

# TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE CALDAS FITOSSANITÁRIAS II



**Editores**

Lilian Lúcia Costa

Érica Fernandes Leão-Araújo

**TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE CALDAS  
FITOSSANITÁRIAS**

**2ª Edição**

**Morrinhos - GO**

2023

"O conteúdo abordado nos capítulos é de exclusiva responsabilidade dos autores"

ISBN 978-65-5671-046-4

Costa, Lilian Lúcia  
C837t Tecnologia de aplicação de caldas fitossanitárias / Lilian  
Lúcia Costa, Érica Fernandes Leão-Araújo. -- Jaboticabal :  
Funep, 2023  
v, 106 p. : il.

Inclui bibliografia  
ISBN

1. Pragas agrícolas - Controle. 2. Misturas (Química). 3.  
Matologia. 4. Nematoda em plantas. 5. Translocação  
vegetal. I. Leão-Araújo, Érica Fernandes. II. Título

CDU 632.9

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP  
Campus de Jaboticabal/SP - Karina Gimenes Fernandes - CRB 8/7418

## **Prefácio**

“Tecnologia de Aplicação de Caldas Fitossanitárias” é uma síntese da programação do II Congresso Sabri e II Workshop em Tecnologia de Aplicação de Caldas Fitossanitárias, realizado de 24 a 26 de agosto de 2022, no auditório Central “Sebastião Nunes da Rosa” do Instituto Federal Goiano, Campus Morrinhos, Brasil. Esta obra foi organizada com a colaboração dos palestrantes convidados e docentes do IF Goiano e de outras instituições externas que participaram do evento.

A tecnologia de aplicação é o topo da pirâmide das decisões que o agricultor tem que tomar para viabilizar sua produção. Acaricidas, bioinseticidas, fungicidas, herbicidas, inseticidas de última geração, serão inúteis se aplicados de forma incorreta, sem a definição do alvo biológico, bem como da seleção e do uso de equipamentos apropriados.

Além disso, o uso correto da tecnologia de aplicação, determinante para o sucesso do tratamento fitossanitário, sempre estará relacionado à tecnologia desenvolvida e transferida aos envolvidos no processo de aplicação de produtos fitossanitários. A transferência de informações deve ser contínua para que o manejo de organismos indesejáveis seja economicamente e ecologicamente sustentável, assegurando a utilização responsável dos produtos.

Com o objetivo de divulgar as contribuições, perspectivas e desafios da tecnologia de aplicação para o manejo de organismos indesejados nas culturas agrícolas de forma mais efetiva, os capítulos da obra foram ajustados para trazer informações relevantes para a cadeia produtiva, buscando sanar gargalos verificados pelos produtores.

Os editores e autores desta obra não têm a pretensão de esgotar os assuntos sobre o tema, mas acreditam que com esta edição estarão contribuindo para maior difusão de conhecimentos e divulgação de resultados de pesquisa, com destaque reconhecido em sua área de atuação, para discentes, docentes e profissionais envolvidos com a temática tecnologia de aplicação.

*Os Editores, Abril - 2023.*

## **Agradecimentos**

Os editores desta obra e a Comissão Organizadora do II Congresso Sabri e II Workshop em Tecnologia de Aplicação de Caldas Fitossanitárias agradecem:

Aos palestrantes pela disposição em deslocar grandes distâncias e divulgar seus conhecimentos e resultados de pesquisa obtidos nos anos de atuação profissional

À direção do Instituto Federal Goiano, Campus Morrinhos, GO pelo apoio estrutural concedido para realização do evento.

Às empresas patrocinadoras que viabilizaram financeiramente a realização do evento (Agrocete, Bayer, Croda, DVA adjuvantes, Jacto, Lallemand, Magnojet, OroAgri, Rizobacter, SaveFarm, Stara, Teejet, UPL).

Às empresas expositoras por trazerem produtos e tecnologias para divulgação no momento empresa.

À Secretaria municipal de agricultura e pecuária (Semape), Prefeitura municipal de Morrinhos e Sindicato Rural pelo apoio e divulgação do evento.

Aos funcionários da Fundação de Apoio à Pesquisa, Ensino e Extensão (FUNEP) e da Assessoria de comunicação (ASCOM) de Morrinhos, Goiás pelo apoio prestado nas inscrições e divulgação do evento.

A toda comissão organizadora por possibilitar o sucesso do evento e desta obra.

## Sumário

<b>Capítulo 1.</b> Tecnologias de alto desempenho disponíveis para a pulverização agrícola .....	6
<b>Capítulo 2.</b> Avanços tecnológicos na aplicação de produtos fitossanitários na cultura da cana-de-açúcar e citrus.....	19
<b>Capítulo 3.</b> Faixa efetiva e altura de voo em aeronaves agrícolas .....	23
<b>Capítulo 4.</b> Compatibilidade físico-química de misturas de produtos fitossanitários .....	33
<b>Capítulo 5.</b> Defensivos agrícolas: cenário brasileiro e dinâmica em plantas .....	48
<b>Capítulo 6.</b> Resistência de plantas daninhas a herbicidas: manejo e situação atual .....	63
<b>Capítulo 7.</b> Desafios na aplicação de produtos biológicos para o controle de doenças de plantas .....	81
<b>Capítulo 8.</b> Diagnóstico e manejo de nematoides em sistemas de produção de grãos .....	90

## CAPÍTULO 1

# TECNOLOGIAS DE ALTO DESEMPENHO DISPONÍVEIS PARA A PULVERIZAÇÃO AGRÍCOLA

*Túlio de Almeida Machado<sup>1</sup>, Nara Silveira Velloso<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Instituto Federal Goiano, Campus Morrinhos, GO. [tulio.machado@ifgoiano.edu.br](mailto:tulio.machado@ifgoiano.edu.br)

<sup>2</sup>Universidade Federal do Sergipe, SE. [naravelloso@academico.ufs.br](mailto:naravelloso@academico.ufs.br)

### 1. INTRODUÇÃO

Grandes investimentos, trabalhos e estudos que visam o aumento da qualidade, redução de custos, eficiência e busca de sustentabilidade nas operações agrícolas são difíceis de solução no setor agrícola.

Os tratos culturais proporcionam as melhores condições de crescimento da planta em todos os seus processos fisiológicos e possibilitam manter o solo como um meio adequado à produção. Visam, sobretudo, ao manejo de espécies invasoras que infestam as lavouras em todo o seu ciclo produtivo e podem ser efetuadas por métodos físicos, biológicos ou químicos. Todos esses estão englobados nos chamados produtos fitossanitários (BECKER et al., 2021).

Para a utilização desses produtos há uma evolução nos equipamentos de aplicação observando que as transferências de tecnologias obtidas por pesquisas ocorrem lentamente e chegam ao campo para grandes e pequenos produtores (FRIEDRICH, 1996). É importante salientar que as aplicações podem exercer um efeito desejado, contudo, devido à falta de instrução sobre a correta utilização da tecnologia ou de equipamentos adequados, elas podem se tornar ineficientes (CUNHA et al., 2004).

Os avanços em novas tecnologias de aplicação têm proporcionado melhor depósito dos produtos nos alvos, reduzindo a contaminação ambiental, aumentando a segurança dos colaboradores envolvidos e melhorando a qualidade do tratamento fitossanitário (BAESO et al., 2014).

A utilização racional dos recursos, no sentido de fazer uma aplicação adequada, evitando desperdícios de produtos e diminuindo o risco de acidentes por deriva de material químico é uma preocupação constante e é um ponto de partida ao pensar no desenvolvimento dos equipamentos utilizados na aplicação de produtos fitossanitários no campo.

## **2. PULVERIZAÇÃO DE PRECISÃO**

A agricultura de precisão é uma realidade presente nas grandes propriedades rurais do Brasil. Esta forma de produção tem como finalidade fazer aplicações localizadas e a taxas variáveis, considerando a variabilidade espacial e temporal da área a ser tratada. A agricultura de precisão utiliza de uma base tecnológica que integra sistemas embarcados em diferentes máquinas agrícolas, que promovem a aplicação de produtos de uma forma controlada conforme a necessidade de cada área.

O controle químico de pragas e doenças, por mais eficientes que sejam ainda representam um problema para a questão ambiental, devido seu alto poder de contaminação. Desta forma, é interessante reduzir o número de aplicações e a quantidade de produto depositado, reduzindo impactos ao meio ambiente. Ferramentas de agricultura de precisão, voltadas ao mapeamento geoespacializado de infestações de pragas e doenças, apresentam-se como alternativas promissoras para a resolução de questões ligadas à minimização da contaminação ambiental proveniente da aplicação de produtos fitossanitários.

A pulverização de precisão tem a finalidade de aplicação de produtos fitossanitários em locais e quantidades específicas. É realizada com base em sistemas que controlam automaticamente as seções dos pulverizadores, reduzindo significativamente a sobreposição entre as linhas, o que significa uma economia na utilização do produto, no tempo de realização da operação, e no consumo de combustível, aumentando consequentemente o rendimento operacional e a qualidade de trabalho do operador, quando realizada de forma correta.

Para a garantia de uma aplicação correta e segura, faz-se necessário conhecer as diferentes formas de aplicação, os diferentes tipos de produtos e os diferentes alvos, considerando ainda as condições meteorológicas, visando minimizar o efeito da deriva, do escorrimento e da evaporação do produto aplicado, que são as principais causas de perdas e contaminação ambiental.

Os sistemas utilizados nessa forma de aplicação são constituídos basicamente de uma antena GPS que fica acoplada no lado externo do trator ou do pulverizador autopropelido; de um sistema guia, afixado na cabine do operador; de um módulo de comando dos controladores de seção e de pulverização e de válvulas de acionamentos (Figura 1) (REYNALDO & MOLIN, 2011).



**Figura 1.** Principais partes que constituem um sistema de pulverização de precisão (REYNALDO & MOLIN, 2011).

O sistema é alimentado na cabine do operador, onde um mapa com as quantidades desejadas por área é incluído no sistema guia que será controlado pelo sinal de GPS. O controlador (módulo de comando) leva a informação de aplicação ou não aplicação aos bicos do pulverizador por meio das válvulas de acionamento. É importante ressaltar que o sistema deverá considerar no seu trajeto, também as manobras de cabeceiras e, estas deverão ser configuradas de forma a permitir a melhor utilização do tempo, com o menor gasto de combustível, compondo a operação toda.

### 3. PULVERIZAÇÃO SELETIVA

A empresa SaveFarm® possui um sistema de pulverização seletiva que proporciona vantagens como economia do produto utilizado e de combustível, além de uma melhor aplicação

e aumento do rendimento operacional. Neste sistema há câmeras de reconhecimento que realizam a leitura do solo, detectam a presença de plantas daninhas, fazem o acionamento do jato somente em cima da planta, voltando, posteriormente, a desligar o jato (Figura 2). Essas possibilidades estão disponíveis para o pré-plantio e também para os tratos culturais após a cultura já instalada.



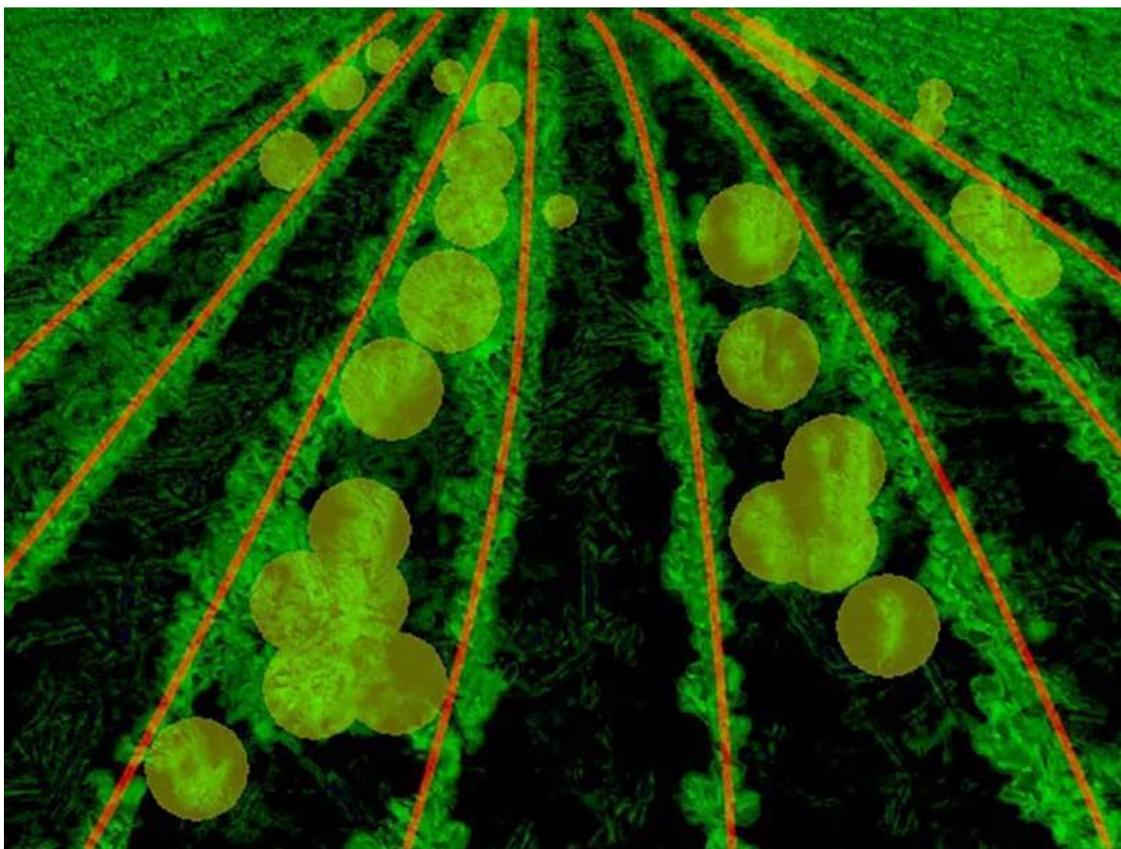
**Figura 2.** Câmera de detecção do sistema SaveFarm®. ([www.savefarm.com.br](http://www.savefarm.com.br))

A possibilidade da aplicação “verde sobre verde” para culturas já instaladas é possível a partir da coleta de dados pelas câmeras e análise em tempo real para a identificação apenas de plantas daninhas que se desenvolveram após a instalação da cultura. Na pulverização pulsada, a pressão é controlada pelas válvulas PWM, fazendo com que a mesma mantenha-se sempre na mesma faixa de trabalho, conforme a necessidade de diâmetro mediano volumétrico (DMV) para cada operação. Nessa tecnologia pode haver a taxa mínima de aplicação e flush.

