA. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 17, p. 359-367, 2018.
- CAMBARDELLA, C. A. *et al.* Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of American Journal**, v. 58, p. 1501-1511, 1994.
- CAMPOS, M. A. O. Perdas na colheita mecanizada de soja no estado de Minas Gerais. **Engenharia Agrícola**, v.25, p.207-213, 2005.
- CANOSSA R. S. *et al.* Profundidade de semeadura afetando a emergência de plântulas de *Alternanthera tenella*, **Planta Daninha**, v. 25, p. 719–725, 2007.
- CARDOSO, A. D. *et al.* Levantamento fitossociológico de plantas daninhas na cultura da mandioca em Vitória da Conquista, Bahia. **Bioscience Journal**, v. 29, p. 1130-1140, 2013.
- CARDOSO, I. S. *et al.* Bank of weed seeds in agrosystems in the brazilian cerrado. **Planta Daninha**, v. 34, p. 443-451, 2016.
- CARMONA, R. Problemática e manejo de bancos de sementes de invasoras em solos agrícolas. **Planta Daninha**, v. 10, p. 05-16, 1992.
- CARNEIRO, G. D. O. P. *et al.* Herbicide mixtures affect adsorption processes in soils under sugarcane cultivation. **Geoderma**, v. 379, p. e114626, 2020.
- CARREIRA, V. dos S.; SILVA, R. P. da. Rate errors in sprayer turning and circular movements: PWM valve as compensation system and why spray boom size matters. **Crop Protection**, v. 151, p. 105835, 2022.
- CARVALHO L. B. **Estudos ecológicos de plantas daninhas em agroecossistemas**. Jaboticabal: Editado pelo autor, 2011.
- CARVALHO, L. B. **Herbicidas**. Lages: Ed. do autor, 2013. 62 p.
- CARVALHO, L. B. **Plantas Daninhas**. 1. ed. Lages: Editado pelo autor, 2013. 82p.
- CARVALHO, S. J. P. **Características biológicas e suscetibilidade a herbicidas de cinco espécies de plantas daninhas do gênero *Amaranthus***. 2006. 96p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- CARVALHO, S. J. P. *et al.* Detection of glyphosate-resistant Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) in agricultural areas of Mato Grosso, Brazil. **Planta Daninha**, v. 33, p. 579–586, 2015.
- CASSMAN, K. G. *et al.* Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 28, p. 315–358, 2003.

- CASTALDI, F. *et al.* Assessing the potential of images from unmanned aerial vehicles (UAV) to support herbicide patch spraying in maize. **Precision Agriculture**, v. 18, p. 76–94, 2017.
- CASTRO, C. A. *et al.* Aspects of the mechanism of action of the ammonium glufosinate: resistant crops and resistance of weeds. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 13, p.163-177, 2014.
- CAVALIERI, S. D. *et al.* Tolerância de híbridos de milho ao herbicida isoxaflutole. **Planta Daninha**, v. 26, p. 901-909, 2008.
- CAVERS, P. B.; BENOIT, D. L. Seed banks in amble land. In: Leck, M. A.; Parker, V. T.; Simpson, R. L. (Eds.) **Ecology of Soil Seed Banks**. 1. ed. Academic Press: New York, 1989. cap. 2, p. 309-328.
- CHAGAS, P.S.F. *et al.* Multivariate analysis reveals significant diuron-related changes in the soil composition of different Brazilian regions. **Scientific Reports**, v.9, p. e7900, 2019.
- CHEEMA, Z.A.; KHALIQ A.; SAEED, S. Weed control in maize (*Zea mays* L.) through sorghum allelopathy, **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 23, p. 73-86, 2004.
- CHEN, J. *et al.* Dinitroaniline Herbicide Resistance and Mechanisms in Weeds. **Frontiers in Plant Science**, v.12, p. 1-11, 2021.
- CHEN, S. *et al.* Effect of Droplet Size Parameters on Droplet Deposition and Drift of Aerial Spraying by Using Plant Protection UAV. **Agronomy**, v. 10, p. 195, 2020.
- CHEN, X. *et al.* Producing more grain with lower environmental costs. **Nature**, v. 514, p. 486–489, 2014.
- CHENGXU W. *et al.* Review on allelopathy of exotic invasive plants. **Procedia Engineering**, v. 18, p. 240-246, 2011.
- CHIBA, M. K.; GUEDES FILHO, O.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial e temporal de plantas daninhas em Latossolo Vermelho argiloso sob semeadura direta. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, p. 735-742, 2010.
- CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F. Resistência das plantas daninhas a herbicidas: definições, bases e situação no Brasil e no mundo. **Aspectos de Resistência de Plantas Daninhas a Herbicidas**, v. 3, p. 9-34, 2008.
- CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. Principais aspectos da resistência de plantas daninhas ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, v. 21, p. 507-515, 2003.
- CHRISTOFFOLETI, P. J.; VICTORIA FILHO, R.; SILVA, C. B. da. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas. **Planta Daninha**, v. 12, p. 13–20, 1994.
- CHRISTOFFOLETI, P.J. *et al.* Resistência de plantas daninhas a herbicidas: termos e definições importantes. In: CHRISTOFFOLETI, P. J.; NICOLAI, M. **Aspectos de Resistência de Plantas Daninhas a Herbicidas**. Piracicaba: ESALQ, 2016, cap. 1, p. 11-31.
- CHUNG, I.M.; MILLER, D.A. Natural herbicide potential of alfalfa residue on selected weed species. **Agronomy Journal**, v. 87, p. 920-925, 1995.
- CISCATI R. Quem inventou a agricultura?. **ÉPOCA**, 2016. Disponível em: <<https://epoca.oglobo.globo.com/vida/noticia/2016/07/quem-inventou-agricultura.html>>. Acesso em: 10, jun. 2022.
- CLARK G. H.; FLETCHER J. **Farm weeds of Canada**. 2. ed. Ottawa: Govt. Print. Bureau, 1909. 354 p.
- CNA. Impulsionado por ramo agrícola, PIB do agronegócio cresce 5,35% no 1º trimestre de 2021. **CNA**, 2021. Disponível em: <<https://cnabrasil.org.br/publicacoes/impulsionado-por-ramo-agricola-pib-do-agronegociocresce-5-35-no-1o-trimestre-de2021#:~:text=Depois%20de%20alcan%C3%A7ar%20crescimento%20recorde,35%25%20no%20primeiro%20trimestre%20de>>. Acesso em: 18 jul. 2022.
- COBB, A. H.; READE, J. P. H. **Herbicides and Plant Physiology**. 2. ed. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2010. 296 p.
- COELHO C. N. 70 anos de política agrícola no Brasil (1931-2001). **Revista de política agrícola**, v. 10, p. 3-58, 2001.
- COHEN, O. *et al.* Rain-based soil solarization for reducing the persistent seed banks of invasive plants in natural ecosystems – *Acacia saligna* as a model. **Pest Management Science**, v. 75, p. 1933-1941, 2019.
- COHEN, O. *et al.* Reducing persistent seed banks of invasive plants by soil solarization—The case of *Acacia saligna*. **Weed Science**, v. 56, p. 860-865, 2008.
- COLOMBO, M. *et al.* Agronomic performance of wheat under post-emergence herbicide application. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 52, p. e69908, 2022.
- COMAS, C. *et al.* Analysing spatial correlation of weeds and harvester ants in cereal fields using point processes. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 10, p. 197-205, 2016.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira: grãos. Brasília: Conab, 2021.
- CONCENÇO G. *et al.* Ciência das Plantas Daninhas: Histórico, Biologia, Ecologia e Fisiologia. In: MONQUERO P. A. **Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas**. Santa Paula: Rima, 2014. cap. 1, p. 01-10.
- CONCENÇO, G. *et al.* Ciência das Plantas Daninhas: Histórico, Biologia, Ecologia e Fisiologia. In: MONQUERO, P. A. **Aspectos da Biologia e Manejo das Plantas Daninhas**. São Carlos: Rima, 2014. cap. 1, p. 1-29.
- CONCENÇO, G. *et al.* Ocorrência de espécies daninhas em função de sucessões de cultivo. **Planta Daninha**, v. 31, p. 359-368, 2013.
- CONDE-CID, M. *et al.* Retention of quaternary ammonium herbicides by acid vineyard soils with different organic matter and Cu contents. **Geoderma**, v. 293, p. 26-33, 2017.
- CONSTANTIN, J. *et al.* Controle de espécies de guanxuma com aplicações sequenciais de flumiclorac-pentil. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 29, p. 475-480, 2007.
- CONSTANTIN, J. *et al.* Manejo de entressafra. In: CONSTANTIN, J. *et al.* **Buva: fundamentos e recomendações para manejo**. 1. ed. Curitiba: Ompix Editora, 2013. cap. 6, p. 41-64.

- CONTE, O. *et al.* A evolução da produção de soja na macrorregião sojícola 5. In: HIRAKURI, M. H.; CONTE, O.; PRANDO, A. M.; CASTRO, C.; BALBINOT JUNIOR, A. A. **Diagnóstico da produção de soja na macrorregião sojícola 5**. 1. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2018. cap. 2. p. 23-61.
- CONWAY, G. R.; BARBIER, E. B. **After the green revolution: sustainable agriculture for development**. 1. ed. London: Earthscan Publications, 1990. 210p.
- CORRÊA, M. L. P. *et al.* Dinâmica populacional de plantas daninhas na cultura do milho em função de adubação e manejo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 354-363, 2011.
- COSTA, M. G.; BARBOSA, J. C.; YAMAMOTO, P. T. Distribuição de Probabilidade de Ocorrência de *Orthezia praelonga* Douglas (Hemiptera: Sternorrhyncha: Ortheziidae) na Cultura de Citros. **Neotropical Entomology**, v. 35, p. 395-401, 2006.
- COSTA, N. R. *et al.* Adubação nitrogenada no consórcio de milho com duas espécies de braquiária em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 1038-1047, 2012.
- COSTA, N. V. *et al.* Métodos de controle de plantas daninhas em sistemas orgânicos: breve revisão. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 17, p. 25-44, 2018.
- COSTA, P. M. A.; SILVA, T. S. Levantamento fitossociológico de plantas espontâneas associadas às condições de solo no brejo paraibano. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 16, p. 224-228, 2021.
- CRAFTS, A. S. Weed Control Research: Past, Present, and Future. **Weeds**, v. 8, p. 535, 1960.
- CRAINE, J. M.; DYBZINSKI, R. Mechanisms of plant competition for nutrients, water and light. **Functional Ecology**, v. 27, p. 833-840, 2013.
- CURRAN, W. S. Persistence of herbicides in soil. **Crops & Soils**, v. 49, p. 16-21, 2016.
- DALANHOL, S. J. **Mecanismo de dormência em sementes de *Annona cacans* Warm (Annonaceae)**. 2017. 91f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual Paulista, “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Biociências de Botucatu, Botucatu.
- DAN, H. A. *et al.* Atividade residual de herbicidas pré-emergentes aplicados na cultura da soja sobre o milheto cultivado em sucessão. **Planta Daninha**, v. 29, p. 437-445, 2011.
- DAN, H. A. *et al.* dos. Controle de plantas daninhas em sistemas de cultivo consorciados. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 11, p. 108-118, 2012.
- DAN, H. A. *et al.* Histórico da infestação de buva resistente a herbicidas no mundo e no Brasil. In: CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JUNIOR, R.S. de; OLIVEIRA NETO, A.M. de. **Buva: fundamentos e recomendações para manejo**. Curitiba: Omnipax Editora, 2013. cap. 2, p. 5-9.
- DANTAS, J. S. *et al.* Gênese de solos coesos do leste maranhense: relação solo-paisagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 3, p. 1039-1050, 2014.
- DANTON, A. *et al.* Development of a spraying robot for precision agriculture: An edge following approach. In: **IEEE CONFERENCE ON CONTROL TECHNOLOGY AND APPLICATIONS**, 4. Anais. Montréal: IEEE, 2020.
- DATTA, S. C.; BANERJEE, A. K. The Weight and Number of Seeds Produced by Rice-field Weeds. **PANS**, v. 22, p. 257-263, 1976.
- DAYAN, F. E. *et al.* Herbicide Mechanisms of Action and Resistance. In: Moo-Young, M. **Comprehensive biotechnology**. 3. ed. Amsterdam: Elsevier, 2019. p. 36-48.
- DE WOLF, G. P. J. Notes on making an herbarium. **Arnoldia**, v. 28, p. 69-111, 1968.
- DEKKER, J. **Dinitroanilines**. 1999. Disponível em: <http://agron-www.agron.iastate.edu/~weeds/Ag317-99/manage/herbicide/dnas.html>. Acesso em 01 de maio de 2022.
- DEL MAR ORTA, M. *et al.* Biopolymer-clay nanocomposites as novel and ecofriendly adsorbents for environmental remediation. **Applied Clay Science**, v. 198, p. 105838, 2020.
- DELGADO-MORENO, L.; PEÑA, A. Sorption/desorption behaviour of sulfonylurea herbicides as affected by the addition of fresh and composted olive cake to soil. **Weed research**, v. 48, p. 461-469, 2008.
- DÉLYE, C.; JASIENIUK, M.; LE CORRE, V. Deciphering the evolution of herbicide resistance in weeds. **Trends in Genetics**, v. 29, p. 649-658, 2013.
- DENG, N. *et al.* Closing yield gaps for rice self-sufficiency in China. **Nature Communications**, v.10, p.1-9, 2019.
- DESSEIN, S. *et al.* A new species of Spermaceae (Rubiaceae) from the Manika high plateau (Katanga; R D. Congo). **Nordic Journal of Botany**, v. 22, p. 513-523, 2002.
- DEUBER, R. Botânica das plantas daninhas. In: DEUBER, R. **Ciência das Plantas Daninhas**. 1. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. cap. 2, p. 31-73.
- DEUBER, R. **Ciência das plantas daninhas: Fundamentos**. 1. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 431p.
- DIAS-FILHO, M. B. **Controle de capim-capeta [*Sporobolus indicus* (L.) R. Br.] em pastagens no estado do Pará**. 1. ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2015. 7p.
- DIESEL F. *et al.* Interference of Broadleaf Buttonweed and White-Eye in Soybean. **Planta Daninha**, v. 38, p. 1-14, 2018.
- DIESEL, F. *et al.* Interaction between saflufenacil and other oxidative stress promoting herbicides to control wild poinsettia. **Planta Daninha**, v. 36, p. 1-9, 2018.
- DIETRICH, H.; LABER, B. Inhibitors of Cellulose Biosynthesis. In: KRÄMER, W. *et al.* **Modern Crop Protection Compounds**. 2. ed. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, 2011. p. 339-369.
- DOMINSCHKE, R. *et al.* Crop rotations with temporary grassland shifts weed patterns and allows herbicide-free management without crop yield loss. **Journal of Cleaner Production**, v. 306, p. 127140, 2021.
- DOMINSCHKE, R. *et al.* Diversification of traditional paddy fields impacts target species in weed seedbank. **Revista Ciência Agronômica**, v.53, p. 1-10, 2022.

- DUGGLEBY, R.G.; PANG, S.S. Acetohydroxyacid synthase. **Journal of Biochemistry and Molecular Biology**, 33, p. 1-36, 2000.
- DUKE, S. O.; DAYAN, F. E.; RIMANDO, A. M. Invited Paper: Chemicals from nature for weed management. **Weed Science**, v. 50, p. 138-151, 2002.
- DURIGAN J. C.; TIMOSSI P. C. Manejo de plantas daninhas em pomares cítricos. **Boletim Técnico**, Bebedouro: EECB, 2002. 53 p.
- DUTTA, A. *et al.* Effect of organic carbon chemistry on sorption of atrazine and metsulfuron-methyl as determined by ¹³C-NMR and IR spectroscopy. **Environmental monitoring and assessment**, v. 187, p. 1-12, 2015.
- EHLERS, E. **Agricultura sustentável: origens e perspectivas de um novo paradigma**. 1. ed. São Paulo: Livros da Terra, 1996. 178 p.
- EL ARFAOUI, A. *et al.* Is organic matter alone sufficient to predict isoproturon sorption in calcareous soils?. **Science of the total environment**, v. 432, p. 251-256, 2012.
- ELLIOTT, J.M. **Some methods for the statistical analysis of sample benthic invertebrates**. 2. ed. Ambleside: Freshwater Biological Association, 1979. 157 p.
- EMERSON R. W. Fortune of the Republic. in: **Miscellanies: The Complete Works of Ralph Waldo Emerson**. 1. ed. New York: Houghton Mifflin, 1876. p. 509-544.
- ESPOSITO, M. *et al.* Drone and sensor technology for sustainable weed management: a review. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 8, p. 1-11, 2021.
- FELEDYN-SZEWICZYK, B. *et al.* Weed flora and soil seed bank composition as affected by tillage system in three-year crop rotation. **Agriculture**, v. 10, p. 186, 2020.
- FELFILL, J. M.; VENTUROLI, F. **Tópicos em análise de vegetação**. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, 2000. 34p.
- FENOLL, J. *et al.* Use of different organic wastes as strategy to mitigate the leaching potential of phenylurea herbicides through the soil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, p. 4336-4349, 2015.
- FENOLL, J. *et al.* Use of different organic wastes in reducing the potential leaching of propanil, isoxaben, cadusafos and pencycuron through the soil. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 49, p. 601-608, 2014.
- FERHATOGLU, Y.; BARRETT, M. Studies of clomazone mode of action. Pesticide **Biochemistry and Physiology**, v. 85, p. 7-14, 2006.
- FERNÁNDEZ-BAYO, J. D.; NOGALES, R.; ROMERO, E. Assessment of three vermicomposts as organic amendments used to enhance diuron sorption in soils with low organic carbon content. **European journal of soil science**, v. 60, p. 935-944, 2009.
- FERNANDEZ-QUINTANILL C.; SAAVEDRA M. S.; GARCIA T. L. Ecologia de lâs melas hierbas. In GARCIA TORRES, L.; FERNANDEZ-QUINTANILLA, C. **Fundamentos sobre malas hierbas y herbicidas**. 1. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1991. cap 2, p.49- 69.
- FERREIRA A. G. C. **Levantamento fitossociológico de plantas daninhas em treze áreas experimentais do CCAA, UFMA, Campus IV**. 2019. 59f. TCC (Bacharelado em agronomia) – Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha.
- FERREIRA, M.E.; GRATTAPAGLIA, D. **Introdução ao uso de marcadores moleculares em análise genética**. 3. ed. Brasília: Embrapa-Cenargen, 1998. 8 p.
- FIALHO C. M. T.; SILVA A. A.; MELO C. A. D. Weed Interference in Soybean Crop Affects Soil Microbial Activity and Biomass. **Planta Daninha**, v. 38, p. e020221853, 2020.
- FIALHO, A. R. **Sistema de produção de soja em sucessão a culturas anuais de cobertura**. 2020. 59f. Dissertação (Mestrado Ciências Agrárias - Agronomia) – Instituto Federal Goiano, Rio Verde.
- FINKLER, M. *et al.* Compósitos de HDPE com resíduos de fibras têxteis. Parte I: caracterização mecânica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.15, p.171-175, 2005.
- FLECK N. G. *et al.* Produção de sementes por picão-preto e guanxuma em função de densidades das plantas daninhas e da época de semeadura da soja. **Planta Daninha**, v. 21, p. 191-202, 2003.
- FLECK, N. G. *et al.* Resposta de cultivares de soja à competição com cultivar simuladora da infestação de plantas concorrentes. **Scientia Agraria**, v. 8, p. 213-218, 2007.
- FOLONI, L.L. Avaliação da periculosidade ambiental segundo a nova proposta do IBAMA. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS**, 21., Viçosa, 1997. Palestras e mesas redondas. Anais. Viçosa: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 1997.
- FONTANETTI, A. **Adubação e dinâmica de plantas daninhas em sistema de plantio direto orgânico de milho. Minas Gerais**. 2008. 84f. Tese (Pós-Graduação em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.
- FONTES J. R. A.; SHIRATSUCHI L. S. Manejo de plantas daninhas na agricultura orgânica. **Documentos**, n. 106, Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 28 p.
- FONTES J. R.; GONÇALVES J. R. P. Manejo integrado de plantas daninhas. **Anais de Congresso / Nota Técnica**, Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. 2009. 18 p.
- FORMAN, L.; BRIDSON, D. **The herbarium handbook**. Great Britain Kew: Royal Botanic Gardens, 1989. 334 p.
- FRANCESCHETTI M. B. *et al.* Períodos de interferência de plantas daninhas na cultura da soja. In: **VIII JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA**, 1. Anais. Rio grande do Sul: Erechim, 2018.
- FRANCISCHINI, A. C. *et al.* Carryover of herbicides used in cotton stalk control on corn cultivated in succession. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 19, p. 305-318, 2020.
- FRANCISCHINI, A. C. *et al.* Primeiro relato de resistência de *Amaranthus viridis* a herbicidas. **Planta Daninha**, v.32, p. 571-578, 2014.

- FRANCISCO, J. G. *et al.* Aminocyclopyrachlor sorption-desorption and leaching from three Brazilian soils. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 52, p. 470-475, 2017.
- FRANCO, D. S. *et al.* Advances made in removing paraquat herbicide by adsorption technology: A review. **Journal of Water Process Engineering**, v. 49, p. e102988, 2022.
- FREITAS, N. M. *et al.* Herbicide mixtures to control dayflowers and drift effect on coffee culture. **Planta Daninha**, v. 36, p.1-9, 2018.
- FURTADO, J. A. L.; ALMEIDA, E. I. B. **Mapeamento da produtividade da soja, associada a diferentes herbicidas pré-emergentes, ocorrência de plantas daninhas e fertilidade do solo**. Relatório de Iniciação Científica (PIBIC) - Universidade Federal do Maranhão, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 2021. 20 p.
- GABARDO, C. B. **Padrão de qualidade dos grãos de soja no mercado internacional, Paraná**. 2018. 27f. Dissertação (Pós-graduação em Gestão do Agronegócio) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- GAINES, T.A. *et al.* Mechanism of resistance of evolved glyphosate-resistant palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, p. 5886–5889, 2011.
- GALLANDT E. R.; WEINER J. **Crop-weed competition**. John Wiley & Sons. p. 1-8, 2015.
- GALON L.; BAGNARA M. A. M.; GABIATTI R. L. Interference Periods of Weeds Infesting Maize Crop. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, p. 197, 2018.
- GALON, L. *et al.* Weed interference period and economic threshold level of ryegrass in wheat. **Bragantia**, v.78, p.409-422, 2019.
- GALVÃO, A. K. L. *et al.* Levantamento fitossociológico em pastagens de várzea no Estado do Amazonas. **Planta Daninha**, v. 29, p. 69-75, 2011.
- GARCIAA, M. D. *et al.* Comprehensive understanding of acetohydroxyacid synthase inhibition by different herbicide families. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, p. 1091-1100, 2017.
- GARCILLÁN, P. P.; EZCURRA, E. Sampling procedures and species estimation: testing the effectiveness of herbarium data against vegetation sampling in an oceanic island. **Journal of Vegetation Science**, v.22, p.273-280, 2011.
- GARDARIN A; COLBACH N. How much of seed dormancy in weeds can be related to seed traits?. **Weed Research**, v. 55, p. 14–25, 2014.
- GARRISON, A. J. *et al.* Stacked crop rotations exploit weed-weed competition for sustainable weed management. **Weed Science**, v.62, p.166-176, 2014.
- GAZZIERO, D. L. P. *et al.* Efeitos da convivência do capim-amargoso na produtividade da soja. In: Embrapa Soja- Artigo em Anais de Congresso (Alice). In: **Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas**, 28. Anais. Campo Grande: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2012.
- GAZZIERO, D. L. P. *et al.* **Manual de identificação de plantas daninhas da cultura da soja**. 2. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2015. 128 p.
- GAZZIERO, D. L. P. *et al.* **Manual de identificação de plantas daninhas da cultura da soja**. 2. ed. Londrina: Embrapa Soja. 2015. 126 p.
- GAZZIERO, D. L. P. *et al.* Manual de identificação de plantas daninhas da cultura da soja. 2. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2015. 128 p.
- GAZZIERO, D. L. P. *et al.* **Manual técnico para subsidiar a mistura em tanque de agrotóxicos e afins**. Londrina: Embrapa Soja, 2021. 24 p.
- GAZZIERO, D. L. P. Misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil. **Planta Daninha**, v. 33, p. 83-92, 2015.
- GEBLER, L.; SPADOTTO, C.A. Comportamento ambiental dos herbicidas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E.R. **Manual de manejo de controle de plantas daninhas**. 1. ed. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. cap.4, p. 57-88.
- GELMINI, G. A. *et al.* Resistance of *Euphorbia heterophylla* L. to ALS-inhibiting herbicides in soybean. **Scientia Agricola**, v. 62, p. 452-457, 2005.
- GILES, D. K. Independent control of liquid flow rate and spray droplet size from hydraulic atomizers. **Atomization and Sprays**, v. 7, p. 161-181, 1997.
- GLĄB, L. *et al.* Allelopathic potential of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in weed control: a comprehensive review. In: Sparks, D.L. (Ed.) **Advances in Agronomy**. 1. ed. New York: Academic Press, 2017. cap. 2, p. 43-95.
- GLIESSMAN S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2000. 653 p.
- GOETGHEBEUR, P. Cyperaceae. In: K. KUBITZKI. **The families and genera of vascular plant: IV. Flowering plants - monocotyledons**. 1. ed. Berlin: Springer Verlag, 1998. cap. 15, p. 141-190.
- GOMES JUNIOR., F. G.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Biologia e manejo de plantas daninhas em áreas de plantio direto. **Planta Daninha [online]**, v. 26, p. 789-798, 2008.
- GOMES, J. I. *et al.* **Coleta e Preparação de Material Botânico**. 1. ed. Manaus: Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Oriental, 2001. 6 p.
- GOMES, M. P. *et al.* Alteration of plant physiology by glyphosate and its by-product aminomethylphosphonic acid: an overview. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, p. 4691–4703, 2014.
- GOMES, V. C. *et al.* Levantamento fitossociológico de plantas invasoras em diferentes cultivos de café (*Coffea canephora* Pierre ex. Froehner) no município de Rolim de Moura (Rondônia). In: **VII SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL**, 4. Anais. Araxá: Consórcio Pesquisa Café, 2011.