Na forma convencional de aplicação, são utilizadas válvulas anti-gotejo e, nesse caso, em pulverizadores autopropelidos, a taxa de aplicação é mantida pela mudança na pressão na bomba

do pulverizador, no entanto, isso provoca mudança no ângulo e no tamanho das gotas durante a aplicação.

Na taxa mínima de aplicação, o sistema permite pulverizar uma taxa mínima em área total, com dose parcial do produto fitossanitário. Entretanto, quando o Savefarm® detectar a presença de uma planta-alvo, aciona o jato com taxa máxima (dose total) sobre a mesma (Figura 3). Isso é possível com a utilização de válvulas PWM que possibilitam a manutenção do espectro de gotas sem a troca de pontas e um maior range de velocidade operacional.

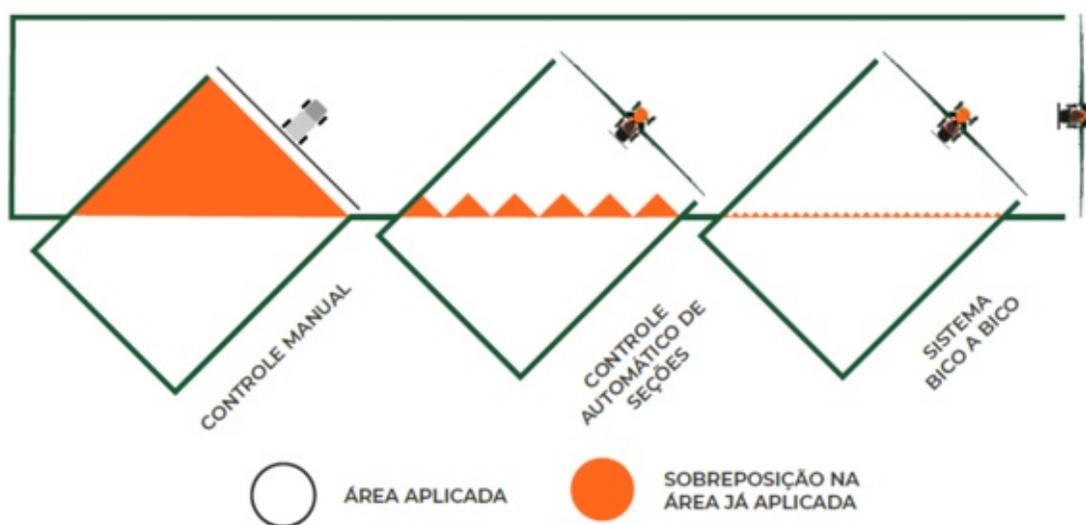


**Figura 3.** Câmera de detecção do sistema SaveFarm®. ([www.savefarm.com.br](http://www.savefarm.com.br))

A utilização da tecnologia de pulverização seletiva proporciona vantagens muito desejadas para os produtores rurais, facilitando o manejo, melhorando a qualidade da aplicação e reduzindo custos.

#### 4. SISTEMA BICO A BICO

Outra tecnologia também bastante utilizada na pulverização é o sistema bico a bico (Figura 4). A empresa Stara® possui esse sistema em sua linha de pulverizadores autopropelidos. Este sistema realiza o desligamento automático do bico de pulverização no momento em que é identificado pelo software, com utilização de um sistema GPS, uma área onde a calda já foi aplicada, proporcionando uma aplicação mais precisa e eficiente, com economia de até 5% dos produtos fitossanitários (STARA, 2019).



**Figura 4.** Funcionamento do sistema bico a bico da Stara®. ([www.stara.com.br](http://www.stara.com.br))

Estudos que comparam áreas pulverizadas com máquinas de sistema convencional/seções e máquinas com o sistema bico a bico apresentam que o transpasse, em média, com o bico a bico é de 0,32%, já com desligamento por seções é de 3,59%. Essas médias são resultados da avaliação do transpasse de 34.686 hectares em todo Brasil e variam de acordo com a região e o relevo (Stara, 2021a).

#### 5. SISTEMA DUPLA LINHA

O sistema dupla linha (Figura 5) possui duas pontas de pulverização com vazões distintas que atuam em velocidades operacionais baixas e intermediárias. Além disso, elas podem ser acionadas ao mesmo tempo para operações em altas velocidades, permitindo pulverizar com uma

maior amplitude de velocidade operacional, aumentando o rendimento por área e mantendo a qualidade de aplicação (STARA, 2021b).



**Figura 5.** Sistema dupla linha da Stara®. ([www.stara.com.br](http://www.stara.com.br))

Neste sistema, a pressão dos bicos opera em uma faixa adequada de acordo com o padrão de gotas desejado e a velocidade da operação. Dessa forma, o sistema realiza o acionamento do bico ideal para pulverização, garantindo qualidade de aplicação por manter a uniformidade do tamanho de gota produzida. Essa tecnologia também pode ser adicionada no sistema bico a bico resultando na economia de produtos fitossanitários.

## **6. PULVERIZAÇÃO POR DRONES**

Os drones, veículos aéreos não tripulados, são amplamente utilizados em diversas aplicações civis e agrícolas. Como ferramenta para realizar a pulverização em grandes áreas, os drones oferecem um trabalho ágil, facilitador de acesso a áreas inacessíveis e com redução de custos. A utilização de drones para pulverização, no entanto, pode ser limitada, pois a utilização destes equipamentos apresenta capacidade de aplicação limitada e são utilizados drones de grande porte, sendo uma operação financeiramente inviável em atividades de menor demanda, quando comparada à aplicação nos formatos convencionais.

Os drones passam por vôos de treinamento para se adequarem a diferentes condições meteorológicas. Com essas informações coletadas, sensores são instalados na área de interesse. Ao passar por essas áreas, o drone verifica se as informações direcionadas em tempo real são equivalentes às informações armazenadas anteriormente. Com o cruzamento destes dados, o sistema sinaliza a liberação ou não liberação do produto sobre a lavoura. Uma bomba regula a vazão do líquido pulverizado e, quanto maior a potência desta bomba, maior a capacidade de pulverização. É importante ressaltar que este trabalho deve ser realizado sob a supervisão de um técnico responsável e capacitado para operar o drone e com conhecimento agrônômico acerca dos produtos que deverão ser aplicados na lavoura.

Para proceder com a pulverização, a calda deverá ser formulada da mesma forma que é feita para a utilização de pulverizadores autopropelidos ou de arrasto, respeitando as concentrações adequadas. Com a calda preparada, o operador deverá proceder com a escolha do tipo de ponta, tipo de jato e vazão do pulverizador. Esta escolha deverá ser feita considerando o tipo de alvo e estágio de desenvolvimento da cultura (ANDRADE, 2016).

São requisitos desejáveis, segundo Slongo et al. (2019), para utilização de drones na aplicação de produtos fitossanitários, a facilidade de manuseio, transporte e manutenção; capacidade de realizar decolagens e pousos em curtas distâncias; capacidade de operar taxas de aplicação entre 3 e 20 l.ha<sup>-1</sup>; realização de vôos de no máximo dois metros de altura, a fim de evitar perda de produto por deriva e cobertura de no mínimo 2 ha.h<sup>-1</sup>.

A grande vantagem na utilização de drones está na capacidade que o equipamento tem de realizar sobrevôos semanais a baixo custo durante o período de produção. Algumas ferramentas já conhecidas da agricultura de precisão, como sensores e câmaras termais e multiespectrais, podem ser adequadas ao uso de drones. Outra vantagem é a redução de compactação da área trabalhada devido à passagem de pulverizadores autopropelidos ou de arrasto.

A utilização de drones na agricultura possibilita identificar características adversas das culturas, como infestações de pragas e presença de doenças, falhas no plantio, crescimento indevido da cultura e mau desenvolvimento. É possível fazer essa identificação pela utilização de câmeras que capturam imagens de alta resolução espacial e espectral, em diferentes faixas de comprimento de ondas, que ao serem tratadas por técnicas de sensoriamento remoto, são capazes de retornar ao produtor dados da qualidade da plantação.

Apesar de ser uma inovação ainda pouco difundida no Brasil, alguns modelos de drones utilizados em pulverização podem ser adquiridos no mercado brasileiro ou importados. Um dos equipamentos mais conhecidos são os modelos AGRAS produzidos pela DJI, uma empresa chinesa. O drone é do tipo octacóptero, com capacidade de armazenamento de até 10 quilos de líquido, possui capacidade de pulverizar de três a quatro hectares por hora, e possui quatro bicos pulverizadores abaixo do motor (Figura 6).



**Figura 6.** Drone modelo AGRAS MG-1. ([www.dji.com.br](http://www.dji.com.br))

Outro modelo que se destaca é o PELICANO, da Skydrones, de produção nacional. Além da capacidade de armazenamento de até 8 quilos de produto. Possui seis bicos pulverizadores perfazendo uma faixa de aplicação entre quatro e cinco metros e tempo de vôo entre 10 e 15 minutos, sendo possível pulverizar até um hectare por vôo. Este modelo permite fazer aplicações em área total ou pontual, além disso, possui radar para acompanhar o relevo mantendo-se a uniformidade na aplicação (Figura 7).



**Figura 7.** Drone modelo PELICANO. ([www.skydrones.com.br](http://www.skydrones.com.br))

Os custos desses equipamentos podem variar entre R\$60 e R\$200 mil reais de acordo com as características de cada drone. Por serem equipamentos onerosos, o manuseio deve ser feito por técnicos habilitados para tal. Além disso, os drones devem seguir leis e normas estabelecidas pela ANAC, Anatel, DECEA e pelo Ministério da Defesa, tal qual as demais aeronaves em circulação no país (CHB Agro, 2020).

Uma alternativa à aquisição desse material é o aluguel em empresas terceirizadas. Após a análise de retorno da atividade, o produtor poderá considerar os custos operacionais e decidir pela aquisição ou não de um equipamento para uso em sua propriedade.

## **7. OUTRAS TECNOLOGIAS**

Alternativas tecnológicas surgem para suprir lacunas que ainda não foram solucionadas, visando à redução do uso de produtos fitossanitários para uma agricultura mais sustentável ou realizando o controle de invasoras que apresentam resistência a moléculas de herbicidas. Uma empresa de robótica na Alemanha, por exemplo, criou um robô capaz de identificar plantas

saudáveis ou plantas com doenças e plantas daninhas (CHEBROLU et al., 2017). A tecnologia, chamada de BoniRob, utiliza redes neurais, algoritmos e inteligência artificial para acumular dados e “aprender”, o que a possibilita tomar outras decisões na lavoura (Figura 8).



**Figura 8.** Robô BoniRob (CHEBROLU et al., 2017).

O equipamento possui quatro rodas articuladas individuais e pode se locomover sem controle remoto. O robô é embarcado com scanner a laser 3D para navegar e verificar as características de cada planta como a nutrição, o estresse hídrico ou indicativos de doenças.

Ao identificar uma planta invasora, o equipamento aciona um dispositivo que destrói o vegetal não desejado de maneira definitiva, arrancando-o pela estrutura. Ele possui o tamanho de um carro popular e pesa quase meia tonelada, contudo é ágil, sendo capaz de eliminar quase duas plantas daninhas por segundo.

Outras possibilidades tecnológicas serão desenvolvidas no futuro de acordo com as demandas de sustentabilidade, qualidade e eficiência de aplicação para produtores de todos os tamanhos e com diversos tipos de equipamentos. A busca da maior produtividade segue alinhada com a tecnologia oferecida no campo.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, R. O. **Drones sobre o campo**: Avanços tecnológicos ampliam as possibilidades do uso de aeronaves não tripuladas na agricultura. Pesquisa FAPESP. Ed. 239, 2016.

BAESSO, M. M.; TEIXEIRA, M. M.; RUAS, R. A. A.; BAESSO, R. C. E. Tecnologias de aplicação de agrotóxicos. **Revista Ceres**, v. 61, p. 780-785, 2014.

BECKER, R. S.; ALONÇO, A. S.; FRANCETTO, T. R.; RODRIGUES, H. E.; BOCK, R.; MENDONÇA, M.T. Inovações tecnológicas em máquinas agrícolas para controle de plantas daninhas. **Tecno-Lógica**, v. 25, n. 1, p. 98-108, 2021.

CHB AGRO. **Uso de drones de pulverização nas lavouras**. Link de acesso: CHBAGRO - Uso de Drones de Pulverização nas Lavouras, 2020. Acesso em 19/10/2022.

CHEBROLU, N., LOTTES, P., SCHAEFER, A., WINTERHALTER, W., BURGARD, W., STACHNISS, C. Agricultural robot dataset for plant classification, localization and mapping on sugar beet fields. **The International Journal of Robotics Research**, v. 36, n. 10, p. 1045-1052, 2017.

CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, R. F.; FERNANDES, H. C.; COURRY, J. R. Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 10, p. 977-985, 2004.

DJI AGRICULTURE. **Soluções inteligentes e eficientes**. Link de acesso: DJI Agriculture - Better Growth, Better Life. Acesso em 19/10/2022.

FRIEDRICH, T. La actualización de la FAO com respecto a la tecnologia de aplicación para Agroquímicos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS, 1, 1996, Jaboticabal, **Anais...** Jaboticabal: IAC, 1996. 15p.

REYNALDO, E. F.; MOLIN, J. P. Proposta metodológica para avaliação de controlador automático de seções e pulverização. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 111-120, 2011.

SKYDRONES. **Pelicano 2022: a nova linha de drones da Skydrones**. Link de acesso: Pelicano 2022 | SkyDrones. Acesso em 10/10/2022.

SLONGO, A. G.; MORAES, D. D.; MANTOVANI, L. Q.; VENTURINI, M. S. **Definição de requisitos de projeto para um veículo aéreo não tripulado (vant) para pulverização agrícola.** II Congresso Aeroespacial Brasileiro. 8 p. 2019.

STARA. **Stara apresenta a melhor experiência em pulverização na Expointer.** Link de acesso:

<<https://stara.com.br/noticias/feiras-e-eventos/stara-apresenta-a-melhor-eficiencia-em-pulverizacao-na-expointer/>>, 2019. Acesso em 04/10/2022.

STARA. **Como economizar defensivos e aumentar a produtividade? Acerte no alvo com o Sistema Bico a Bico Stara.** Link de acesso: <<https://evolucaoagricola.com.br/como-economizar-defensivos-e-aumentar-a-produtividade-acerte-no-alvo-com-o-sistema-bico-a-bico-stara/>>, 2021a. Acesso em 04/10/2022.

STARA. **Sistema dupla linha: pulverização eficiente em qualquer velocidade.** Link de acesso: <<https://stara.com.br/noticias/produtos/sistema-dupla-linha-pulverizacao-eficiente-em-qualquer-velocidade/>> 2021b. Acesso em 04/10/2022.

## CAPÍTULO 2

### **AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA APLICAÇÃO DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR E CITRUS**

*Luís César Pio<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Engenheiro Agrônomo, fundador e atual diretor da empresa Herbicat Ltda. [pio@herbicat.com.br](mailto:pio@herbicat.com.br)

Nos últimos anos os desafios relacionados à alimentação e geração de energia vêm se tornando cada vez mais evidentes, sendo assim o aumento da qualidade e produtividade no cultivo de cana-de-açúcar apresenta papel de destaque. Dentro deste contexto, também se pode citar a produção de citrus que é importante grupo utilizado para alimentação, sendo o Brasil o segundo maior produtor mundial de fruta cítrica e maior produtor mundial de laranja (VIDAL, 2021). Para atingir elevada produtividade, a realidade da maior parte da área cultivada com citrus ou cana-de-açúcar, envolve fortemente a indústria de químicos. Porém há a necessidade de buscar resultados positivos com o menor impacto ambiental possível, seja ele de curto ou longo prazo.

No cultivo da cana-de-açúcar existem aplicações que já se tornaram tradicionais, ou também chamadas de padrões, como a aplicação de pré-emergentes para controle de ervas daninhas. Um fator essencial para a qualidade dessas aplicações de barra, antigo e amplamente conhecido, é que haja uma distribuição uniforme da calda (água + produto químico). Fatores como equipamento e topografia irão impactar na escolha correta de pontas de pulverização, altura de trabalho das barras e pressão de trabalho como sendo aspectos que contribuem para garantir boa distribuição e baixa deriva. Essa “receita” é o básico a ser realizado quando se buscam os melhores resultados nas aplicações.

Com a evolução dos equipamentos utilizados em uma aplicação, muitas inovações surgem no que se refere aos acessórios e outros componentes do sistema para aplicar a “receita”. Por exemplo, atualmente, um avanço tecnológico são as pontas que produzem gotas ultragrossas, com ângulos maiores de 110° e que reduzem o risco de deriva. Existem também os sistemas de estabilidade de barra que reduzem o balanço horizontal garantindo melhor distribuição na aplicação. Estas inovações devem ser utilizadas conforme as condições e necessidades do campo.

Outra inovação interessante é relacionada à necessidade, cada vez mais frequente, da realização de catações químicas e, às vezes, de uma segunda aplicação. Nesse ponto, pode-se destacar quatro avanços: **identificação de ervas daninhas** por imagens de VANTs (Veículo Aéreo Não Tripulado) e satélites; **veículo especial para catação** química (VAPT); **aplicação localizada** usando Sistema de Aplicação Pré-selecionada (**APS**); aplicação localizada por meio de **DRONES**.

As imagens produzidas por satélites e pelos VANTs podem ser utilizadas como ferramentas para levantamento de reboleiras e entendimento da evolução do desenvolvimento das plantas invasoras. Isso otimiza muito o processo de aplicação, bem como auxilia na seleção da melhor forma de aplicação: área total, taxa variável, ou ainda usando alguns dos outros meios que serão relacionados abaixo. Entre as formas de coleta de imagens, os VANTs de asa fixa ou multimotores são os mais conhecidos e utilizados na agricultura.

Essas imagens podem também orientar as aplicações via terrestre utilizando um veículo especial para catação em cana-de-açúcar, como o Vapt. Devido ao seu design, ele consegue percorrer área total sem causar danos às plantações, sendo ideal para aplicações em áreas de média e baixa infestação. O veículo, que é movido à diesel e atinge no máximo 28 km.h<sup>-1</sup>, pode levar até duas pessoas, tem capacidade de tanque de 300 litros e é equipado com lanças laterais para catação pontual, barras para aplicação em faixas e até sistemas com sensores de identificação e aplicação pontual em tempo real como WeedSeeker ou WeedIt.

O Vapt pode tratar até sete linhas de plantio por passada e tem alcance de até 12 linhas com a utilização das lanças. Essas características garantem uma maior autonomia de serviço, com ganho significativo de capacidade operacional (duas vezes maior do que o disponível no mercado até então) e com segurança do trabalhador. Outro benefício desse veículo é ser composto com peças de veículos de mercado, facilitando a manutenção e aumentando a disponibilidade do veículo para os tratos culturais. Apesar do uso deste equipamento ser para cana-de-açúcar em estágios iniciais de crescimento, pode ser usado, em variedades mais eretas, até quando essas atingem portes maiores.

Outra estratégia tecnológica e inovadora para catação química de ervas daninhas utilizando as imagens produzidas por satélites ou VANTs é o APS (Aplicação Pré-Selecionada). Com a definição das áreas com as plantas daninhas mais importantes, pode-se informar ao sistema, que gera um mapa para aplicação, apenas na área onde existem as reboleiras. Diferente

de uma aplicação de taxa variável, o sistema de fácil operação permite que o agroquímico ideal seja aplicado apenas na área necessária. O APS utiliza as imagens carregadas para identificar o tipo de planta daninha (folhas largas e folhas estreitas, classificadas por espécies) e o programador pode selecionar até oito tipos de produtos para aplicação seletiva e automática quando o pulverizador passar sobre a área de infestação. Isso resulta em um uso racional de agrotóxicos e um grande impacto na sustentabilidade: economia com o mínimo de contaminação do homem e meio ambiente. O APS pode ser montado em pulverizadores normais de barra, em pulverizadores automotrizes ou em veículos de catação como o Vapt.

A aplicação de herbicidas com VANTs tipo drone também é uma estratégia atual que tem sido cada vez mais utilizada, com grande importância nas lavouras de porte mais alto. O volume de calda permitido na aplicação irá depender do modelo de drone selecionado, sendo o mais usado volumes próximos de 10 L.ha<sup>-1</sup>. Um cuidado que deve ser tomado nesse tipo de aplicação é com a produção de deriva, porém não impede o uso da ferramenta. A seleção de uma ponta de pulverização adequada, ideal para redução de deriva, como as pontas Agrotop Modelo Airmix 110.02, boa regulagem e observância de condições climáticas adequadas resultam em uso de sucesso desta inovação.

Essa grande progressão de ferramentas de aplicação nas produções de cana-de-açúcar e em outras culturas como a soja, com grandes evoluções em termos de mecânica, de técnicas de aplicação e eletrônica, não foi acompanhada pela citricultura. Apesar de sua importância econômica e social, observa-se no campo que sua base de pulverizadores continua pouco alterada, ainda apresentando problemas na seleção de pontas de pulverização que produzam gotas mais adequadas ao momento da aplicação, tanto em função do clima como em função do estágio de desenvolvimento das plantas.

Os maiores produtores atualmente estão implementando sistemas de gerenciamento de máquinas, com foco na gestão de produtividade dos equipamentos e uso dos mesmos. Apesar disso, pouco se tem feito quanto à qualidade da aplicação realizada. Recentemente, devido à necessidade de aplicação de inseticidas em isca, com doses e posicionamento mais precisos, foi desenvolvido pulverizador capaz de fazer as aplicações posicionadas a cada sete metros (aplicação pontual), depositando a dose selecionada no alvo escolhido. O intervalo entre as aplicações pode ser ajustado para outras distâncias, sendo acionada de forma automatizada e

reduzindo erros. Se necessário, ela pode ser acionada pelo operador de dentro do trator ou veículo, sem que haja contato com o produto.

O FlyBait, como é chamado o equipamento, possui modelos que executam aplicações unilaterais e bilaterais e tem uma grande vantagem em ganho operacional por permitir aplicação conjugada com herbicidas, por exemplo. Ele pode ser facilmente instalado em diversos veículos como tratores de pequeno porte, quadriciclos ou qualquer outro veículo que possa manter velocidade constante na área. Isso garante praticidade no uso e não restringe qualquer veículo para uma aplicação pontual.

Cumprindo o objetivo de apresentar os avanços tecnológicos na aplicação de produtos fitossanitários nas culturas de cana-de-açúcar e citrus, encerra-se com a percepção de que a tecnologia disponível atualmente tem muito a contribuir em ganhos operacionais, econômicos, produtivos e, portanto, sustentáveis. Observa-se ainda um campo de desenvolvimento dentro da citricultura.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

VIDAL, M. F. **Produção de laranja na área de atuação do BNB**. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste (ETENE). Ano 6, nº 198, 2021.

## CAPÍTULO 3

### FAIXA EFETIVA E ALTURA DE VOO EM AERONAVES AGRÍCOLAS

*José Luís Carlos dos Santos Júnior<sup>1</sup>, Carlos Eduardo Angeli Furlani<sup>2</sup>, Afonso Lopes, Marcelo<sup>3</sup>  
Boamorte Ravelli<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Eng. Agrônomo, Me. Pesq. Tecnologia de Aplicação SABRI, Ribeirão Preto, SP. joseluis@sabri.com.br

<sup>2</sup>Prof. Dr. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Unesp de Jaboticabal, SP. Departamento de Engenharia e Ciências Exatas DECEX. eduardo.furlani@unesp.br

<sup>3</sup>Prof. Dr. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Unesp de Jaboticabal, SP. Departamento de Engenharia e Ciências Exatas DECEX. afonso.lopes@unesp.br

<sup>4</sup>Grupo Ravelli Soluções Agrícolas, Araraquara, SP. marcelobravelli@gmail.com

#### 1. INTRODUÇÃO

A aviação agrícola é apresentada nas regulamentações do setor como uma atividade econômica de aplicação de qualquer substância destinada à nutrição de plantas, tratamento do solo, propagação da vida vegetal e controle de patógenos. A aviação agrícola no Brasil está em grande expansão, sendo a segunda maior frota do mundo. Segundo o Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola - SINDAG (2021), o Brasil registrou 2.352 aeronaves, o resultado significa um crescimento de 3,16% durante o ano de 2021.

Uma das vantagens da aviação agrícola é a alta capacidade operacional, permitindo soluções rápidas, em maiores extensões de área, tornando possível alcançar resultados positivos, com custos econômicos acessíveis, desde que sejam adotados todos os procedimentos técnicos adequados (BAYER et al., 2011).