- GONZÁLEZ-DELGADO, A. M. *et al.* Mobility of indaziflam influenced by soil properties in a semi-arid area. **PLOS one**, v. 10, p. e0126100, 2015.
- GÖTZ, T.; BÖGER, P. The Very-Long-Chain Fatty Acid Synthase Is Inhibited by Chloroacetamides. **Biosciences**, v. 59, p. 549-553, 2004.
- GRAY, C. J.; SHAW, D. R.; BRUCE, L. M. Utility of Hyperspectral Reflectance for Differentiating Soybean (*Glycine max*) and Six Weed Species. **Weed Technology**, v. 23, p. 108–119, 2009.
- GREEN, R.H. Measurement of non: randomness in spatial distributions. **Researches on Population Ecology**, v.8, p.1-7, 1966.
- GRESSEL, J.; SEGEL, L.A. Modeling the effectiveness of herbicide rotations and mixtures as strategies to delay or preclude resistance. **Weed Technology**, v. 4, p.186–198, 1990.
- GRIME J. P. Evidence for the existence of three primary strategies in plant and its relevance to ecological and evolutionary theory. **American Naturalist**, v. 111, p 1169-1194. 1977.
- GRINT, K.R. *et al.* Low carryover risk of corn and soybean herbicides across soil management practices and environments. **Weed Technology**, v. 36, p.160-167, 2022.
- GROSSMANN, K. Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. **Pest Management Science**, v.66, p. 113-120, 2010.
- GROSSMANN, K. News from old compounds: the mode of action of auxin herbicides. In: VOSS, G & RAMOS G. **Chemistry of Crop Protection: Progress and Prospects in Science and Regulation**. 1 ed., Wiley-VCH, 2003, p. 131-142.
- GROSSMANN, K. The mode of action of quinclorac: a case study of a new auxin-type herbicide. In: COBB, A. H; KIRKWOOD, R. C. **Herbicides and their mechanisms of action**. 2 ed., Sheffield Academic Press, 2000, p. 181-214.
- GROSSMANN, K.; EHRHARDT, T. On the mechanism of action and selectivity of the corn herbicide topramezone: a new inhibitor of 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase. **Pest Management Science**, v. 63, p. 429–439, 2007.
- GUERRA, N.; OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA NETO, A.M.; DAN, H.A.; BRAZ, G.B.P. The leaching of trifloxysulfuron-sodium and pyriithiobac-sodium in soil columns as a function of soil liming. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.35, p.175-181, 2013.
- GUIMARÃES, A. C. D. *et al.* Can soil type interfere in sorption-desorption, mobility, leaching, degradation, and microbial activity of the ¹⁴C-tebuthiuron herbicide?. **Journal of Hazardous Materials Advances**, v. 6, p. e100074, 2022.
- GUL, B.; AHMAD, I.; KHAN, H.; ZEB, U.; ULLAH, H. Floristic inventory of wild plants of Peshawar university campus. **Acta Ecologica Sinica**, v. 38, p. 375-380, 2018.
- GUNDY, G. J.; DILLE, J. A.; ASEBEDO, A. R. Efficacy of variable rate soil-applied herbicides based on soil electrical conductivity and organic matter differences. **Advances in Animal Biosciences**, v. 8, p. 277-282, 2017.
- GUSTAFSON, David I. Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. **Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal**, v. 8, p. 339-357, 1989.
- GUTTERIDGE, S. *et al.* Acetohydroxyacid synthase inhibitors (AHAS/ALS) In: Krämer, W.; Schirmer, U.; Jeschke, P.; Witschel, M. **Modern crop protection compounds**. 1. ed. Wiley-VCH Weinheim, 2012, p. 29-162.
- GÜTTLER, G. *et al.* F. Estratégias de controle físico-mecânico sobre *Rumex obtusifolius*. **Ciência Agrícola**, v. 16, p. 41-45, 2018.
- HABERHAUER, G. *et al.* Response of sorption processes of MCPA to the amount and origin of organic matter in a long-term field experiment. **European Journal of Soil Science**, v. 52, p. 279-286, 2001.
- HAN, L. *et al.* Some concepts of soil organic carbon characteristics and mineral interaction from a review of literature. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 94, p. 107-121, 2016.
- HARKER, K.N.; O'DONOVAN, J.T. Recent weed control, weed management, and integrated weed management. **Weed Technology**, v. 27, p. 1-11, 2013.
- HARLAN, J. R.; DE WET, J. M. J. Some thoughts about weeds. **Economic Botany**, v. 19, p. 16–24, 1965.
- HE, G. *et al.* Impact of food consumption patterns change on agricultural water requirements: An urban-rural comparison in China. **Agricultural Water Management**, v.243, p.e106504, 2021.
- HEAP, I. **The International Survey of Herbicide Resistant Weeds**. Disponível em: <www.weedscience.org>. Acesso em: 20 abr. 2022.
- HESS, F. D. Light-dependent herbicides: na overview. **Weed Science**, v. 48, p. 160-170, 2000.
- HIJANO, N. Interferência: conhecer para usá-la a nosso favor. In: **BARROSO**. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 2021. p. 106–144.
- HINZ, C. Description of sorption data with isotherm equations. **Geoderma**, v. 99, p.225- 243, 2001.
- HOANG, N. T.; KANEMOTO, K. Mapping the deforestation footprint of nations reveals growing threat to tropical forests. **Nature Ecology and Evolution**, v.5, p.845–853, 2021.
- HOLKEM, A. S. *et al.* Weed management in Roundup Ready® corn and soybean in Southern Brazil: survey of consultants' perception. **Advances in Weed Science**, v. 40, p.1-8, 2022.
- HOLM, L. *et al.* **World weeds, Natural Histories and Distribution**. New York: Wiley, 1109p. 1997.
- HOLM, L. G. *et al.* **Geographical atlas of world weeds**. Krieger Publisher Company, 1991.
- HORAK, M.J.; LOUGHIN, T.M. Growth analysis of four *Amaranthus* species. **Weed Science**, v. 48, p. 347–355, 2000.
- HRAC – Comitê de Ação a Resistência aos Herbicidas. Resistência de plantas daninhas à herbicidas: identificação e relato. **Informe técnico**, v. 2, 6p. 2021.
- HUANG, H. *et al.* Deep learning versus Object-based Image Analysis (OBIA) in weed mapping of UAV imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 41, p. 3446–3479, 2020.