O conhecimento sobre o desempenho e a capacidade de trabalho das aeronaves agrícolas é fundamental no gerenciamento dos sistemas de produção, auxiliando na tomada de decisões. A otimização das operações de aplicação aérea torna-se importante para um melhor desempenho, para redução dos custos e melhoria na qualidade da aplicação (MOLIN et al., 2006). A uniformidade e a seleção correta da largura da faixa efetiva estão entre os aspectos mais importantes da aplicação aérea. Com uma grande variação de deposição, a má uniformidade de

distribuição da pulverização em todo o campo, degrada a qualidade da aplicação e pode resultar em vários aspectos negativos, como o baixo controle de pragas, doenças e plantas daninhas, contribuindo para a seleção da resistência (CARVALHO & CUNHA, 2019).

Na aplicação aérea, um dos parâmetros operacionais é a avaliação da faixa de deposição, que é o padrão de distribuição na linha de voo e que fornece informações vitais durante as aplicações, como por exemplo, os ajustes do equipamento realizando a adição ou remoção de bicos à barra de pulverização para melhorar a uniformidade do depósito (PARKIN & WYATT, 1982). Assim, um fator que deve ser considerado é o coeficiente de variação da faixa de deposição. A faixa efetiva de deposição é considerada um perfil uniforme de distribuição dentro da faixa, quando há sobreposição das faixas. Para se obter uma faixa de deposição satisfatória, é necessário entender os fatores que influenciam diretamente na qualidade da aplicação.

A aplicação aérea é uma ferramenta de extrema importância, quando realizada dentro de critérios técnicos bem definidos. No entanto, existem poucas pesquisas nessa abordagem de aeronaves agrícolas no Brasil quando se trata da faixa de deposição e altura de voo. Com isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a faixa de deposição em função da altura de voo e o coeficiente de variação (CV%) de diferentes modelos de aeronaves agrícolas.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

A pesquisa foi realizada por meio da coleta de dados de 20 aeronaves do modelo AirTractor 502 (AT-502) e 25 EMB-Ipanema 202 (EMB-202). As coletas foram realizadas em 5 estados brasileiros: Mato Grosso, Bahia, Piauí, Maranhão e Goiás. Cada aeronave pode ter sido avaliada mais de uma vez, o que resultou no maior número de análises comparado ao número de aviões, de acordo com a Tabela 1. As aeronaves foram equipadas com bicos do modelo atomizador rotativo com taxa de aplicação de 10 litros por hectare.

O método utilizado para a coleta de dados foi por meio da espectrofotometria de fio denominado de Clínicas de Aeronaves – DoPro Be Safe®. A metodologia é baseada na ASAE S386.2 (2018), e é utilizado para análises de aplicações clínicas sob a operação do programa S.A.F.E (Self-regulating Application and Flight Efficiency), nos Estados Unidos.

Para a coleta de dados, as aeronaves foram preparadas com água limpa e adicionado o corante rodamina na concentração de 0,02% (v/v), este corante foi pulverizado sobre uma linha de poliéster/algodão de 1 mm de diâmetro com 46 m de comprimento, a linha foi posicionada a

0,5 m de altura com auxílio de dois tripés, um contendo um carretel com linha nova e protegida por um recipiente e outro é fixado a uma roldana para o recolhimento.

**Tabela 1.** Distribuição das aeronaves agrícolas avaliadas em diferentes estados brasileiros em 2021.

Estados	Número de Aeronaves	Número de Análises
Goiás	7	9
Mato Grosso	17	48
Bahia	15	32
Piauí	4	8
Maranhão	2	4
Total	45	101

Foram realizados quatro voos (cruzando perpendicularmente) sobre o centro da linha para cada aeronave avaliada. Em cada passagem da aeronave foi registrada informações como: altura de voo (utilizando régua graduada e mira holográfica), ângulo do vento, velocidade de aplicação (utilizando radar) e as condições meteorológicas, o vento no momento da aplicação foi de proa (contra a aeronave), assim evitando interferências no resultado do teste.

Todos os testes foram realizados nas condições meteorológicas consideradas ideal para aplicação. As condições meteorológicas e a identificação de angulação do vento foram verificadas utilizando a estação meteorológica portátil Kestrel® modelo 5500.

Para a correta aplicação sobre o centro da linha foi feita uma demarcação do centro utilizando bandeiras para melhor visualização do piloto, após cada passagem esperou-se um minuto para a correta deposição do corante sobre a linha. O equipamento utiliza um software que gera média dos depósitos observados pelo espectrofotômetro e calcula o Coeficiente de Variação (CV) em relação a faixa efetiva.

Para a análise de capacidade de campo efetiva (CCE) foram utilizadas as velocidades de aplicação das aeronaves e 3 faixas efetivas. Para o modelo AirTractor 502 (AT-502) utilizou as faixas de 28, 30 e 32 metros e para o modelo Ipanema 202 (EMB-202) as faixas 18, 20 e 22

metros. A velocidade utilizada foram as médias das 20 aeronaves do modelo AirTractor 502 e 25 do modelo Ipanema 202 e transformada para km/h, para o cálculo utilizou-se a equação 1:

$$\text{hectare/hora} = \text{Faixa (m)} * \text{Velocidade (km/h)} / 10$$

Foram utilizados dois fatores: altura de voo e faixa efetiva. Em relação à altura de voo da aeronave AirTractor 502 (AT-502) utilizaram-se duas alturas, de 5 e 8 metros em relação a linha e três faixas efetivas de aplicação 28, 30 e 32 metros. Para a aeronave Ipanema 202 (EMB-202) utilizaram-se duas alturas de 4 e 6 metros em relação a linha e três faixas efetivas de aplicação 18, 20 e 22 metros.

Para a análise dos resultados, os dados foram submetidos à análise de variância ( $p \leq 0,1$ ), e quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste Tukey ( $p \leq 0,1$ ) e calculado o intervalo de confiança (IC) pelo teste t. Em que, t refere-se ao valor de t tabelado ( $p \leq 0,05$ ), DP o desvio padrão dos dados e “n” o número de amostragens.

$$\text{IC} = t * \text{DP} / \sqrt{n}$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A capacidade de campo efetiva (CCE) não considera os tempos consumidos fora da operação (ASAE, 2003), descontando os tempos gastos em preparo do equipamento, como deslocamento, mapeamento da área, pouso e decolagem, calibração, regulagens, manutenção e limpeza e tempos de interrupção durante toda movimentação da aeronave como manobras, ajustes e paradas para abastecimento do tanque de pulverização e de combustível.

A capacidade de campo efetiva (CCE) na aviação agrícola está totalmente ligada à faixa efetiva de deposição, velocidade da aeronave e capacidade do tanque de calda. Observa-se que na aeronave AirTractor 502 (AT-502) que possui o tanque de calda com capacidade de aproximadamente 1900 litros o aumento da faixa de 28 para 32 metros o ganho de rendimento chega a 12,5% o que corresponde a 90 ha/h (Tabela 2). Já para a aeronave Ipanema 202 (EMB-202) que possui o tanque de calda com capacidade de aproximadamente 750 litros o ganho de rendimento chegou a 18,2% quando se aumenta de 18 para 22 metros de faixa efetiva de

deposição, que representa 73 ha/h (Tabela 2). De maneira geral, com o aumento da faixa efetiva de deposição e a velocidade da aeronave o ganho operacional de rendimento aumenta.

**Tabela 2.** Capacidade de campo efetiva (CCE) (hectares por hora) por diferentes faixas efetivas (FE) (metros) e dois modelos de aeronaves.

Modelo Aeronave	Velocidade (Km/h)	FE (m)	CCE (ha/h)	Ganho de Rendimento (%)
AirTractor 502	225	32	720	-
AirTractor 502	225	30	675	6,25
AirTractor 502	225	28	630	12,5
Ipanema 202	182	22	400	-
Ipanema 202	182	20	364	9
Ipanema 202	182	18	327	18,2

Deve-se levar em consideração a qualidade da aplicação para uma correta escolha da faixa efetiva de deposição das aeronaves. Uma vez que, para garantir uma aplicação eficiente o aumento da faixa de deposição deve estar associado a um menor CV possível. Segundo Parkin & Wyaat (1982), a uniformidade da faixa de deposição é medida pelo coeficiente de variação (CV%) e deve ser menor que 20%.

A partir da análise de variância é possível observar que a altura teve pouca influência na qualidade de aplicação, enquanto a faixa de deposição tem efeito direto sobre o coeficiente de variação (Tabela 3).

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância e média do coeficiente de variação em função da altura e faixa de deposição para a aeronave Air Tractor 502 (AT 502).

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
Altura	1	0,02	0,02	0,002 <sup>ns</sup>
Faixa	2	66,03	33,01	2,516*
Altura x Faixa	2	59,34	29,17	2,261*
<hr/>				
Coeficiente de Variação (CV) (%)	20,86			
<hr/>				
	Faixa de deposição			
Altura	28	30	32	Média
5	17,4 Ba	16,8 Aa	17,9 Aa	17,4 A
8	15,8 Aa	17,9 Ab	18,3 Ab	17,3 A
Média	16,6 a	17,3 ab	18,1 b	

GL = grau de liberdade; SQ=Soma de Quadrado; QM= Quadrado médio; F= Teste F; <sup>ns</sup> não significativo a 10% de probabilidade pelo teste F; \* diferença significativa a 10% de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10% de probabilidade.

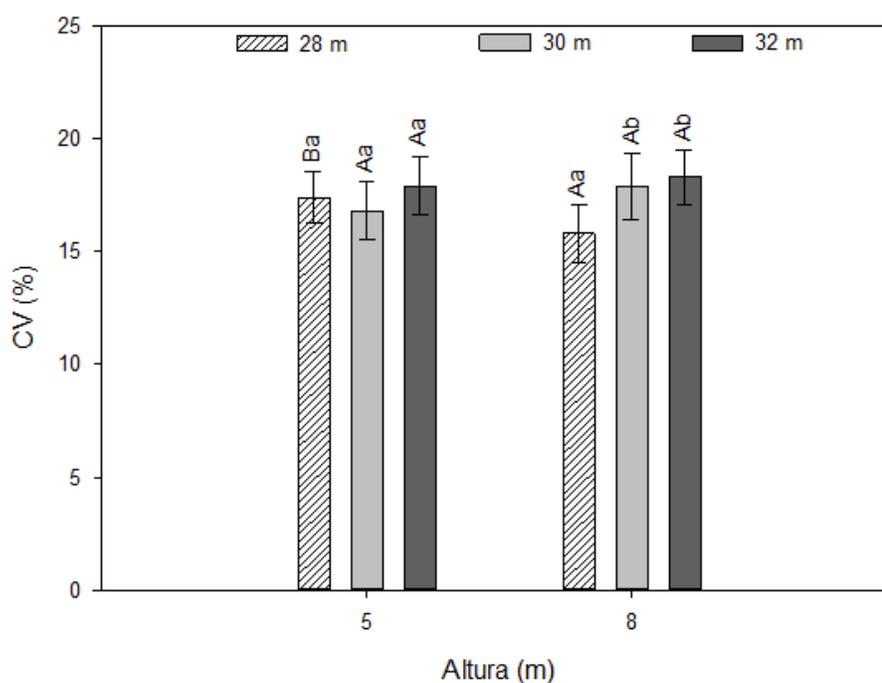
Na altura de 5 metros não se observou diferença entre as faixas de deposição (Tabela 3), o que indica que mesmo havendo aumento na faixa de 28 metros até 32 metros não haverá redução na qualidade de aplicação. Segundo Carvalho e Cunha (2019), a faixa de deposição total é onde todos depósitos atingiram, independentemente da quantidade depositada. Já a faixa efetiva encontra-se dentro da faixa total, onde os níveis de depósitos satisfazem as necessidades recomendadas para uma correta aplicação.

Em trabalho realizado por Fritz et al. (2019), os autores demonstraram que utilizando 65% da barra em relação a envergadura se obteve a melhor uniformidade da largura da faixa efetiva para o modelo AirTractor 502. Quanto maior a envergadura da barra de pulverização, mais larga poderá ser a faixa de deposição efetiva, porém mais facilmente as gotas pulverizadas são arrastadas pelos vórtices da ponta asa. Do mesmo modo, que quanto maior a velocidade da aeronave mais aumenta a proporção de pequenas gotas, fragmentadas pelo impacto do vento exercida sobre elas, na qual pode alterar o efeito dos vórtices na ponta da asa e aumentar potencial do risco de deriva devido gotas menores (WOMAC et al., 1993).

Na altura de 8 metros a faixa de 28 metros proporcionou menor CV, enquanto nas faixas de 30 e 32 m não foi observado diferença significativa (Tabela 3). Ao comparar cada faixa de deposição nas diferentes alturas, observa-se que apenas a faixa de 28 metros obteve diferença significativa, sendo o menor CV na altura de 8 m quando comparado com a de 5 m (Tabela 3).

Na figura 1, a deposição da faixa efetiva em 8 metros de altura apresentou um melhor CV% para a aeronave AirTractor 502 (AT-502), devido a uma melhor abertura e deposição das gotas por se tratar de uma aeronave rápida e de averdugara de asas maiores. Uma maior altura de voo apresenta maior segurança aos pilotos e maior facilidade para desviar de obstáculos.