- HUANG, Y. *et al.* In-situ plant hyperspectral sensing for early detection of soybean injury from dicamba. **Biosystems Engineering**, v. 149, p. 51–59, 2016.
- HUSSAIN, S. *et al.* Abiotic and biotic processes governing the fate of phenylurea herbicides in soils: a review. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 45, p. 1947-1998, 2015.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal, 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=resultados>>. Acesso em; 03 de maio de 2022.
- IKEDA, F. S. *et al.* Estratégias de controle de *Amaranthus palmeri* resistente a herbicidas inibidores de EPSPs e ALS. **Embrapa Agrossilvipastoril-Documentos (INFOTECA-E)**, 2019.
- IKEDA, F. S. Resistência de plantas daninhas em soja resistente ao glifosato. **Informe Agropecuário**, v. 34, 2013.
- IZQUIERDO, J. *et al.* Spatial and temporal stability of weed patches in cereal fields under direct drilling and harrow tillage. **Agronomy**, v. 10, p. 1-20, 2020.
- JAIKAEW, P. *et al.* Potential impacts of seasonal variation on atrazine and metolachlor persistence in andisol soil. **Environmental monitoring and assessment**, v. 187, p. 1-10, 2015.
- JAREMTCHUK, C. C. *et al.* Efeito residual de flumioxazin sobre a emergência de plantas daninhas em solos de texturas distintas. **Planta Daninha**, v.27, p.191-196, 2009.
- JASIENIUK, M.; BRÛLÉ-BABEL, A.L.; MORRISON, I.N. The evolution and genetics of herbicide resistance in weeds. **Weed Science**, v. 44, p. 176–193, 1996.
- JHA, P. *et al.* Annual changes in temperature and light requirements for germination of palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) seeds retrieved from the soil. **Weed Science**, v. 58, p. 426-432, 2010.
- JOHNSTON, K. *et al.* Using ArcGIS Geostatistical Analyst. ESRI: Redlands, 2001. p. 300.
- JONES, G. T. *et al.* Off-target movement of DGA and BAPMA dicamba to sensitive soybean. **Weed Technology**, v. 33, p. 51-65, 2019.
- JOSHI, K. *et al.* Molecular markers in herbal drug technology. **Current Science**, v.87, p.159-65, 2004.
- KAISER B. *et al.* Plantas Daninhas na Cultura do Milho. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**. Garça – SP, n. 10, dezembro de 2011. 3 p.
- KALIVAS, D. P. *et al.* Regional Mapping of Perennial Weeds in Cotton with the Use of Geostatistics. **Weed Science**, v. 60, p. 233-243, 2012.
- KAUNDUN, S.S. Resistance to acetyl-CoA carboxylase inhibiting herbicides. **Pest Management Science**, v. 70, p. 1405-1417, 2014.
- KAUR, H.; SINGH BRAR, G.; SHETE, P. P. A Review on Different Weed Management Approaches. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 8, p. 2854–2859, 2019.
- KAUR, P. *et al.* Adsorption and desorption characteristics of pretilachlor in three soils of Punjab. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 227, p. 1-10, 2016.
- KECSKÉSNÉ NAGY, E.; KOSZEL, M.; SZTACHÓ-PEKÁRY, I. Effect of working parameters and nozzle wear rate onto the spray quality in use of different fan flat nozzle. **Journal of Central European Agriculture**, v. 15, p. 160–174, 2014.
- KEMPENAAR, C. *et al.* Advances in variable rates technology application in potato in the Netherlands. **Potato Research**, v. 60, p. 295-305, 2017.
- KEMPF, A.; BRUSSEAU, M. L. Impact of non-ideal sorption on low-concentration tailing behavior for atrazine transport in two natural porous media. **Chemosphere**, v. 77, p. 877-882, 2009.
- KHAN, S. *et al.* Real-time recognition of spraying area for UAV sprayers using a deep learning approach. **PLoS ONE**, v. 16, p. 1–17, 2021.
- KISSMANN, K. G.; GROTH, D. **Plantas infestantes e nocivas**. 2. ed. São Paulo, 1995.
- KISSMANN, K.G. **Plantas infestantes e nocivas**. 3. ed. São Paulo: Basf Brasileira., 2007.
- KISSMANN, K.G. **Plantas infestantes e nocivas**. 3. ed. São Paulo: BASF, 2007.
- KOGER, C. H. *et al.* antagonizes glyphosate and glufosinate efficacy on broadleaf and grass weeds. **Weed Technol**, v. 21, p. 159-165, 2007.
- KOS, J. *et al.* Photosynthesis-Inhibiting Activity of N-(Disubstitutedphenyl)-3-hydroxynaphthalene-2-carboxamides. **Molecules**, v. 26, p. 1-9, 2021.
- KRAEMER, F. B. *et al.* Morpho-structural evaluation of various soils subjected to different use intensity under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 169, p. 124-137, 2017.
- KRAHMER, H. *et al.* Weed surveys and weed mapping in Europe: State of the art and future tasks. **Crop Protection**, v. 129, p. 1-13, 2020.
- KRENCHINSKI, F. H. *et al.* Levantamento florístico e fitossociológico de plantas daninhas: uma revisão dos métodos encontrados. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 8, p. 217-228, 2015.
- KRUSE, N. D. *et al.* Sinergismo potencial entre herbicidas inibidores do fotossistema II e da síntese de carotenóides. **Ciência Rural**, v.31, p.569-575, 2001.
- KUKORELLI, G.; REISINGER, P.; PINKE, G. ACCase inhibitor herbicides: selectivity, weed resistance and fitness cost, a review. **International Journal of Pest Management**, v.59, p.165-173, 2013.
- KUVA, M. A. *et al.* Banco de sementes de plantas daninhas e sua correlação com a flora estabelecida no agroecossistema cana-crua. **Planta Daninha**, v. 26, p. 735-744, 2008.
- KUVA, M. A.; ALVES, P. L. C. A.; ERASMO, E. A. L. Efeitos da solarização do solo com plástico transparente sobre o desenvolvimento de tiririca (*Cyperus rotundus* L.) em condições de outono-inverno. **Científica**, v. 23, p. 331-341, 1995a.
- KUVA, M. A.; ALVES, P. L. C. A.; ERASMO, E. A. L. Efeitos da solarização do solo com plástico transparente sobre o desenvolvimento da tiririca (*Cyperus rotundus*). **Planta Daninha**, v. 13, p. 26-31, 1995b.

- KUVA, M. A.; SALGADO, T. P.; ALVES, P. L. C. A. Índices fitossociológicos aplicados na ciência e na gestão das estratégias de controle de plantas daninhas. In: BARROSO, A. A. R.; MURATA, A. T. (Org.) **Matologia: estudos sobre plantas daninhas**. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 2021. 547 p.
- LAI, R. L. D. L. *et al.* Ecologia de populações e comunidades de plantas daninhas. In: Barroso, A. A. M. e Murata, A. T. **Matologia: estudos sobre plantas daninhas**. Jaboticabal: Fábrica da Palavra. 547 p. 2021
- LAMBREVA, M. D. *et al.* Structure/function/dynamics of photosystem II plastoquinone binding sites. **Current Protein & Peptide Science**, v. 15, p. 285-295, 2014.
- LANCASTER, S. H. *et al.* Effects of repeated glyphosate applications on soil microbial community composition and the mineralization of glyphosate. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v. 66, p. 59-64, 2010.
- LAVOIE, C. Biological collections in an ever changing world: herbaria as tools for biogeographical and environmental studies. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v.15, p.68-76, 2013.
- LAVORENTI, A. Comportamento dos herbicidas no meio ambiente. In: **Workshop Sobre Biodegradação**. Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 1996. p. 81-92.
- LEBARON, H. M.; GRESSEL, J. **Herbicide resistance in plants**. New York: John Wiley & Sons, 1982. 401 p.
- LEE, L. J.; NGIM, J. A first report of glyphosate-resistant goosegrass (*Eleusine indica* (L) Gaertn) in Malaysia. **Pest Management Science**, v. 56, p. 336-339, 2000.
- LEE, N.; THIERFELDER, C. Weed control under conservation agriculture in dryland smallholder farming systems of southern Africa. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 37, p. 1-25, 2017.
- LEMONS, R.C.; SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 2.ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Embrapa-SNLCS, 1984. 46p.
- LESSA B. F. T. *et al.* Germination of *Emilia coccinea* (Sims) G. DON as a function of light, temperature, storage and sowing depth. **Semina Ciências Agrárias**, v. 34, p. 3193-3204, 2013.
- LESSA, B. F. T. (Ed. e Org.) **Plantas daninhas no Vale do São Francisco aspectos de manejo e guia ilustrado com espécies importantes / Viticultura**. Petrolina: UNIVASF, 2021. 96p.
- LESSA, B. F. T. *et al.* Weed phytosociology and distribution in vineyards in the São Francisco River Valley. **Revista Caatinga**, v. 34, p. 132 – 143, 2021.
- LI, M.; WEDIN, D. A.; TIESZEN, L. L. C3 and C4 photosynthesis in *Cyperus* (Cyperaceae) in temperate eastern North America. **Canadian Journal of Botany**, v. 77, p. 209-218, 1999.
- LIMA, D. L. *et al.* Sorption– desorption behavior of atrazine on soils subjected to different organic long-term amendments. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, p. 3101-3106, 2010.
- LIMA, P. L. T. *et al.* Trifluralin leaching in soils cultivated with sugarcane irrigated by sub-surface drip system. **Irriga**, v. 17, p. 39-45, 2012.
- LIMA, R. S. *et al.* O. M. Levantamento fitossociológico de plantas daninhas na cultura do feijão-caupi no município de Vitória da Conquista-BA. **Magistra**, v. 28, p.390-402, 2016.
- LIMA, T. S. **População de plantas daninhas na cultura da soja no município de São Benedito - MA**. 2017. 26f. Monografia (Bacharel em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha.
- LIU, Y. *et al.* Adsorption and desorption behavior of herbicide diuron on various Chinese cultivated soils. **Journal of hazardous materials**, v. 178, p. 462-468, 2010.
- LOPES K. A. L. *et al.* Fitossociologia do banco de sementes de plantas daninhas em campo agrícola e vegetação de cerrado. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, p. 362-370, 2020a.
- LOPES, K. A. L. *et al.* Spatial Distribution of Weed Seed Banks in the Agricultural Field and Anthropized Cerrado. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, p. 480-497, 2020b.
- LÓPEZ-OVEJERO, R. F. *et al.* Residual herbicides in Roundup Ready soybean: A case study in multiple years and locations with *Ipomoea triloba*. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, p. e000319, 2019.
- LÓPEZ-OVEJERO, R. F. *et al.* Resistance and differential susceptibility of *Bidens pilosa* and b. Subalternans biotypes to ALS-inhibiting herbicides. **Scientia Agricola**, v. 63, p. 139-145, 2006.
- LÓPEZ-PIÑEIRO, A. *et al.* Sorption, leaching and persistence of metribuzin in Mediterranean soils amended with olive mill waste of different degrees of organic matter maturity. **Journal of environmental management**, v. 122, p. 76-84, 2013.
- LORENZI H. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas**. 4. ed. Nova Odessa: Plantarum, 2008. 640 p.
- LORENZI, H. *et al.* **Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional**. 7.ed., Instituto Plantarum, 2014, p. 193.
- LORENZI, H. **Manual de Identificação e Controle de Plantas Daninhas - Plantio Direto e Convencional**. 7. ed. Nova Odessa, SP. Instituto Platarum. 2014. 379p.
- LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas**. 4. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 640 p.
- LOUARGANT, M. *et al.* Unsupervised classification algorithm for early weed detection in row-crops by combining spatial and spectral information. **Remote Sensing**, v. 10, p. 1–18, 2018.
- LOURENCETTI, C.; DE MARCHI, M. R.; RIBEIRO, M. L. Influence of sugar cane vinasse on the sorption and degradation of herbicides in soil under controlled conditions. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 47, p. 949-958, 2012.
- LUIZ, M. C. P. **Efeito da época de semeadura e população de plantas sobre o potencial produtivo e características agrônomicas em soja**. 2018, 72f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Uberlândia.

- MA, J. P. *et al.* Biodegradation of the sulfonylurea herbicide chlorimuron-ethyl by the strain *Pseudomonas* sp. LW3. **FEMS microbiology letters**, v. 296, p. 203-209, 2009.
- MACHADO, S. R.; BARBOSA, S. B. **Herbário Botu “Irina Delanova Gemtchujnicov”**: Manual de Procedimentos. UNESP, SP. Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira. 2010. 18p.
- MACKAY, D.; SHIU, W.; MA, K. **Ilustred handbook of physical-chemical and environmental fate for organic chemicals**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1997. v.5. 812p.
- MAEDA, H.; DUDAREVA, N. The Shikimate Pathway and Aromatic Amino Acid Biosynthesis in Plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 63, p.73-205, 2012.
- MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 01 de maio de 2022.
- MARIN, F.R. *et al.* Prospects for Increasing Sugarcane and Bioethanol Production on existing Crop Area in Brazil. **BioScience**, v.66, p.307–316, 2016a.
- MARÍN-BENITO, J. M. *et al.* Organic sorbents as barriers to decrease the mobility of herbicides in soils. Modelling of the leaching process. **Geoderma**, v. 313, p. 205-216, 2018.
- MARÍN-SPIOTTA, E.; SHARMA, S. Carbon storage in successional and plantation forest soils: a tropical analysis. **Global Ecology and Biogeography**, v. 22, p. 105-117, 2013.
- MAROCHIO, C.A. *et al.* Genetic admixture in species of *Conyza* (Asteraceae) as revealed by microsatellite markers. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 39, p. 437-445, 2017.
- MARQUES, L. J. P. *et al.* Composição florística de plantas daninhas na cultura do feijão-caupi no sistema de capoeira triturada. **Planta Daninha**, v. 28, p. 953-961, 2010
- MARTIN, D. *et al.* Spray deposition on weeds (Palmer amaranth and morningglory) from a remotely piloted aerial application system and backpack sprayer. **Drones**, v. 4, p. 1–18, 2020.
- MARTINELLI, R.; ORZARI, I.; FERREIRA, C. S. S. **Controle de Plantas Daninhas**. 1. ed. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2019. 192 p.
- MARTINS, E. C. *et al.* Sorption and desorption of atrazine on soils: The effect of different soil fractions. **Geoderma**, v. 322, p. 131-139, 2018.
- MARTINS-DA-SILVA, R. C. V. *et al.* **Noções Morfológicas e Taxonômicas para Identificação Botânica**. Brasília, DF. Embrapa, 2014. 111p.
- MASCARENHAS, R. E. B. *et al.* Plantas daninhas de uma pastagem cultivada de baixa produtividade no nordeste paraense. **Planta daninha**, v. 17, p. 399-418, 1999.
- MASINI, J. C.; ABATE, G. Guidelines to Study the Adsorption of Pesticides onto Clay Minerals Aiming at a Straightforward Evaluation of Their Removal Performance. **Minerals**, v. 11, p. 1282, 2021.
- MATHERON G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, v. 58, p. 1246–1266, 1963.
- MATOS, A. K. A. *et al.* Dinâmica de herbicidas em pré-emergência em sistemas de produção com palha. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, p. 97-106, 2016.
- MAYFIELD, S. P.; NELSON, T.; TAYLOR, W. C. The Fate of Chloroplast Proteins during Photooxidation in Carotenoid-Deficient Maize Leaves. **Plant Physiol**, v. 82, p.760-764, 1986.
- MCCULLOUGH, P.; YU, J.; De BARREDA, D. Efficacy of Preemergence Herbicides for Controlling a Dinitroaniline-Resistant Goosegrass (*Eleusine indica*) in Georgia. **Weed Technology**, v. 27, p. 639-644, 2013.
- MCDONALD, A. J., RIHA, S. J., DITOMMASO, A. Early season height differences as robust predictors of weed growth potential in maize: new avenues for adaptive management? **Weed research**, v. 50, p.110-119, 2010.
- MEDELLÍN-LEAL, F. Orígenes, desarrollo histórico y estado actual los herbarios en el mundo. **Boletín de la Sociedad Botánica de México**, v. 34, p. 3-26, 1975.
- MELO, A. K. P. *et al.* Occurrence of noxious weeds under different soil management systems. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 19, p. 2061-2072, 2021.
- MELO, A. S. O que ganhamos ‘confundindo’ riqueza de espécies e equabilidade em um índice de diversidade? **Biota Neotropical**, v. 8, p. 21-27, 2008.
- MENDES, R. R. *et al.* Monitoring Glyphosate-and Chlorimuron-resistant *Conyza* spp. Populations in Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93, p. 1-14, 2021.
- MENEZES, P. H. S. *et al.* Occurrence of weeds in areas submitted to tillage managements for soybean cultivation in the cerrado of Roraima. **Planta Daninha**, v. 37, p. e019193014, 2019.
- MENG, Y. *et al.* Effect of aerial spray adjuvant applying on the efficiency of small unmanned aerial vehicle for wheat aphids control. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 11, p. 46–53, 2018.
- MESQUITA, M. L. R.; ANDRADE, L. A.; PEREIRA, W. E. Germination, floristic composition and phytosociology of the weed seed bank in rice intercropped with corn fields. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 11, p. 14-20, 2016.
- METCALFE, H. *et al.* Designing a sampling scheme to reveal correlations between weeds and soil properties at multiple spatial scales. **Weed Research**, v. 56, p. 1-13, 2016.
- MEUS, L. D. *et al.* **Ecofisiologia do Arroz Visando Altas Produtividades**. 1. ed. Santa Maria: Editora GR, 2020. 312p.
- MIGUEL, L. M.; CABRAL, E. L. *Borreria krapocarmeniana*, a new cryptic species recovered through taxonomic analyses of *Borreria scabiosoides* and *Borreria linoides* (Spermacoce, Rubiaceae). **Systematic Botany**, v. 38, p. 769-781, 2013.
- MIGUEL, L. M.; SOUZA, E. B.; CABRAL, E. L. Two new species of *Borreria* (Spermacoceae, Rubiaceae) from the states of Goiás and Minas Gerais, Brazil. **Phytotaxa**, v. 201, 149-157, 2015.
- MILACH, S. C. K. Marcadores de DNA: aplicações no melhoramento de plantas. **Biotechnology Ciencia & Desenvolvimento**, v.5, p.14-17, 1998

- MINOZZI, G. B. *et al.* Controle em pré semeadura da cultura de soja de algodão voluntário tolerante ao glyphosate e amônio glufosinate e de *Eleusine indica*. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, p. 183-191, 2017.
- MONQUERO, P. A. **Aspectos da Biologia e Manejo das Plantas Daninhas**. 1. ed., RiMa Editora, 2014, p.400.
- MONQUERO, P. A. *et al.* Absorção, translocação e metabolismo do glyphosate por plantas tolerantes e suscetíveis a este herbicida. **Planta Daninha**, v. 22, p. 445-451, 2004.
- MONQUERO, P. A. *et al.* Monitoramento do banco de sementes de plantas daninhas em áreas com cana-de-açúcar colhida mecanicamente. **Planta Daninha**, v. 29, p. 107-119, 2011.
- MONQUERO, P. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; SANTOS, C.T.D. Glyphosate em mistura com herbicidas alternativos para o manejo de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v.19, p.375-380, 2001.
- MONQUERO, P. A.; HIRATA, A. C. S.; PITELLI, R. A. Métodos de levantamento da colonização de plantas daninhas. In: MONQUERO, P.A. (Org.). **Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas**. São Carlos: RiMa, 2014. p. 103-128.
- MONQUERO, P.A.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Banco de sementes de plantas daninhas e herbicidas como fator de seleção. **Bragantia**, v.64, p.203-209, 2005.
- MONQUERO, P.A.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Dinâmica do banco de sementes em áreas com aplicação freqüente do herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, v.21, p.63-69, 2003.
- MONTEIRO, S. D. S.; SIANI, A. C. A conservação de exsicatas em herbários: contribuição ao manejo e preservação. **Revista Fitos**, v.4, p.24-37, 2009.
- MOREIRA, H. J. C.; BRAGANÇA, H. B. N. **Manual de Identificação de Plantas Infestantes: Hortifrúti**. Campinas: 2011. 1017p.
- MOREIRA, H. J. da C.; BRAGANÇA, H. B. N. **Manual de Identificação de Plantas Infestantes – Cultivos de Verão**. 1. ed. FMC. Campinas-SP, 2010. 642p.
- MOREIRA, H.J.C.; BRAGANÇA, H.B.N. **Manual de identificação de plantas infestantes**. Campinas-SP, 2010. 326 p.
- MOREIRA, H.J.C.; BRAGANÇA, H.B.N. **Manual de identificação de plantas infestantes: hortifruti**. São Paulo: FMC Agricultural Products, 2011. 1017 p.
- MOREIRA, M. S. *et al.* Herbicidas alternativos para controle de biótipos de *Conyza bonariensis* e *C. canadenses* resistentes ao glyphosate. **Planta Daninha**, v. 28, p. 167-175, 2010.
- MOROTA, F. K. *et al.* Manejo de plantas daninhas em frutíferas tropicais: abacaxizeiro, bananeira, coqueiro, mamoeiro e maracujazeiro. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 19, p. 1-10, 2020.
- MOROTA, F. K. *et al.* Sistemas de manejo de plantas daninhas utilizando o novo herbicida pyroxasulfone visando ao controle químico de gramíneas em soja. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 17, p. 1-10, 2018.
- MORRIS, J. B. *et al.* Effect of sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) cutting date and planting density on weed suppression in Georgia, USA. **Journal of Environmental Science and Health**, v. 50, p. 614-621, 2015.
- MOSJIDIS, J.A.; WEHTJE, G. Weed control in sunn hemp and its ability to suppress weed growth. **Crop Protection**, v. 30, p. 70-73, 2011.
- MOTA, N. F. de O.; PAULA, L. F. de.; VIANA, P. L. **Guia Prático de Métodos de Campo para Estudos de Flora**. Bocaína Biologia da Conservação. 2. ed. Belo Horizonte, MG. 2014. 81p.
- MUELLER, T. G. *et al.* Soil electrical conductivity map quality. **Soil Science**, v. 169, p. 841-851, 2004.
- MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLEMBERG, H.A. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: John Wiley, 1974. 574 p.
- NÉE G.; XIANG Y.; SOPPE W. J. J. The release of dormancy, a wake-up call for seeds to germinate. **Current Opinion in Plant Biology**, Missouri, v. 35, p. 8-14, 2017.
- NEPOMUCENO M.; ALVES P. L. C. A.; DIAS T. C. S. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da soja nos sistemas de semeadura direta e convencional. **Planta Daninha**, v. 25, p. 43-50, 2007.
- NEPOMUCENO, F.A.A. *et al.* O gênero Borreria (Spermacoceae, Rubiaceae) no estado do Ceará, Brasil. **Rodriguésia**, v. 69, p. 715-731, 2018.
- NETO F. A. S. **Germinação “in vitro” de grãos de bacuri (Platonia insignis Mart.) – Clusiaceae. São Paulo**. 2010. 65f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
- NETTO, A. G. *et al.* 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.
- NG, C.; RATNAM, W.; SURIF, S.; ISMAIL, B. Inheritance of glyphosate resistance in goosegrass (*Eleusine indica*). **Weed Science**, v. 52, p. 564-570, 2004.
- NICOLAI, M. *et al.* Aplicação conjunta de herbicidas e inseticidas na cultura do milho. Mistura de herbicidas e inseticidas na cultura do milho. **Bragantia**, v.65, p.413-420, 2006.
- NICOLETTI T. R. S. Interferência das plantas daninhas e seus métodos de controle. **RECIMA 21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 3, p. e 311129, 2022.
- NORRIS, R.F.; CASWELL-CHEN, E.P.; KOGAN, M. **Concepts in integrated pest management**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002.
- Núcleo de Estudos e Pesquisas em Fitotecnia (NEPF). **Resultados de projeto de pesquisa conduzido na safra agrícola 2021/2022, mesorregião Leste Maranhense**. Chapadina: UFMA, 2022.
- NUNES, J. J. *et al.* da. Multiple resistance in goosegrass to clethodim, haloxyfop-methyl and glyphosate. **Advances in Weed Science**, v. 40, 2022.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Interamericana; 1985.
- OECD-FAO. **Agricultural Outlook 2021-2030**. Paris. 2021. 337 p.
- OERKE, E.C. Crop losses to pests. **The Journal of Agricultural Science**, v. 144, p. 31-43, 2006.
- OFFUTT, M. S. Registration of hope white lupine (Reg. No. 4). **Crop Science**, v. 11, p. 602-602, 1971.