A largura da faixa de deposição é significativamente influenciada pela altura de voo e tamanho de gotas. De acordo Monteiro (2006), altura certa de aplicação é de 25% a 50 % do valor da envergadura, para a aeronave AirTractor 502 (AT-502) a altura mínima é de 4 metros e a máximo de 8 metros de altura, já para a aeronave Ipanema 202 (EMB-202) a altura mínima recomenda e de 3 metros e o máximo de 6 metros.



**Figura 1.** CV (%) em função da altura (5 e 8 m) e da faixa de deposição (28, 30 e 32 m) para a Aeronave Air Tractor 502 (AT 502). Médias seguidas pela mesma letra (maiúscula entre a altura nas diferentes faixas de deposição e minúscula entre as faixas de deposição dentro de cada

altura), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10% de probabilidade. As barras de erro representam o intervalo de confiança.

Para a aeronave Ipanema 202 (EMB-202) observa-se que as alturas de 4 e 6 m não inferiram na qualidade de aplicação, seja na análise isolada ou em combinação com as diferentes faixas de deposição, que por sua vez apresentaram efeito significativo sobre o CV (Tabela 4).

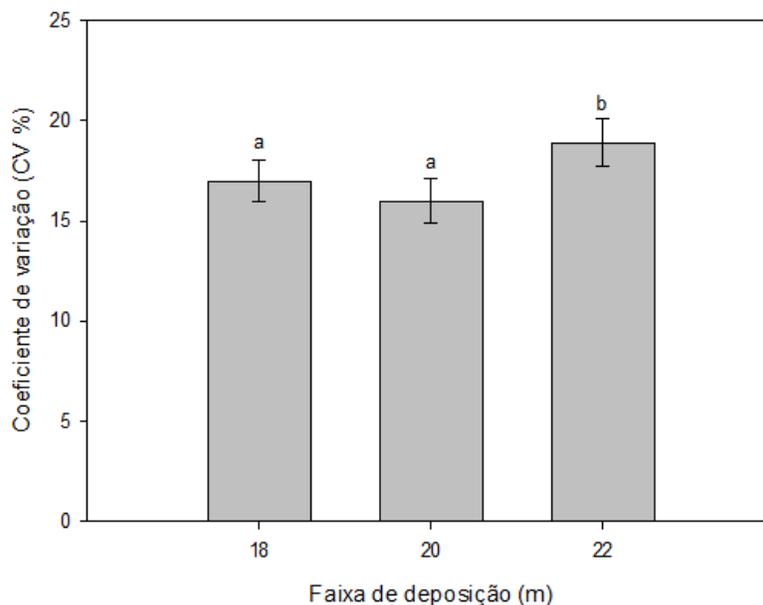
**Tabela 4.** Resumo da análise de variância e média do coeficiente de variação em função da altura e faixa de deposição para a aeronave Ipanema 202

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
Altura	1	0,05	0,05	0,00 <sup>ns</sup>
Faixa	2	263,61	131,81	7,43 <sup>**</sup>
Altura x Faixa	2	46,63	23,32	1,31 <sup>ns</sup>
<b>Coeficiente de Variação (CV) (%)</b>				
	20,86			
	Faixa de deposição			
Altura	18	20	22	Média
4	17,37	15,23	19,17	17,26
6	16,57	16,70	18,60	17,28
Média	16,97 a	15,97 a	18,83 b	

GL = grau de liberdade; SQ=Soma de Quadrado; QM= Quadrado médio; F= Teste F; <sup>ns</sup> não significativo a 10% de probabilidade pelo teste F; <sup>\*\*</sup> diferença significativa a 10% de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas pela mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10% de probabilidade.

Ao analisar o efeito da faixa de deposição na qualidade da aplicação do Ipanema 202, observa-se que o aumento de 18 para 20 metros não acarretou o aumento do CV, o que indica a manutenção da uniformidade de aplicação nessas faixas de deposição. Utilizando a faixa de 20 metros o ganho de capacidade de campo teórico foi de 10% e o rendimento foi de 37 ha/h (Figura 2). No entanto, para a faixa de 22 metros houve aumento do coeficiente de variação (Figura 2). A aeronave EMB-Ipanema 202 (EMB-202) possui uma envergadura menor em relação ao AirTractor 502 (AT-502), o aumento de faixa efetiva nessas aeronaves fica totalmente

condicionada à altura de voo. De acordo com Parkin e Wyatt (1982), as perdas de produtividade são maiores do que os ganhos operacionais, conforme o CV aumenta além do recomendado para as aplicações.



**Figura 2.** CV (%) em da faixa de deposição (18, 20 e 22 m) para a Aeronave Ipanema 202. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10 % de probabilidade. As barras de erro representam o intervalo de confiança.

#### 4. CONCLUSÕES

1. A altura de voo é dependente da largura da faixa efetiva de deposição das aeronaves, tanto para o modelo AirTractor 502 quanto para o modelo Ipanema 202.
2. O aumento de ganho operacional depende do aumento da faixa efetiva de deposição das aeronaves, sendo de 12,5% para o AirTractor 502 quando altera de 28 para 32 metros e 18,2% Ipanema 202 quando altera de 18 para 22 metros.
3. A altura de voo não interfere na qualidade de aplicação da aeronave Ipanema 202 (EMB-202), já para a aeronave AirTractor 502 (AT-502) a melhor altura foi a de 5 metros.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (ASAE) S386.2 Feb1988. Calibration and distribution pattern testing of agricultural aerial application equipment. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**. St. Joseph, MI, USA, 2018. 10p.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (ASAE). D497.4. **Agricultural machinery management data**. In: ASAE standards, St. Joseph, MI, USA, p. 373-380, 2003.
- BAYER, T.; COSTA, I. F. D.; LENZ, G.; ZEMOLIN, C.; MARQUES, L. N.; STEFANELO, M. S. Equipamentos de pulverização aérea e taxas de aplicação de fungicida na cultura do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 192-198, 2011.
- CARVALHO, F. K.; CUNHA, J. P. A. R. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais: Estudos das faixas de deposição nas aplicações aéreas**. 2. ed. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2019. p. 213-222.
- FRITZ, B; GILL, M; BRETTHAUER, S. Examining Aerial Application Swath Pattern Evaluations under In-Wind and Cross-Wind Conditions. **In: Pesticide Formulation and Delivery Systems: 39th Volume, Innovative Formulation, Application and Adjuvant Technologies for Agriculture**. ASTM International, 2019.
- MOLIN, J. P.; MILAN, M.; NESRALLAH, M. G. T.; CASTRO, C. N. D.; GIMENEZ, L. M. Utilização de dados georreferenciados na determinação de parâmetros de desempenho em colheita mecanizada. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 3, p. 759-767, 2006.
- MONTEIRO, M. V. M. **Compêndio de aviação agrícola**. Gráfica e Editora Cidade: Sorocaba-SP, 2006. 298p.
- PARKIN, C.S.; WYATT, J. C. The determination of flight-lane separations for the aerial application of herbicides. **Crop Protection**, v. 1, p. 309-332, 1982.
- SINDAG (Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola). **Dados sobre a aviação agrícola**. 2021. Disponível em: <https://sindag.org.br/dados-sobre-a-aviacaoagricola/>. Acessado em: 26 de Dez de 2021.
- WOMAC, A. R.; MULROONEY, J. E.; BOUSE, L. F. Spray drift from high-velocity aircraft. **Transactions of the ASAE**, v. 36, n. 2, p. 341-347, 1993.

## CAPÍTULO 4

# COMPATIBILIDADE FÍSICO-QUÍMICA DE MISTURAS DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS

*Sergio Tadeu Decaro Junior, PhD.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Gerente de Tecnologia de Aplicação da empresa United Phosphorus Limited - UPL.  
sergiotdecaro@yahoo.com.br

### 1. INTRODUÇÃO

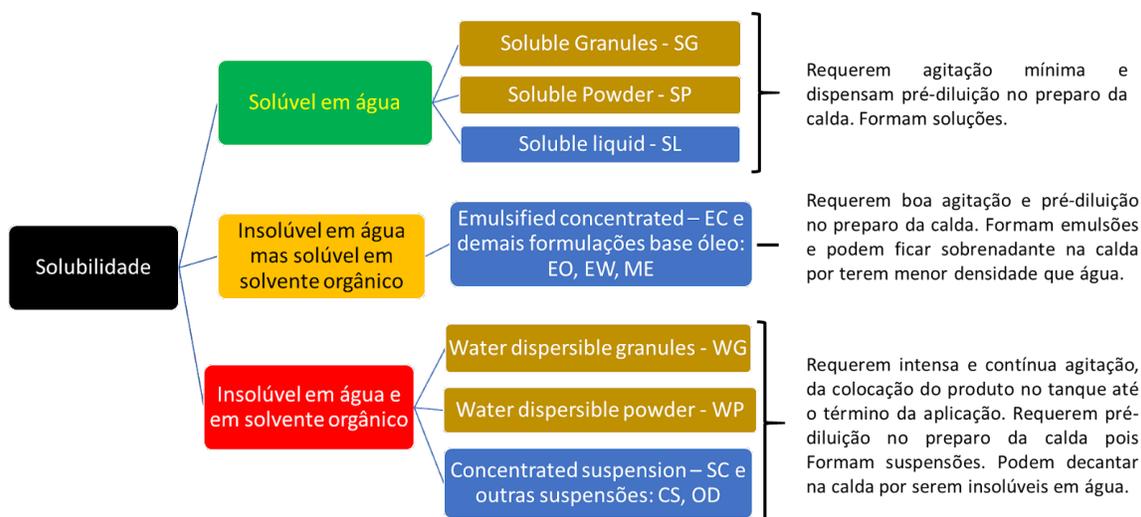
A agricultura é o pilar central que sustenta a economia no Brasil e amortiza as adversidades e crises globais. A quantidade de alimentos produzida internamente alimenta não só o mercado interno como muitos mercados externos. Para evidenciar o sucesso da agricultura brasileira vale atribuir à análise de que tudo o que se produz é em um ambiente tropical, com uma grande pressão de agentes biológicos como insetos, microrganismos e plantas daninhas, capazes de comprometer significativamente, tanto a quantidade quanto a qualidade do que se produz.

O uso de produtos fitossanitários é, em associação com outras ferramentas, de fundamental importância para assegurar o volume e qualidade de tudo o que é produzido no Brasil. Há muita *Fake News* envolvendo os produtos fitossanitários na mídia, redes sociais, meio artístico e político. É fato que estamos nos referindo a produtos tóxicos e de alta periculosidade, tanto para quem faz manuseio no campo, quanto para o ambiente em que é utilizado. É por isso que, sob o crivo do Ministério da Agricultura, Anvisa e Ibama, para cada novo registro de produto fitossanitário, é realizada uma série de testes e relatórios assegurando não só a eficácia biológica de controle do produto em questão, como também os riscos de exposição e potenciais toxicológicos. O processo de registro no Brasil é um dos mais rigorosos do mundo inteiro e assegura que, uma vez concedido o registro, há plenas condições de uso na agricultura, mediante orientações de uso dispostas nas bulas dos fabricantes, sem oferecer riscos ao trabalhador no campo, ao ambiente e ao consumidor final dos alimentos produzidos.

A calda contendo o produto fitossanitário é formada pela mistura de água mais produtos, no tanque do pulverizador. A partir do tanque, ocorre então a formação das gotas nos bicos e seu transporte até o alvo, seja ele uma planta daninha, a cultura principal ou o solo. Após atingir o alvo, a última etapa do percurso do produto é a interação com o alvo, onde precisará penetrar superfícies vegetais, se manter estável e com o mínimo possível de volatilização ou degradação, seja ela pela luz ou por agentes biológicos no solo ou na folha, até que promova seu efeito de controle. Neste capítulo será abordado o tema sobre o preparo da calda e as maneiras de minimizar interações que possam causar incompatibilidades entre produtos na mistura.