- OLIVEIRA A. R.; FREITAS S. de P. Levantamento fitossociológico de plantas daninhas em áreas de produção de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 26, p. 33-46, 2008.
- OLIVEIRA JR., R. S. de.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Curitiba: Ompipax, 2011. 348p.
- OLIVEIRA JR., R. S. de; BIFFE, D. F.; MACHADO, F. G.; SILVA, V. F. V. Mecanismos de ação de herbicidas. In: BARROSO, A. A. M.; MURATA, A. T. **Matologia: estudos sobre plantas daninhas**, 1. ed., Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 2021, p. 170-204.
- OLIVEIRA JR. Mecanismo de ação dos herbicidas. In: OLIVEIRA JR. R. S. de; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo das plantas daninhas**. 1. ed. Editora Ompipax, 2011. p. 141-192.
- OLIVEIRA JR., R. S. *et al.* Carryover de herbicidas em sistemas cultivados com algodoeiro. In: COSTA, A.G.F.; SOFIATTI, V. (Eds.). **Manejo de plantas daninhas na cultura do algodoeiro**. EMBRAPA, 2015. 231p.
- OLIVEIRA JR., R.S. Introdução ao controle químico. In: OLIVEIRA JR., R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. (Eds.). **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Editora Ompipax, 2011. p.125-140.
- OLIVEIRA, M. C. *et al.* Assessment of crop and weed management strategies prior to introduction of auxin-resistant crops in Brazil. **Weed Technology**, v.35, p. 155-165, 2021.
- OLIVEIRA, M. F.; BRIGHENTI, A. M. **Controle de plantas daninhas**. 1. ed. Brasília: Embrapa Milho e Sorgo, 2018. 198 p.
- OLIVEIRA, P. N. Utilização da fitomassa de feijão-caupi como cobertura de solo e supressão de plantas daninhas em áreas produtoras de soja. In: **XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, anais. Chapadinha, 2015.
- OORT, P. A. J. V. A. N. *et al.* Can yield gap analysis be used to inform R&D prioritisation? **Global Food Security**, v.12, p.109–118, 2017.
- ORACZ, K. *et al.* he mechanisms involved in seed dormancy alleviation by hydrogen cyanide unravel the role of reactive oxygen species as key factors of cellular signaling during germination. **Plant Physiol**, v.150, p. 494-505, 2009.
- ORZARI, I. *et al.* Germinação de espécies da família Convolvulaceae sob diferentes condições de luz, temperatura e profundidade de semeadura, **Planta Daninha**, v. 31, p. 53–61, 2013.
- OSIPITAN, O. A. *et al.* Impact of cover crop management on level of weed suppression: a meta-analysis. **Crop Science**, v.59, p.833-842, 2019.
- OWEN, M. D. *et al.* E. Integrated pest management and weed management in the United States and Canada. **Pest Management Science**, v. 71, p. 357-376, 2015.
- PACHECO, L. P. *et al.* Sistemas de produção no controle de plantas daninhas em culturas anuais no Cerrado Piauiense. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, p. 500-508, 2016.
- PAGNONCELLI, F. *et al.* Ethoxysulfuron no controle de plantas daninhas na cultura do feijoeiro comum, **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, p. 257-267, 2017.
- PATEIRO-MOURE, M. *et al.* Effect of organic matter and iron oxides on quaternary herbicide sorption–desorption in vineyard-devoted soils. **Journal of colloid and interface science**, v. 333, p. 431-438, 2009.
- PÄTZOLD, S. *et al.* Linking weed patterns with soil properties: a long-term case study. **Precision Agriculture**, v. 21, p. 569-588, 2020.
- PAVANI, M.C.M.D. *et al.* Banco de diásporos no solo. In: Berger, G.U. Favoretto, L.R.G. (Eds.). **Monitoramento ambiental: soja Roundup Ready**. Botucatu: Fepaf. p. 605-621, 2014.
- PELLIZZARO, E. C. *et al.* Redução no espaçamento do milho em solos de baixa altitude. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, p. 492-501, 2019.
- PEÑA, J. M. *et al.* Weed Mapping in Early-Season Maize Fields Using Object-Based Analysis of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Images. **PLoS ONE**, v. 8, p. e77151, 2013.
- PENCKOWSKI, L. H.; MASCHIETTO, E. Suspeita de *Amaranthus hybridus* resistente ao herbicida glyphosate. **Revista FABC**, p. 20–21, 2019.
- PENGERUD, A. *et al.* Potential adsorption of dissolved organic matter in poorly podzolised, high-latitude soils. **Geoderma**, v. 226, p. 39-46, 2014.
- PEREIRA A. K. M.; ALBUQUERQUE, J. A. A.; SIQUEIRA, H. S. Quantificação do banco de semente de plantas daninhas sob diferentes sistemas de manejo do solo. **Nativa**, v. 9, p. 367–372, 2021.
- PÉREZ-LUCAS, G. *et al.* Valorization of organic wastes to reduce the movement of priority substances through a semiarid soil. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 228, p. 1-12, 2017.
- PETTER, F. A. *et al.* Incompatibilidade física de misturas entre herbicidas e inseticidas. **Planta Daninha**, v. 30, p. 449-457, 2012.
- PIELOU, E.C. **Mathematical Ecology**. New York: Wiley-Blackwell, 386 p. 1977.
- PITELLI R. A. Competição e controle das plantas daninhas em áreas agrícolas. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 4, p. 1-24, 1987.
- PITELLI R. A. Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, p. 16-27, 1985.
- PITELLI R. A. O termo planta-daninha. **Planta Daninha**, v. 33, p. 622–623, 2015.
- PITELLI, R. A. Competição e controle das plantas daninhas em áreas agrícolas. **Série Técnica IPEF**, v. 4, p.1-24, 1987.
- PITELLI, R. A. Competição entre plantas daninhas e plantas cultivadas. In: **Monqueiro PA. Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas**. São Carlos: Rimas. p. 66–67.
- PITELLI, R. A. Estudos fitossociológicos em comunidades infestantes de agroecossistemas. **J. Conserb**, v. 1, p. 1–7, 2000.

- PITELLI, R. A.; DURIGAN, J. C. Terminologia para períodos de controle e de convivência das plantas daninhas em culturas anuais e bianuais. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS 1984**, Anais... [s.l.: s.n.]
- PITELLI, R. A.; NACHTIGAL, G. F.; PITELLI, R. L. C. Controle biológico de plantas daninhas, 2017. Disponível em: <<http://www.lpv.esalq.usp.br/sites/default/files/13%20-%20Leitura%20Controle%20biologico%202017.pdf>>. Acesso em: 17 mai. 2022.
- PRAKASH A. *et al.* Pharmacognostical analysis of different parts of *Cyperus rotundus* L. **Plant Science Today**, v. 6, p. 607-612, 2019.
- PRESOTO, J. C.; ANDRADE, J. F.; CARVALHO, J. P. C. Interação e eficácia de misturas em tanque dos herbicidas saflufenacil e glyphosate. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 19, p. 1-7, 2020.
- PRETTO, M. *et al.* Desempenho da aplicação isolada ou em mistura de herbicidas mimetizadores de auxina no controle de *Conyza* spp. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p.53083-53095, 2020.
- QASIM, M. *et al.* Traditional ethno-botanical uses of medicinal plants from coastal areas of Pakistan. **Journal of Coastal Life Medicine**, v. 1, p. 22-30, 2014.
- RADOSEVICH, S. R., HOLT, J. S., GHERSA, C. M. **Ecology of weeds and invasive plants: relationship to agriculture and natural resource management**. John Wiley & Sons, 2007. 310p.
- RAMA PRABA NALINI, R. *et al.* Persistence of sulfentrazone in soil under soybean and its carryover effect on bioindicators. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science**, v. 67, p. 217-222, 2017.
- RAMÍREZ, J. S.; HOYOS, V. C.; PLAZA, G. T. Phytosociology of weeds associated with rice crops in the department of Tolima, Colombia. **Agronomía Colombiana**, v. 33, p. 64-73, 2015.
- RAMOS, R. F. *et al.* Plantas daninhas como hospedeiras dos nematoides-das-galhas, **Revista Agronomia Brasileira**, v. 3, p. 1-3, 2019.
- RAUBER, R. B. *et al.* Crop type and management are key filtering factors of functional traits in the weed communities of regions with contrasting soils and climates. **Applied Vegetation Science**, v. 24, p. e12622, 2021.
- RBH. Rede Brasileira de Herbários da Sociedade Botânica do Brasil. Disponível em: <http://www.botanica.org.br/rbh-catalogo>. Acesso em: 29 abr 2022.
- REGER, M.; STUMPENHAUSEN, J.; BERNHARDT, H. Evaluation of LiDAR for the Free Navigation in Agriculture. **AgriEngineering**, v. 4, n. 2, p. 489–506, 2022.
- REIS, F. C. *et al.* Leaching of diuron, hexazinone, and sulfometuron-methyl applied alone and in mixture in soils with contrasting textures. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 65, p. 2645-2650, 2017.
- REIS, M. R. *et al.* Carryover of tembotrione and atrazine affects yield and quality of potato tubers. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 40, p. e35355, 2018.
- RESENDE, L. S. *et al.* Glyphosate-resistant smooth-pigweed (*Amaranthus hybridus*) in Brazil. **Advances in Weed Science**, v. 40, p. e20210022, 2022.
- RESENDE, R. **Boas práticas agrícolas e água: guia para conservação dos recursos hídricos nas propriedades rurais do oeste da Bahia**. 1. ed. Arlington: The Nature Conservancy, 2016. 70 p.
- RIBEIRO, B. S. M. R. *et al.* **Ecofisiologia do Milho Visando Altas Produtividades**. 1. ed. Santa Maria: Editora GR, 2020. 230p.
- RIGON, J. P. G. *et al.* Cover crop rotations in no-till system: short-term CO₂ emissions and soybean yield. **Scientia Agricola**, v.75, p. 18-26, 2018.
- ROACH, T.; KRIEGER-LISZKAY, A. K. Regulation of Photosynthetic Electron Transport and Photoinhibition. **Current Protein & Peptide Science**, v. 15, p. 351-362, 2014.
- ROBBIRT, K. M. *et al.* Validation of biological collections as a source of phenological data for use in climate change studies: a case study with the orchid *Ophrys sphegodes*. **Journal of Ecology**, v.99, p.235-241, 2011.
- ROBERTS, H.A. Seed banks in the soil. In: Roberts, H.A. (Ed.). **Advances in Applied Biology**. Cambridge: Academic Press, v.6, p.1-55, 1981.
- ROCHA, B. G. *et al.* Sistema de sementeira cruzada na cultura da soja: avanços e perspectivas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, p. 376-384, 2018.
- ROCHA, F. C. *et al.* Weed mapping using techniques of precision agriculture. **Planta Daninha**, v. 33, p. 157-164, 2015.
- ROCHA, J. A. F. L. **Comunidade de plantas daninhas e seus efeitos sobre os atributos químicos e produtivos no cerrado maranhense**. Relatório de Iniciação Científica (PIBIC) - Universidade Federal do Maranhão, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. p. 1-19, 2020.
- RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. Londrina, 6° ed, 2011, p. 697.
- RODRIGUES, M. S. *et al.* Geostatistics and its potential in Agriculture 4.0. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 51, p.e20207691, 2020.
- RODRIGUES, M. S. Soil Mapping as a Tool for Agricultural Management. **Advances in Plants & Agriculture Research**, v. 3, p. 185-185, 2016.
- ROMANIUK, R. *et al.* Soil organic carbon, macro-and micronutrient changes in soil fractions with different lability in response to crop intensification. **Soil and Tillage Research**, v.181, p. 136-143, 2018.
- SANDERS, J. T. *et al.* Remote sensing for palmer amaranth (*Amaranthus palmeri* s. wats.) detection in soybean (glycine max (l.) merr.). **Agronomy**, v. 11, p. 1–16, 2021.
- SAN-MARTIN-HERNANDEZ, C. *et al.* Spatial analysis of digital imagery of weeds in a maize crop. **International Journal of Geo-Information**, v. 7, p. 61-81, 2018.
- SANTABARBARA, S. Limited sensitivity of pigment photo-oxidation in isolated thylakoids to singlet excited state quenching in photosystem II antenna. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 455, p. 77-88, 2006.