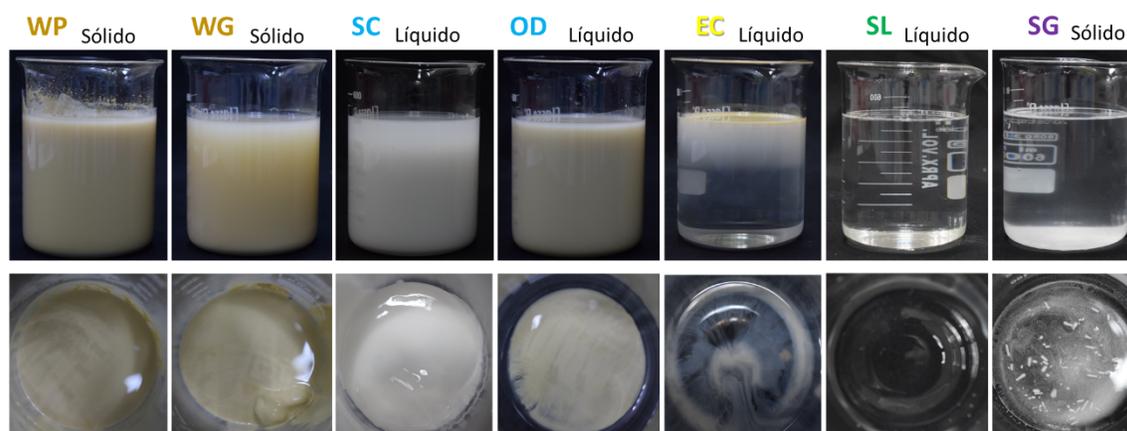
## **2. CARACTERÍSTICAS DOS PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS E SUAS FORMULAÇÕES**

Para descrever os tipos de formulação dos produtos fitossanitários é necessário que primeiro entenda-se um pouco mais sobre os ingredientes ativos e suas características hidro e lipofílicas. Sempre que há o desenvolvimento de algum novo ativo, observa-se o comportamento do mesmo em água e em solventes orgânicos. No melhor dos casos, um ingrediente ativo pode ser solúvel em água, ficando o mesmo em solução perfeita, o que possibilita sua formulação ser feita na forma líquida ou sólida. Na forma líquida, a formulação mais utilizada é chamada de SL (Concentrado Solúvel), enquanto nas formas sólidas, pode-se obter tanto a SP (Pó Solúvel) na forma de pó, quanto a SG (Granulado Solúvel) na forma de grânulos (Figura 1). Tais tipos de formulação começam a ser praticadas quando o ingrediente ativo apresenta solubilidade mínima de  $5000 \text{ mg.L}^{-1}$  de água.



**Figura 1.** Chave de possibilidades para a formulação de ingredientes ativos. Os retângulos na cor marrons significam formulações sólidas, enquanto os retângulos na cor azul referenciam formulações líquidas.

Uma vez que um ingrediente ativo não possui solubilidade em água, verifica-se sua afinidade com solventes orgânicos, abrindo possibilidade para que se formule opções como EC (Concentrado Emulsionável), EW (Emulsão de Óleo em Água), EO (Emulsão de Água em Óleo), ME (Microemulsão), entre outras, sendo estas as mais comuns. Independente de qual seja a formulação para este tipo de ingrediente ativo, a resultante final será uma emulsão perfeita em água, com no máximo 1% (volume/volume) de formação de creme e ausência de formação de fase oleosa sobrenadante (DOW, 2015). Qualquer que seja a formulação citada acima, a agitação no tanque é importante para evitar a separação da fração oleosa dos produtos no tanque do pulverizador (Figura 2).

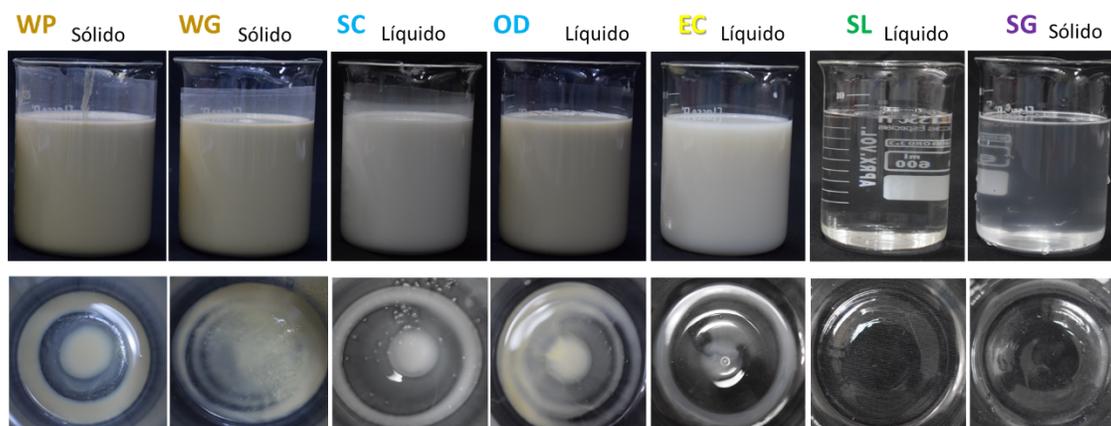


**Figura 2.** Comportamento dos principais tipos de formulação quando adicionados em água, sem que haja agitação no processo. A linha superior com visão lateral das misturas água + formulação e a linha inferior mostra o conteúdo decantado quando não há agitação no sistema.

Uma vez que o ingrediente ativo não possui solubilidade nem em água, nem em solventes orgânicos, tem-se a opção das formulações sólidas WP (Pó Molhável) ou WG (Grânulos Dispersíveis em Água), também conhecidas como *Dry Flowable*. Há também a possibilidade de formulação na fase líquida como SC (Suspensão Concentrada), OD (Dispersão em Óleo), CS (Suspensão de Encapsulados), entre outras, sendo estas, as mais comuns. Para estas formulações, espera-se que, uma vez adicionadas em água, ocorra a dispersão. Tais formulações possuem comportamento semelhante dentro do tanque do pulverizador e demandam agitação constante para evitar que seus ingredientes ativos decantem com o passar do tempo.

As formulações são compostas pelo ingrediente ativo mais os tensoativos e preenchimento, que nas bulas são referidos como “outros ingredientes”. Muitas vezes, esses são segredos de formulação e são os responsáveis por garantir a estabilidade dos ativos em mistura, antes, durante e após o processo de aplicação, quando as gotas já atingiram o alvo. Outras vezes, são também os responsáveis por gerar problemas de aplicação e incompatibilidades de mistura.

Cada tipo de formulação, citadas anteriormente, requerem tensoativos específicos. Formulações solúveis em água possuem como principais tensoativos aqueles com efeito umectante, ou seja, que fazem com que o ativo mantenha sua ligação com a água por mais tempo. Formulações solúveis em solventes orgânicos, por sua vez, demandam, além de umectantes, dispersantes mais um solvente orgânico específico que tenha afinidade com o ingrediente ativo em questão. As formulações insolúveis em água e em solventes orgânicos demandam, principalmente, tensoativos com efeito umectante e dispersante. É a combinação do ingrediente ativo e seus tensoativos que possibilita o uso dos produtos no campo, tanto do ponto de vista de eficácia de controle quanto da facilidade de manuseio e operação (Figura 3).



**Figura 3.** Exemplo dos principais tipos de formulação de produtos fitossanitários e seu comportamento quando em sistema com agitação.

Na figura 3, tem-se o efeito dos tensoativos na dispersão e suspensão das formulações WP, WG, SC e OD que, sob agitação constante, não geram problema de decantação no fundo dos recipientes. Da mesma forma, o efeito dos tensoativos na emulsão da formulação EC, demonstrando que, sob agitação, não há formação de fase oleosa sobrenadante.

Apresentam-se abaixo as opções mais viáveis para uso de produtos fitossanitários em mistura de tanque com o objetivo de se evitar problemas de incompatibilidade.

### 3. ORDEM DE ADIÇÃO DE PRODUTOS NO PREPARO DA CALDA

A mistura de produtos no tanque do pulverizador é uma atividade comum na agricultura brasileira. Segundo Gazziero et al. (2015), 70% de todas as aplicações são feitas misturando-se três a quatro produtos, sem considerarmos os adjuvantes. Isso significa que diferentes tipos de formulação interagem uma com a outra desde o contato inicial até o término da aplicação.

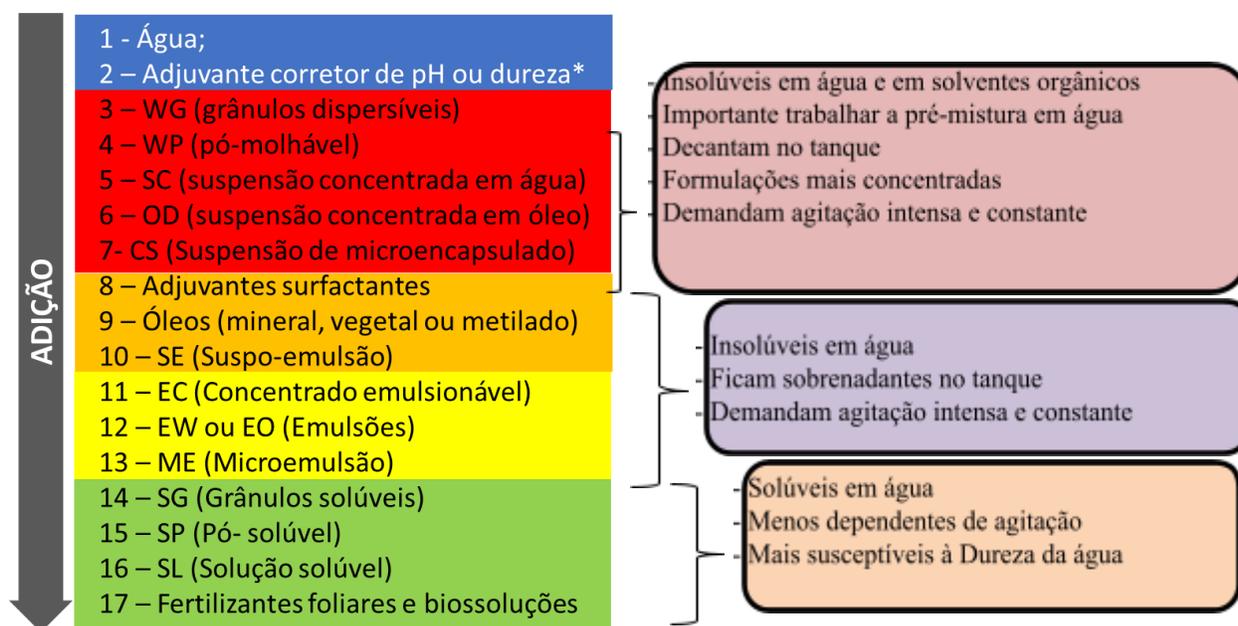
Considerando que a solubilidade dos ingredientes ativos rege o tipo de formulação possível de ser adotada, bem como os tensoativos comuns para a confecção de cada tipo de formulação, propõe-se que, quando há a intenção de se misturar produtos em tanque, é importante seguir uma ordem de adição que visa atenuar possíveis problemas na mistura. É importante ressaltar que toda mistura de produtos fitossanitários somente pode ser praticada se houver Receituário Agrônomo devidamente preenchido e assinado por profissional habilitado.

Um critério bastante seguido no campo atualmente é o descrito na Figura 4. O primeiro ponto a se considerar é a qualidade da água a ser utilizada na mistura. Para locais em que há

indícios de água com propriedade alcalina, apresentando leituras na escala de pH superiores a 7, é provável que haja concentração de cátions bivalentes superior a 321 ppm de cargas expressas em equivalente de  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$ , o que caracteriza a água como sendo “Dura”. Para condições de água ácida, apresentando valores de pH inferiores 5, também pode haver problemas, já que neste caso a dureza pode estar sendo ocasionada por cátions bivalentes  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$ ,  $\text{Zn}^{++}$  e  $\text{Cu}^{++}$ . A forma correta de confirmar a dureza da água é proceder com coleta de amostras e enviar para análise em laboratório habilitado. Geralmente, laboratórios de análise de solo conseguem fazer este tipo de análise.

Em situações de água dura, é sempre recomendado que seja feita a correção desta água por meio da neutralização das cargas livres dos cátions bivalentes, antes da adição de qualquer produto fitossanitário. Produtos classificados como quelatizantes ou que contenham surfatantes não-iônicos são boas opções para reduzir a dureza da água. Outras opções de tratamento também bastante utilizadas são com ácido fosfórico ou com sulfato de amônio. Uma vez neutralizadas as cargas, evitamos que haja degradação dos tensoativos presentes nas formulações dos produtos fitossanitários. Tal interação pode ocorrer quando cátions bivalentes deslocam cátions monovalentes como  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  ou  $\text{NH}_4^+$ , e remover o efeito benéfico que o tensoativo proporciona na formulação. Havendo esta reação de substituição, o ingrediente ativo pode perder suspensibilidade e decantar no tanque, causando problemas de entupimento de filtros, além de perder seu efeito de controle. Esta interação negativa é ainda mais importante quando há produtos fitossanitários neutralizados em sais como Glifosate, 2,4-D, Glufosinato de Amônio, entre outros.

Uma vez que a água da pulverização não apresenta problemas de dureza ou de partículas com carga, da fração argila, em suspensão, pode-se seguir com a adição dos produtos recomendados, começando pelos produtos insolúveis em água e em solventes orgânicos, posteriormente os produtos solúveis em solventes orgânicos e por fim os produtos solúveis em água (DECARO JUNIOR, 2019) (Figura 4).



**Figura 4.** Critério utilizado no campo para ordenar a adição de produtos no preparo da calda bem como as características e cuidados demandados por cada grupo.

A ordem de mistura correta facilita que produtos e formulações de características similares tenham efeito aditivo de seus tensoativos e pode ser decisiva para evitar problemas de incompatibilidade de mistura, conforme o exemplo ilustrado na Figura 5. Neste exemplo real, ocorrido na safra de soja 19/20, devido à adição errada, colocando-se os produtos oleosos ao final, havia a formação de fase com alta concentração de óleo permanecendo sobrenadante, minutos após o preparo da calda. Este fenômeno estava acontecendo no campo e levou à ocorrência de queima dos folíolos de plantas de soja em estágio vegetativo. A solução foi adequar a ordem de adição dos produtos, que resultou numa melhor emulsificação da calda, o que é caracterizado pelo aspecto esbranquiçado da mistura final.



**Figura 5.** Teste da garrafa mostrando incompatibilidade na mistura entre produtos com a ordem: **Adjuvante corretor de pH > Glifosate (SL) > Cletodim (EC) > Óleo (EC)**, o que gerou uma camada sobrenadante de óleo (A). Teste da garrafa mostrando ausência de incompatibilidade, usando-se os mesmos produtos adicionados conforme: **Adjuvante corretor de pH > Óleo (EC) > Cletodim (EC) > Glifosate (SL)** (B). Fitointoxicação em área de soja pela aplicação de calda incompatível naquela ordem de adição (C).

Fertilizantes foliares e demais produtos com certa solubilidade ou tipo de formulação não determinado em seu rótulo ou embalagem devem ser adicionados ao final do preparo da calda. Esta prática é usada como segurança para isolar o efeito destes produtos do restante da calda. Como, via de regra, são produtos carregados de íons, geralmente são os maiores causadores de incompatibilidade quando misturados às caldas.

É importante ressaltar que sempre que houver alguma recomendação específica de alguma empresa referente ao seu produto, ou orientação melhor descrita em bula quanto à ordem de adição, estas devem prevalecer em detrimento da ordem de adição apresentada neste capítulo, pois as interações e combinações são infinitas e, pode haver casos específicos em que outras ordens de mistura apresentem maior compatibilidade.

#### **4. TESTE DE COMPATIBILIDADE DA MISTURA**

Ao misturar produtos na calda, diferentes alterações podem acontecer, como mudança de cor, formação de espuma, alteração do pH, da temperatura, formação de fase, grumos, cristais ou

sedimentos. Muitos profissionais do campo se alicerçam na ordem de mistura de sua preferência como técnica solucionadora de qualquer incompatibilidade, no entanto, isto nem sempre resolve.

Uma técnica acessível para verificar incompatibilidade de misturas é o “teste da garrafa” ou “teste do jarro”, em que se adiciona numa garrafa ou recipiente transparente um pouco da água que é usada nas aplicações junto com doses proporcionais dos produtos na ordem correta de adição. O ideal é sempre calcular as quantidades de produtos a serem inseridas no recipiente, sendo o restante representado pela quantidade de água até preencher o nível desejado. Se o teste prevê replicar dois litros da calda num recipiente e a quantidade somada de produtos sólidos e líquidos proporcionais a este volume de dois litros for 50 (g ou mL), tem-se que adicionar 1950 mL da água usada na pulverização no recipiente. Sabendo-se disso, é importante adicionar primeiramente metade deste conteúdo no recipiente, ou seja, 975 mL, adicionando-se, na sequência, as doses proporcionais dos produtos.

Após adicionar os produtos, é necessário agitar o recipiente. Utilizar recipientes com tampa é o mais apropriado para inverter o mesmo de ponta cabeça por 20 vezes, sem que haja risco de contaminação da pessoa que estiver realizando o teste. Não havendo tampa, pode-se misturar por 20 segundos o conteúdo utilizando um bastão. Feito isso, completa-se o recipiente com os demais 975 mL de água e repete-se o processo de agitação.

Após preparo da calda, deve-se deixá-la repousar sem haver movimentação. Após 3 minutos do preparo, pode-se observar o conteúdo de espuma formado e caso haja um volume maior que um sexto do conteúdo total no recipiente, considerando calda mais espuma, o ideal é adicionar algum produto com efeito de redução de espuma. Geralmente, os óleos mineral e vegetal diminuem os níveis de espuma na calda por aumentarem a tensão superficial.

Outro indicativo importante é a formação de fase, oriunda de diferentes densidades de produtos. Como descrito anteriormente, as formulações apresentam tensoativos capazes de garantir a molhabilidade, suspensibilidade e emulsificação dos ingredientes ativos em calda. No entanto, quando há interações com cargas livres ou mesmo com outros tensoativos de outros produtos, alguns ingredientes ativos perdem a capacidade de permanecer suspensos ou interagir com a calda de forma uniforme. O resultado disso é a formação rápida, em menos de 15 minutos, de fases visualmente identificáveis no recipiente transparente (Figura 6). É esperado que produtos de formulação WP, WG, SC e OD decantem com o tempo, formando finas camadas no fundo do

recipiente, porém é um processo que ocorre num maior tempo de repouso e não há diferenças de coloração como visto na Figura 6.



**Figura 6.** Prática do “teste da garrafa”. À esquerda, a segunda e terceira garrafas contêm combinação de produtos incompatíveis, com a formação de fases de decantação, enquanto a primeira garrafa, bem como todas as garrafas da foto à direita, não apresenta a formação de fase pela decantação de produtos.

A avaliação do recipiente pode continuar até o tempo em que a mistura ficaria pronta no campo. Por exemplo, vamos considerar que o operador no campo utilize 25 minutos para iniciar e terminar o preparo da calda dentro do tanque do pulverizador. Feito isso, ocorre o deslocamento até a área de aplicação, consumindo um tempo de 5 minutos. Para pulverizar todo o volume do tanque na lavoura, o operador utilize mais 50 minutos. Dessa forma, o tempo total em que os produtos ficaram interagindo na calda seria de  $25 + 5 + 50$  minutos, totalizando 80 minutos. Este tempo pode ser usado nesta condição específica como tempo total de repouso do recipiente durante o teste de compatibilidade. Esta avaliação mais longa é bastante importante quando se aplica misturas contendo produtos à base de Glifosate, 2,4-D e demais produtos que são neutralizados em sais. É comum uma calda contendo produtos à base de sais se manterem estável por tempo maior que 30 minutos para posteriormente sofrer processos de formação de fase e cristalização de seus componentes.

Ao término do tempo de repouso, é importante agitar novamente a calda e passar todo o conteúdo por uma peneira de 50 ou 80 mesh de abertura para verificar se pequenas aglomerações se formaram no tempo de interação da calda. Em alguns casos, o aspecto da calda no recipiente parece ser de boa compatibilidade física, porém, partículas podem se aglomerar e somente são

visualizadas quando se passa o conteúdo por um elemento filtrante. É também comum que caldas que apresentam formação de fase não tenham problemas de filtragem, uma vez que a própria agitação é suficiente para redispersar o conteúdo decantado.

Em resumo, pode-se dizer que nem toda calda incompatível com formação de fase resultará em problemas de filtragem, bem como nem toda calda que visualmente aparente ser compatível não terá partículas e aglomerados retidos em elementos filtrantes. Por isso são importantes de serem seguidas, previamente a qualquer aplicação de misturas, todas as etapas de checagem para que não se tenha dúvidas e problemas de incompatibilidade dentro do reservatório do pulverizador como os apresentados na Figura 7.



**Figura 7.** Exemplos de problemas de incompatibilidade física em misturas detectados pelo “teste da garrafa” nas fotos à esquerda, enquanto à direita seguem imagens reais mostrando implicações práticas de quando se aplica uma calda incompatível.

Vale destacar que nos últimos anos, várias opções de adjuvantes, considerados “condicionadores de calda” ou “estabilizadores de calda” foram recomendados indiscriminadamente para prevenir ou mesmo corrigir incompatibilidades como sedimentação, formação de grumos ou cristais. Entretanto, é comum situações no campo, em que há adjuvantes que causam mais problemas do que soluções em relação à uniformidade de caldas. Por isso, é importante fazer os testes com as misturas para recomendar o adjuvante mais apropriado.

## 5. PRÉ-MISTURA E ADIÇÃO NO TANQUE

Uma vez checada a compatibilidade dos produtos a serem misturados num tanque de pulverização, outros cuidados são importantes a partir deste momento, já que os próximos passos se referem ao preparo da calda propriamente dita, que será mantida no pulverizador até que todo seu volume passe pelos bicos.

Atualmente é comum o uso de equipamentos independentes do pulverizador chamados de “pré-misturadores” ou “pré-diluidores” que auxiliam no preparo da calda e economizam tempo na operação. Tais equipamentos são constituídos por um reservatório de água, um sistema simples com mangueiras que circulam a calda, uma motobomba e um elemento filtrante. Uma vez pré-misturados, os produtos mais água, em seu reservatório, é então realizada a transferência do conteúdo ao tanque do pulverizador. Em locais, onde há intensa utilização de pulverização aérea, para obtenção de maior ganho operacional, o uso de pré-misturadores é muito comum. Nos últimos anos, com a redução da quantidade de água devido às diminuições no volume das aplicações, tanto terrestres quanto as aéreas, impulsionou a adoção destes equipamentos.

Os pré-misturadores possibilitam que a maior parte do tempo no preparo da calda seja realizada sem a presença do pulverizador. Isso significa ganho operacional, pois o mesmo estará se deslocando e realizando as pulverizações enquanto o próximo abastecimento está sendo preparado. Além do ganho de tempo, os pré-misturadores auxiliam também na uniformidade e dispersão de produtos de alta concentração, tanto para formulações sólidas WG e WP, quanto para formulações líquidas SC e OD. Devido ao seu sistema de agitação intenso, proporcionalmente ao seu tamanho, seu uso reflete em menores problemas posteriores de acúmulo de resíduos e problemas de filtragem dentro do pulverizador, já que melhoram a abertura de grânulos e a dispersão de pós e formulações líquidas concentradas.

No mercado existem diferentes fabricantes e modelos de pré-misturadores. Dentre as características para a escolha do equipamento, o tamanho do reservatório é o primeiro fator a se considerar. Num exemplo hipotético, suponha-se que seja preparada uma calda com 50 kg de um produto WG, 15 litros de um produto SC e 5 litros de um produto EC. No total, tem-se  $50 + 15 + 5 = 70$  (litros ou quilogramas) de produtos a serem colocados juntos no pré-misturador, considerando grosseiramente que a densidade de todos seria 1. Para que haja fluidez mínima numa mistura como esta, tem-se adotado, como prática de campo, a adição de três partes de água, ou seja, 25% do tanque estaria ocupado com produtos enquanto 75% do volume do tanque precisaria estar disponível para a adição de água. Nesse exemplo, portanto, necessitaria de um

pré-misturador de capacidade mínima de 280 litros. Uma vez que se faz uso de tanques menores, o ideal é dividir em duas ou mais etapas o preparo.

Considerando o exemplo anterior, caso o pré-misturador possua tanque de capacidade menor (ex. 200 litros), a sugestão é adicionar 150 L de água e depois os 50 kg do produto WG, manter em mistura por 3 a 5 minutos e transferir ao pulverizador com o tanque já preenchido com um terço de água e sistema de agitação ligado. Posteriormente, adicionar mais 130 L de água no pré-misturador e os 15 litros do produto SC e, por fim os 5 litros do produto EC. Após 3 a 5 minutos em mistura, transfere-se o volume deste segundo preparo ao tanque do pulverizador. Pode-se então completar o volume do tanque do pulverizador com água, e iniciar a pulverização, mantendo-se sempre a agitação ligada quando for adicionada a calda no interior do reservatório.

O preparo de calda com menor quantidade de água pode intensificar reações de incompatibilidade tanto física quanto química. Outro erro comum ao realizar a pré-mistura é colocar os produtos antes de adicionar a água. As reações de incompatibilidade podem ocorrer entre os produtos em um nível ainda maior, podendo até, em alguns casos, promover outros riscos à saúde do operador e ao ambiente, tais como superaquecimento, incêndio e liberação de gases tóxicos.

Uma vez realizada a pré-mistura, não adicione a calda no tanque do pulverizador sem que haja água em seu interior, a menos que a concentração da calda no pré-misturador seja a mesma concentração a ser trabalhada na pulverização. Neste caso, a operação é chamada de “calda pronta”. É importante mencionar que o sistema hidráulico do pulverizador é composto por inúmeros outros componentes, reguladores e sensores que não existem nos pré-misturadores. Dessa forma, ao adicionar uma calda mais concentrada do pré-misturador no reservatório do pulverizador sem água, terá uma calda muito concentrada circulando por todos estes componentes, o que pode gerar problemas tais como a queima no selo de vedação de bomba centrífuga, danos em bombas de pistão, válvulas solenoides, filtros, finais de sessão de barra, além de outros riscos. Normalmente, manter um terço de água dentro do reservatório do pulverizador antes de adicionar a calda do equipamento pré-mistura ou os produtos diretamente no tanque já é suficiente para evitar problemas.

Quando a água usada na pulverização possuir dureza, como descrito anteriormente nesse capítulo, o ideal é utilizar o volume máximo de água dentro do reservatório do pulverizador, deixando-se somente o espaço para adicionar o volume do tanque do pré-mistura ou dos produtos

individualizados quando não for realizada a pré-mistura. Neste caso, tanto a água do pré-misturador quanto a água dentro do reservatório do pulverizador precisam ser “tratadas” antes da adição de qualquer produto.

## 6. CONCLUSÕES FINAIS

Viu-se neste capítulo a importância de identificar o tipo de formulação dos produtos fitossanitários usados na agricultura, bem como as principais formas de minimizar os riscos da ocorrência de incompatibilidades quando misturados na calda.