- SANTANA, M. S. **Levantamento fitossociológico de plantas daninhas em áreas de produção de soja**. 2020. 32f. Monografia (Bacharel em Agronomia) - Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha.
- SANTOS, E. R.; RODRIGUES, A. F.; SANTOS, W. F. Composição florística e estrutural de plantas daninhas em agroecossistemas de várzeas no Sudoeste do Tocantins. **Agri-Environmental Sciences**, v. 3, p.29-39, 2017.
- SANTOS, F. C. *et al.* **A agropecuária do sul do Matopiba em perspectiva: circuito solos arenosos da região Cocos-Jaborandi**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2018. 67p.
- SANTOS, L. O. G. *et al.* Effect of liming on hexazinone sorption and desorption behavior in various soils. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 65, p. 1183-1195, 2019.
- SANTOS, M. P. *et al.* **Levantamento de plantas daninhas na cultura de abacaxi cv Turiaçu no período de transição (estiagem e chuvoso) no cerrado maranhense** (ISBN: 978-65-00-01752-6). In: Washington da Silva Sousa; Edmilson Igor Bernardo Almeida; Jordânio Inácio Marques; Gregori da Encarnação Ferrão. (Org.). **Inovações tecnológicas no campo**. 1. ed. Chapadinha (MA): EDUFMA, 2020, v. 1, p. 103-106.
- SANTOS, W. F. *et al.* Weed phytosociological and floristic survey in agricultural areas of southwestern Goiás region. **Planta Daninha**, v. 34, p. 65-80, 2016.
- SARMENTO, H. G. S. *et al.* Levantamento fitossociológico de plantas daninhas em áreas de bananicultura no Vale do Rio Gortuba, norte de Minas Gerais. **Revista agro@ambiente on-line**, v. 9, p. 308-316, 2015.
- SCHAFFRATH, V. R. *et al.* Variabilidade espacial de plantas daninhas em dois sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 53-60, 2007.
- SCHNEIDER, T. *et al.* Biologia molecular aplicada à ciência das plantas daninhas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.17, p.12-24, 2018.
- SCURSONI, J. A. *et al.* Weed management practices in Argentina crops. **Weed Technology**, v.33, p.459-463, 2019.
- SELLERS, B. *et al.* Smutgrass control in perennial grass pastures. **EDIS**, v. 18, p. 1-4, 2020.
- SENTELHAS, P. C. *et al.* The soybean yield gap in Brazil - Magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **Journal of Agricultural Science**, v.153, p.1394-1411, 2015.
- SHINO, M. *et al.* Discovery and mode of action of cyclopyrimorate: A new paddy rice herbicide. In: Maienfisch, P.; Mangelinckx, S. **Recent Highlights in the Discovery and Optimization of Crop Protection Products**. 1. ed. Academic Press, 2021, p. 451-457.
- SHIRATSUCHI, L. S.; FONTES, J. R. A.; RESENDE, A. V. Correlação da distribuição espacial do banco de sementes de plantas daninhas com a fertilidade dos solos. **Planta Daninha**, v. 23, p. 429-436, 2005.
- SHIRZADIFAR, A. *et al.* Development of spectral indices for identifying glyphosate-resistant weeds. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 170, p. e105276, 2020.
- SI, Y. *et al.* Influence of organic amendment on the adsorption and leaching of ethametsulfuron-methyl in acidic soils in China. **Geoderma**, v. 130, p. 66-76, 2006.
- SILVA, A. A. *et al.* Herbicidas: Absorção, Translocação, Metabolismo, Formulação e Misturas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. da. **Tópicos em Manejo de Plantas Daninhas**, 1. ed., UFV, 2007, p. 118-154.
- SILVA, A. F. M. *et al.* Introdução à ciência das plantas daninhas. In: **MATOLOGIA**. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 2021. p. 7-37.
- SILVA, A. F. M. *et al.* **Introdução à ciência das plantas daninhas**. In: BARROSO, A. M. MURATA, T. MATOLOGIA. 1. ed. Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2021. cap. 1, p 1-547b.
- SILVA, A. F. S. *et al.* Métodos de controle de plantas daninhas: métodos físico, mecânico, cultural, biológico e alelopatia. In: DE OLIVEIRA, M. F.; BRIGHENTI, A. M. eds. **Controle de Plantas Daninhas**. 1. ed. Brasília: Editora Embrapa Milho e Sorgo, 2018. cap. 1, p.11-33.
- SILVA, A. L. *et al.* Surveys of Weed Management on Flooded Rice Yields in Southern Brazil. **Weed Science**, v.70, p.1-26, 2022.
- SILVA, C.C. *et al.* Risk of environmental contamination due to the hexazinone application in agricultural soils in northeastern Brazil. **Geoderma Regional**, v.28, p.e00481, 2022.
- SILVA, D. A. **Composição florística de plantas daninhas em lavoura de soja no cerrado maranhense**. 2017. 30f. Monografia (Licenciatura e Bacharel em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha.
- SILVA, D. A. *et al.* Caracterização de plantas daninhas em área rotacionada de milho e feijão-caupi em plantio direto. **Scientia Agropecuaria**, v. 9, p. 7-15, 2018.
- SILVA, F. J. C. *et al.* Avaliação de índices fitossociológicos de plantas daninhas em solos com três diferentes texturas na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Fafibe On-Line**, v. 10, p. 223-240, 2017.
- SILVA, G. R. *et al.* Mobilidade do fomesafen em solos Brasileiros. **Planta Daninha**, v. 32, p. 639-645, 2014.
- SILVA, J. F.; MARTINS, D. **Manual de aulas práticas de plantas daninhas**. FUNEP, Jaboticabal, SP. 2013, 184p.
- SILVA, J. S. **Padrões fenológicos no Distrito Federal: congruência entre dados de herbário e estudos em campo**. Tese (Doutorado). Universidade de Brasília, Brasília, 216p. 2016.
- SILVA, J. V. *et al.* Revisiting yield gaps and the scope for sustainable intensification for irrigated lowland rice in Southeast Asia. **Agricultural Systems**, v.198, p. e103383 2022.
- SILVA, M. A. *et al.* Plantas de cobertura isoladas e em mix para a melhoria da qualidade do solo e das culturas comerciais no Cerrado. **Research, Society and Development**, v. 10, p. e11101220008, 2021.
- SILVA, M. F. **Manejo de plantas daninhas na cultura da soja (Glycine max Ll.)**. 2020b. 40f. Monografia (Bacharel em Engenharia Agrônoma) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada.
- SILVA, M. R. M. *et al.* Cadastramento fitossociológico de plantas daninhas na cultura do arroz de terras altas. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 11, p.51-60, 2013.
- SILVA, M. S. **Controle pré-emergente de plantas daninhas em lavouras de soja, sob condições de baixão e chapada**. 2022. 39f. Monografia (Bacharel em Agronomia) - Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha.

- SILVA, M. S. *et al.* Performance of pre-emergence herbicides in weed competition and soybean agronomic components. **Australian Journal of Crop Science**, v. 15, p. 610-617, 2021a.
- SILVA, M. S. *et al.* Weed control and selectivity of different pre-emergence active ingredients in a soybean crop. **Agronomia Colombiana**, v. 39, p. 392-404, 2022.
- SILVA, N. M. **Composição florística de plantas daninhas ocorrentes em lavouras de soja no município de Anapurus**. Relatório de Iniciação Científica (PIBIC) - Universidade Federal do Maranhão, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. P. 1-18, 2020a.
- SILVA, T. S. *et al.* Interaction between herbicides applied in mixtures alters the conception of its environmental impact. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, p. 15127-15143, 2022.
- SILVA, T. S. *et al.* Use of neural networks to estimate the sorption and desorption coefficients of herbicides: A case study of diuron, hexazinone, and sulfometuron-methyl in Brazil. **Chemosphere**, v. 236, p. 124333, 2019.
- SILVA, W. L. **Herbicidas residuais no controle de eleusine indica e na seletividade da cultura da soja**. 2020c. 50f. Dissertação (Pós-Graduação em Proteção de Plantas) Instituto Federal Goiano, Urutá.
- SIMPSON, E. H. Measurement of diversity. **Nature**. v.163, p.688, 1949.
- SINGH, B.; SINGH, K. Microbial degradation of herbicides. **Critical reviews in microbiology**, v. 42, p. 245-261, 2016.
- SINGH, N.; SINGH, S. B. Sorption-desorption behavior of metsulfuron-methyl and sulfosulfuron in soils. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 47, p. 168-174, 2012.
- SINGH, V. *et al.* Chapter Three - Unmanned aircraft systems for precision weed detection and management: Prospects and challenges. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Advances in Agronomy**, v. 159, p. 93-134, 2020.
- SIQUEIRA, G. M. *et al.* Spatial variability of weeds in an Oxisol under no-tillage system. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, p. 2569-2576, 2016.
- SOLTANI, N. *et al.* "Off-target movement assessment of dicamba in North America." **Weed Technology** v. 34, p.318-330, 2020.
- SOLTANI, N. *et al.* Perspectives on Potential Soybean Yield Losses from Weeds in North America. **Weed Technology**, v. 31, p. 148-154, 2017.
- SORENSEN, T. A. Method of establishing groups of equal amplitude in plant society based on similarity of species content. In: ODUM, E.P. **Ecologia**. México: Interamericana, 1972. Ed. 3, p. 341-405.
- SOSBAI - Sociedade sul-brasileira de arroz irrigado. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado, 32. Farroupilha: SOSBAI. 2018. 205p.
- SOTTOMAYOR, M. *et al.* Peroxidases and the biosynthesis of terpenoidindole alkaloids in the medicinal plant *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. **Phytochemistry Reviews**, v. 3, p. 159-71, 2004.
- SOUZA Z. S. Manejo e controle de plantas daninhas em pomares de macieira. **Boletim Técnico**, Florianópolis: Epagri, 2021, 98 p.
- SOUZA, A. D. *et al.* Leaching and carryover for safrinha corn of the herbicides imazapyr+ imazapic in soil under different water conditions. **Revista Caatinga**. v. 33, p. 287-298, 2020.
- SOUZA, A. S. *et al.* Herbicidas alternativos no controle de *Conyza sumatrensis* com resistência múltipla. **Anais SIMPOHERBI**, v. 1, 2019.
- SOUZA, D. C. L. Técnicas moleculares para caracterização e conservação de plantas medicinais e aromáticas: uma revisão. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**. v. 17, p. 495-503, 2015.
- SOUZA, E. B. *et al.* *Borreria apodiensis* (Rubiaceae: Spermaceae), a new species from Ceará and Rio Grande do Norte, Brazil. **Acta Botanica Brasílica**, v. 30, p. 283-289, 2016.
- SOUZA, G. A. D. *et al.* Diversidade genética estimada com marcadores ISSR em populações brasileiras de *Zabrotes subfasciatus*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.843-49, 2008.
- SOUZA, M. F. *et al.* Spectral differentiation of sugarcane from weeds. **Biosystems Engineering**, v. 190, p. 41-46, 2020.
- SOUZA, O. M. F. de. Georg Marggraf - o primeiro herborizador do Brasil. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v.3, p.25-29, 2006.
- SOUZA, V. B. *et al.* levantamento fitosociológico de infantis em cultivares de feijão-chuva ereto. **Planta Daninha**, v. 35, p. 1-3, 2017.
- SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica Sistemática - Guia ilustrativo para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseados em APG II**. 2. ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum. 2008, 704p.
- SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 640p, 2005.
- SRIVASTAVA, R. K.; SINGH, A.; SHUKLA, S. V. Chemical investigation and pharmaceutical action of *Cyperus rotundus* - a review. **Journal of Biologically Active Products from Nature**, v. 3, p. 166-172, 2013.
- STECKEL, L. E.; GWATHMEY, C. O. Glyphosate-resistant horseweed (*Conyza canadensis*) growth, seed production, and interference in cotton. **Weed Science**, v. 57, n. 3, p. 346-350, 2009.
- STEVENS, O. A. The number and weight of seeds produced by weeds. **American Journal of Botany**, v. 19, p. 784-794, 1932.
- STRIEGEL, S. *et al.* Spray solution pH and soybean injury as influenced by synthetic auxin formulation and spray additives. **Weed Technology**, v. 35, n. 1, p. 113-127, 2021.
- STUART, A. M. *et al.* Yield gaps in rice-based farming systems: Insights from local studies and prospects for future analysis. **Field Crops Research**, v.194, p.43-56, 2016.
- SUAREZ, L. A.; APAN, A.; WERTH, J. Detection of phenoxy herbicide dosage in cotton crops through the analysis of hyperspectral data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 38, p. 6528-6553, 2017.

- SUN, K. *et al.* Sorption of atrazine and phenanthrene by organic matter fractions in soil and sediment. **Environmental Pollution**, v. 158, p. 3520-3526, 2010.
- TAGLIAPIETRA, E. L. *et al.* Biophysical and management factors causing yield gap in soybean in the subtropics of Brazil. **Agronomy Journal**, v.113, p.1882-1894, 2021.
- TAGLIAPIETRA, E. L. *et al.* **Ecofisiologia da soja visando altas produtividades**. 2. ed. Santa Maria: GR, 2022. 432p
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed., 2017, p.888.
- TAKANO, H. K. *et al.* ACCase-inhibiting herbicides: mechanism of action, resistance evolution and stewardship. **Scientia Agricola**, v.78, p. 1-11, 2021.
- TAKANO, H. K. *et al.* Growth, Development and Seed Production of Goosegrass. **Planta Daninha**, v. 34, p. 249-258, 2016.
- TAKANO, H. K.; DAYA, F. E. Glufosinate-ammonium: a review of the current state of knowledge. **Pest Management Science**, v. 76, p. 3911-3925, 2020.
- TAKANO, H.K. *et al.* Chemical Control of Glyphosate-Resistant Goosegrass. **Planta Daninha**, v. 36, e018176124. 2018.
- TANG, X.; ZHU, B.; KATOU, H. A review of rapid transport of pesticides from sloping farmland to surface waters: Processes and mitigation strategies. **Journal of Environmental Sciences**, v. 24, p. 351-361, 2012.
- TATENO, M.; BRABHAM, C.; DEBOLT, S. Cellulose biosynthesis inhibitors – a multifunctional toolbox. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, p. 533-542, 2016.
- THIERS, B. (2022) Index Herbariorum: a global directory of public herbaria and associated staff. New York Botanical Garden's Virtual Herbarium. The New York Botanical Garden, Bronx. Disponível em: http://sweetgum.nybg.org/science/ih/?_ga=2.67694230.644426762.1652912870-1819688194.1651785251. Acesso: 30 abr 2022.
- THOMASI, R. M. *et al.* Relationship of vegetation indices with herbicide phytotoxicity in winter cereals. **Advances in Weed Science**, v.39, p. 1-10, 2021.
- THOMPSON, K.; GRIME, J.P. Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats. **Journal of Ecology**, v.67, p. 893- 921, 1979.
- TIMMONS F. L. A history of weed control in the United States and Canada. **Weed Science**, v. 18, p. 294-307, 1970.
- TITTLE, F. L.; GOUDEY, J. S.; SPENCER, M. S. Effect of 2,4- dichlorophenoxyacetic acid on endogenous cyanide, β -cyanoalanine synthase activity, and ethylene evolution in seedlings of soybean and barley. **Plant Physiol**, v. 94, p.143-1148, 1990.
- TORRES G. L.; QUINTANILLA C. F. **Fundamentos sobre malas hierbas y herbicidas**. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Servicio de Extensión Agraria: Mundi Prensa Libros S.A., 1991.
- TORRESEN, K. S.; KARLSSON, L. M.; GONZALEZ-ANDUJAR, J. L. Seed Biology and Population Dynamics, in: **Weed Research**, v. 19 p. 85-113, 2017.
- TRAESEL, L. **Comunidade e crescimento de plantas daninhas ocorrentes em lavouras de soja no município de Mata Roma**. Relatório de Iniciação Científica (PIBIC) - Universidade Federal do Maranhão, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. p. 1-19, 2015.
- TREZZI, M. M. *et al.* Impact of *Conyza bonariensis* density and establishment period on soybean grain yield, yield components and economic threshold. **Weed Research**, v.55, p.34-41, 2015.
- TREZZI, M.M. *et al.* Multiple resistance of acetolactate synthase and protoporphyrinogen oxidase inhibitors in *Euphorbia heterophylla* biotypes. **Journal of Environmental Science and Health**, v. 40, p.101-9, 2005.
- ULGUIM, A. da R. *et al.* Management of goose grass on transgenic soybean, resistant to glyphosate. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 48, p. 17-24. 2013.
- ULGUIM, A. *et al.* Understanding nutrient competition between *Echinochloa* spp. and *Oryza sativa* L. **Journal of Plant Protection Research**, v. 60, p. 296-310, 2020.
- USEPA. United States Environmental Protection Agency. Guidance for Products Containing the Organic Arsenicals. EPA Office of Pesticide Programs, Washington, DC. Disponível em: <https://www.epa.gov/ingredientes-used-pesticide-products/monosodiummethanearsonate-msma-organic-arsenical>. 2022. Acesso em: 28 de maio de 2022.
- VACCARI, C.; EL DIB, R.; DE CAMARGO, J. Paraquat and Parkinson's disease: a systematic review protocol according to the OHAT approach for hazard identification. **Systematic reviews**, v.6, p. 1-8, 2017.
- VAN ITTERSUM, M. K. *et al.* Yield gap analysis with local to global relevance-A review. **Field Crops Research**, v.143, p.4-17, 2013.
- VARGAS, L. *et al.* da. Resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil: histórico, distribuição, impacto econômico, manejo e prevenção. In: MESCHEDÉ, D.K.; GAZZIERO, D.L.P. **A era glyphosate: agricultura, meio ambiente e homem**, Midiograf II, cap. 20, p. 219-239, 2016.
- VARGAS, L.; ROMAN, E.S. Identificação e manejo de plantas daninhas resistentes a herbicidas. **Embrapa Trigo**, 2006.
- VASCONCELOS M. C. C.; SILVA A. F. A.; LIMA R. S. Interferência de Plantas Daninhas sobre Plantas Cultivadas. **Agropecuária Científica no Semiárido**. Mossoró - RN. v. 8, p. 01-06. 2012.
- VASILEIADIS, V.P.; FROUD-WILLIAMS, R.J.; ELEFTHEROHORINOS, I.G. Vertical distribution, size and composition of the weed seedbank under various tillage and herbicide treatments in a sequence of industrial crops. **Weed Research**, v. 47, p. 222-230, 2007.
- VATS, S. Herbicides: History, Classification and Genetic Manipulation of Plants for Herbicide Resistance In: LICHTFOUSE, E. **Sustainable Agriculture Reviews**. 1 ed., Springer, 2015, p. 153-192.

- VERMA, J. P.; JAISWAL, D. K.; SAGAR, R. Pesticide relevance and their microbial degradation: a state-of-art. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 13, p. 429-466, 2014.
- VIAN C. E. F.; ANDRADE A. M. J. Evolução histórica da indústria de máquinas agrícolas no mundo: origens e tendências. In: **CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, Campo Grande. Anais**. Campo Grande: Sober, 2010. p. 1-19.
- VICTORIA FILHO, R.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Banco de sementes de plantas daninhas no solo. In: Silva, J.F. e Martins, D (Eds). **Manual de aulas práticas de plantas daninhas. Jaboticabal: Funep**. 65-67, 2013.
- VIDAL, R. A. *et al.* Mecanismo de ação dos herbicidas. In: MONQUEIRO, P. A. **Aspectos da Biologia e Manejo das Plantas Daninhas. Primeira**, 1. ed. RiMa Editora, 2014, p.234-256.
- VIDAL, R. A.; MEROTTO JÚNIOR, A. **Herbicidologia**. Porto Alegre: Evangraf, 2001.
- VIDAL, R.; MEROTTO, Jr. A. **Herbicidologia**. 1. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2001.p. 152.
- VIDAL, R.A. *et al.* Glyphosate resistant biotypes of wild poinsettia (*Euphorbia heterophylla* L.) and its risk analysis on glyphosate-tolerant soybeans. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, v. 5, p. 265–269, 2007.
- VIDAL, R.A. *et al.* Resistência de Eleusine indica aos inibidores de ACCase. **Planta Daninha**, v.24, p.163-171, 2006.
- VIDAL, R.A.; LAMEGO, F.P.; TREZZI, M.M. Diagnóstico da resistência aos herbicidas em plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 24, p. 597-604, 2006.
- VYMAZAL, J.; BŘEZINOVÁ, T. The use of constructed wetlands for removal of pesticides from agricultural runoff and drainage: a review. **Environment international**, v. 75, p. 11-20, 2015.
- WANG, D. *et al.* Analysis of the Influence of Parameters of a Spraying System Designed for UAV Application on the Spraying Quality Based on Box–Behnken Response Surface Method. **Agriculture**, v. 12, p. e131, 2022.
- WANG, H. *et al.* Sorption of the herbicide terbuthylazine in two New Zealand forest soils amended with biosolids and biochars. **Journal of Soils and Sediments**, v. 10, p. 283-289, 2010.
- WANG, Q. *et al.* Two new sesquiterpenoids isolated from *Cyperus rotundus* L. **Natural Product Communications**, V. 16, p.1-6, 2021.
- WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Geostatistics for Environmental Scientists**. John Wiley: Chichester, 2007. p. 271.
- WELKER, C. A. D.; LONGHI-WAGNER, H. M. A família Poaceae no morro Santana, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, p. 53-92, 2007.
- WELLS H. G. **The Outline of History**. 6. ed. New York: Garden City Books, 1961. p. 128-183.
- WENNECK G. S. *et al.* Germinação de sementes de plantas daninhas submetidas ao teste de envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 15, p. 660–671, 2021.
- WERLE, R. *et al.* Survey of Nebraska farmers' adoption of dicamba-resistant soybean technology and dicamba off-target movement. **Weed Technology**, v. 32, p. 754-761, 2018.
- WERNER, D.; GARRATT, J. A.; PIGOTT, G. Sorption of 2, 4-D and other phenoxy herbicides to soil, organic matter, and minerals. **Journal of Soils and Sediments**, v. 13, p. 129-139, 2013.
- WESTENDORFF, N. R. *et al.* Initial growth and competitive ability of yellow nutsedge and irrigated rice. **Planta Daninha**, v. 31, p.813-821, 2013.
- WHITMORE, T. C. **An introduction to tropical rain forest**. 2. ed. Clarendon Press: Oxford. 226pp, 1990.
- WINDISCH, P. G.; LONGHI-WAGNER, H. M. Herbários: visão geral, estrutura e manejo. **Caderno de Pesquisa Ser. Boh**, v.12, p.7-16, 2000.
- WU, C. X. *et al.* Influence of organic amendments on adsorption, desorption and leaching of methiopyrisulfuron in soils. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 12, p. 1589-1597, 2013.
- WU, H. W., JIANG, W. L., YAN, M. A. Goosegrass (*Eleusine indica*) density effects on cotton (*Gossypium hirsutum*). **Journal of Integrative Agriculture**, v.14, p.1778-1785, 2015.
- WU, Q. *et al.* Sorption characteristics and contribution of organic matter fractions for atrazine in soil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, p. 2210-2219, 2015.
- XUAN, T. D.; TSUZUKI, E. Effects of application of alfalfa pellet on germination and growth of weeds. **Journal of Crop Production**, v. 4, p. 303-312, 2001.
- YADAV, S. S. Herbarium: Historical Account, Significance, Preparation Techniques and Management Issues. **Plant Archives**, v. 20, p. 2915-2926, 2020.
- YAMASHITA O. M., GUIMARÃES S. C. Germinação das sementes de *Coryza canadensis* e *Coryza bonariensis* em função da disponibilidade hídrica no substrato. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, p. 309-317, 2010.
- YUE, L. *et al.* Adsorption–desorption behavior of atrazine on agricultural soils in China. **Journal of Environmental Sciences**, v. 57, p. 180-189, 2017.
- ZABALZA, A. *et al.* The pattern of shikimate pathway and phenylpropanoids after inhibition by glyphosate or quinate feeding in pea roots. Pesticide **Biochemistry and Physiology**, v.141, p. 96-102, 2017.
- ZANDONÁ, R. R. *et al.* AGOSTINETTO, D. Economic threshold of smooth pigweed escaped from a herbicide program in roundup ready® soybean. **Advances in Weed Science**, v. 40, p. e20210011, 2022.
- ZANDONÁ, R. R. *et al.* Interference Periods in Soybean Crop as Affected by Emergence Times of Weeds. **Planta Daninha**, v. 36, p. e018169361, 2018.
- ZHOU, C. *et al.* Natural Products as Next-Generation Herbicides: Chemistry and Biology of Glufosinate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 68, p. 3344-3353, 2020.
- ZIECH, A. R. D. *et al.* Proteção do solo por plantas de coberturas de ciclo hibernar na região sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária**, v.50, p. 374-382, 2015.
- ZIMDAHL R. L. The Need for Historical Perspective. In: ZIMDAHL, Robert L. (Ed.). **Weed Science - A Plea for Thought - Revisited**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2011, p. 1–23.
- ZIMDAHL, R. L. **Fundamentals of weed science**. 52 p. Academic press. 2018
- ZIMDAHL, R.L. **Fundamentals of Weed Science**. Academic Press California, USA, 556 1999 p.

ZIMDAHL, R.L. **Fundamentals of Weed Science**. London: Elsevier, 2007.666p.

ZIMDAHL.; R. L. **Fundamentals of Weed Science**. 3. ed. Fort Collins: Academic Press, 2007. 735p.



PPGCAM
Programa de Pós-Graduação
em Ciências Ambientais/UFMA



Fotografia de capa: Mata Roma, MA (Almeida, 2021).
Fotografias de contracapa: Buriti, MA (Costa, 2021).