O primeiro passo a se considerar é a qualidade da água a ser utilizada na aplicação, devendo ser corrigida quando esta for classificada como “Dura”. O segundo passo é o ajuste da ordem de adição dos produtos, considerando sua formulação e dosagem. O terceiro passo refere-se à forma como proceder com a pré-mistura e adição no tanque do pulverizador, garantindo que haja água em quantidade mínima para amenizar reações físico-químicas. O quarto e último passo é planejar para que a calda, uma vez preparada, seja aplicada o mais rápido possível. Isso porque todos os produtos iniciam um processo natural de hidrólise e degradação quando em contato com água ou outros produtos. Deixar calda pronta ou parada para ser aplicada horas depois ou no dia seguinte é uma prática incorreta, podendo ocorrer problemas operacionais e redução de controle dos ingredientes ativos que perdem, parcial ou totalmente, seu efeito biológico.

Mesmo seguindo estes passos descritos e, eventualmente, outros com o mesmo propósito de diminuir processos de incompatibilidade entre produtos, haverá situações em que a única alternativa para evitar a incompatibilidade é realizar a aplicação separada dos produtos. Não existe uma regra que evite reações de incompatibilidade envolvendo todos os produtos do mercado. Assim, é importante que os profissionais utilizem o conhecimento e apliquem as boas práticas existentes.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DECARO JUNIOR, S. T. Dinâmica da calda Fitossanitária no Reservatório do Pulverizador. *In*: POLANCZYK, R. A. & COSTA, L. L. (ed.). **Tecnologia de Aplicação de Caldas Fitossanitárias**, Jaboticabal: Funep, 2019, p. 38-66.

DOW. Dow's Formulation Handbook. Guia prático de formulações agroquímicas. 2015. 113 p.

GAZZIERO, D. L. P. Misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil. **Planta Daninha**, v. 33, n. 1, p. 83-92, 2015.

## CAPÍTULO 5

# DEFENSIVOS AGRÍCOLAS: CENÁRIO BRASILEIRO E DINÂMICA EM PLANTAS

*Lucas Anjos Souza<sup>1</sup>, Maria Andréia Corrêa Mendonça<sup>2</sup>, Sílvio Luís Carvalho<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, GO. lucas.anjos@ifgoiano.edu.br

<sup>2</sup>Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, GO. maria.andreia@ifgoiano.edu.br

<sup>3</sup>Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, UNESP; Centro Universitário de Goiatuba, UniCerrado. silvio33carvalho@yahoo.com.br

### 1. CENÁRIO DO USO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS NO BRASIL

Nos últimos anos tem sido observado um aumento na produção agrícola mundial, em função da abertura de novas fronteiras agrícolas e da intensificação do uso do solo seguida da adoção de tecnologias tais como o uso de fertilizantes, cultivares melhoradas e plantas transgênicas, cultivo adensado e uso de agrotóxicos, dentre outras.

A palavra agrotóxico, definida na Lei n. ° 7.802 de 11 de julho de 1989, é usada para designar os produtos e os agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou implantadas, e de outros ecossistemas e também de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos; são também substâncias e produtos, empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores de crescimento (BRASIL, 1989). Estes produtos, também chamados de pesticidas, defensivos agrícolas, praguicidas ou produtos fitossanitários são classificados de acordo com a sua finalidade, sendo denominados herbicidas, inseticidas, fungicidas, nematocidas, acaricidas, dentre outros, de acordo com os seus respectivos alvos.

O uso de agrotóxicos no Brasil cresceu substancialmente a partir do início dos anos 1990, de forma que o país pode ser citado como um dos que mais ampliaram o consumo destas

substâncias, especialmente em áreas de cultivos agrícolas, sendo este aumento do uso devido ao aumento da extensão das áreas cultivadas (MORAES, 2019) bem como ao uso intensivo de agrotóxicos para o controle de pragas e doenças das lavouras, de forma a atender o modelo agrícola contemporâneo, que requer elevados índices de produtividade. Além disso, o aumento da área agricultável para produção de algodão, cana-de-açúcar, milho e soja, que são *commodities* importantes no cenário econômico mundial, e que carecem do uso intensivo desses insumos, é outro fator que justifica este aumento do consumo no Brasil (PIGNATI et al., 2017). Portanto, o Brasil é o país em que se consome um alto volume de agrotóxicos. Este dado é referendado pelos dados divulgados pelo IBAMA (2020), que mostram que o Brasil produziu cerca de 439.765,60 toneladas, importou 162.462,18 toneladas, exportou 4.248,53 toneladas e consumiu 563.458,18 toneladas dos principais ingredientes ativos dos agrotóxicos utilizados na agricultura nacional. Ainda, de acordo com Moraes (2019), cerca de 20% de todo agrotóxico comercializado no mundo é consumido no Brasil.

Embora estes números sejam explicados pela crescente produção agrícola nacional brasileira, que vem batendo recordes nas safras de grãos (em 2021/22 foram produzidos cerca de 271,2 milhões de toneladas de grãos, em uma área de 74,3 milhões de hectares), consolidando o Brasil como segundo maior produtor de grãos do mundo (CONAB, 2022), fazendo-se uma análise mais crítica, considerando, por exemplo, a área cultivada, o Brasil é o 7º no ranking de uso de agrotóxicos, demonstrando a eficiência do Brasil na produção de alimentos. E, se levarmos em conta o uso de agrotóxicos por quantidade de produto agrícola produzido, o Brasil ocupa a 13ª posição entre os 20 países estudados, de modo que países europeus (Itália, França, Espanha, Alemanha, Inglaterra, Polônia), Japão, Coreia, Austrália, Canadá, Argentina, Estados Unidos empregam mais defensivos que o Brasil (SINDIVEG, 2020).

No que se refere à quantidade usada de cada classe de agrotóxico, dados disponibilizados pelo IBAMA (2020) indicam que os herbicidas foram os agrotóxicos mais consumidos, com quase 60% (369.578,97 toneladas) do total de ingrediente ativo utilizado. Na sequência, observa-se que o consumo de fungicidas ocupou o segundo lugar (94.435,44 toneladas) e os inseticidas (72.424,84 toneladas) são a terceira classe de agrotóxicos mais consumidos no Brasil. Ainda, dentre os herbicidas, o ingrediente ativo mais vendido no Brasil foi o glifosato (217.592,24 toneladas de ingrediente ativo vendido em 2019), correspondendo a 35,06% da movimentação do mercado, seguido por 2,4-D (52.426,96 toneladas). Portanto, mais da metade

dos agrotóxicos que são consumidos são herbicidas, o que pode ser justificado pela ampla distribuição das plantas daninhas, que competem com os cultivos agrícolas por água, luz e nutrientes do solo e que atrapalham seu pleno desenvolvimento. Isso faz com estes produtos sejam usados não somente na cultura, de forma direta, mas também em pré-plantio e na dessecação (SINDIVEG, 2020).

O terceiro e o quarto ingredientes ativos mais comercializados no Brasil são mancozebe (fungicida, 49.162,59 toneladas) e acefato (inseticida, 28.432,50 toneladas) IBAMA (2020). Este alto consumo destas moléculas justifica-se pela alta incidência de doenças e pragas no Brasil, especialmente no cultivo contínuo (safra e safrinha) em condições tropicais (temperaturas mais altas e ambientes mais úmidos), que favorecem o desenvolvimento de fungos e insetos). Em algumas regiões brasileiras não há intervalo entre os diversos plantios, facilitando a migração de pragas de uma cultura para outra, o que propicia oferta de alimento para os insetos-pragas durante todo o ano. Desse modo, insetos tendem a atacar indiscriminadamente várias culturas que estão no campo (VALICENTE, 2015; SINDIVEG, 2020).

Assim, fica claro que para a obtenção de altas produtividades dos cultivos, tecnologias que permitem a proteção de plantas se fazem necessárias, especialmente no que tange ao manejo de pragas e nematoides, doenças causadas por fungos e bactérias, e das plantas daninhas.

## **2. ASPECTOS BÁSICOS DA DINÂMICA DE DEFENSIVOS NO SOLO**

O uso de defensivos agrícolas possibilitou o aumento da produtividade de diversos cultivos no mundo, como exemplo tem-se a soja, o milho, a cana-de-açúcar, o girassol, o trigo, o feijão e o arroz. Com a evolução da agricultura, essa medida tornou-se necessária para controlar ou diminuir a incidência dos agentes biológicos como insetos, fungos, bactérias, nematoides e plantas invasoras que, em última análise, são responsáveis por significativas perdas de produtividade quando não são controlados.

A respeito dessa consideração, a indústria química desenvolve milhares de substâncias, principalmente com ação herbicida, inseticida e fungicida, a fim de criar condições mais favoráveis para os cultivos expressarem o seu máximo potencial produtivo durante o seu ciclo. Entretanto, é necessário que essas moléculas atinjam seus alvos e, conseqüentemente, desempenhem o seu papel no controle do organismo-alvo. Geralmente, os defensivos agrícolas são sintéticos e apresentam propriedades muito variadas, desde altamente hidrofílicos a altamente

hidrofóbicos e, nesse sentido, a dinâmica dessas moléculas no solo e no vegetal serão diferentes e, portanto, constitui um pilar norteador importante na definição da estratégia de controle do alvo.

Os defensivos podem ser aplicados ao solo, em sementes ou pulverizados sobre o dossel da cultura, sendo a forma de aplicação determinada em função da localização do alvo bem como das propriedades físico-químicas das moléculas. Assim, os defensivos podem ser aplicados ao solo e em sementes para serem absorvidos e transportados pelo xilema, aplicados sobre o dossel para absorção e ação local, ou seja, sem movimentação no corpo da planta e, por fim, aplicados sobre o dossel com absorção foliar e redistribuição via floema para pontos alvos. Isso posto, há necessidade de considerar que, para a boa eficiência do defensivo devemos considerar que fatores como a sorção, o transporte, a transformação, a umidade do solo, pH, concentração e taxa transpiratória irão influenciar na absorção e eficiência dos defensivos (CHRISTOFFOLETI & LÓPEZ-OVEJERO, 2008)

As propriedades físico-químicas específicas dos defensivos agrícolas variam em função da composição e estrutura molecular que irão influenciar diretamente em suas disponibilidades no solo para sua absorção, uma vez que para serem absorvidos é necessário que estejam disponíveis na solução do solo. Nesse sentido, os parâmetros a seguir são muito importantes para definição da melhor estratégia de uso de um dado defensivo: 1) constante de ionização ( $pK_a$ ), que se refere ao pH no qual as moléculas estarão 50% ionizadas e 50% não ionizadas; 2) coeficiente de partição octanol-água ( $K_{ow}$ ), que indica o nível de hidrofobicidade da molécula e, quanto maior o  $K_{ow}$  maior sua hidrofobicidade; para esse parâmetro, herbicidas não iônicos apresentam  $K_{ow}$  constante, enquanto herbicidas ácidos ou básicos apresentam  $K_{ow}$  variável em função do pH da solução do solo; 3) coeficiente de partição solo-água ( $K_d$ ), que indica o nível de afinidade da substância à fase sólida do solo por sorção; quanto maior o  $K_d$ , maior será a adsorção do ingrediente ativo aos colóides orgânicos do solo; 4) coeficiente de partição normalizado pelo carbono orgânico do solo ( $K_{oc}$ ), que indica a tendência de sorção da molécula pela fração orgânica do solo e é determinada a partir do  $K_d$  da molécula, sendo especialmente importante para herbicidas não iônicos (EPA, 1996; CHRISTOFFOLETI & LÓPEZ-OVEJERO, 2008).

Diante do exposto, realizou-se um agrupamento dos herbicidas em função de sua mobilidade na planta, de forma que estes foram classificados como: 1) não móveis ou de contato, cuja ação é desencadeada no local onde é aplicado; 2) móveis ou sistêmicos cuja ação ocorre em pontos diferentes do local onde atinge a planta e, nesse caso, podem ser divididos em outros dois

subgrupos como móveis no xilema e móveis no xilema e floema, uma vez que o local de aplicação do defensivo está diretamente relacionado com sua forma de transporte e, também, modo de ação.

### **3. ABSORÇÃO RADICULAR E TRANSPORTE VIA XILEMA**

Quando consideramos a absorção radicular, é necessário considerar as estruturas vegetais responsáveis pela absorção, transporte e redistribuição das substâncias. Começando pelo sistema radicular, anatomicamente, no sentido centrípeto temos a epiderme, o córtex, a endoderme (contendo as estrias de Caspary), o periciclo e o cilindro vascular contendo o xilema e floema. Nessa estrutura, em regiões em desenvolvimento e crescimento, há presença de mucilagem externa formando a rizosfera e a porção responsável pela absorção de água e demais substâncias está localizada próxima às extremidades radiculares, ou seja, o meristema apical radicular (MAR) e, acima dessa porção, onde o nível de diferenciação e funcionalização tecidual já existe, prevalece a zona pilífera, com extensas projeções das células epidérmicas que formam os pelos absorventes e aumentam substancialmente a área de absorção radicular.

Todo defensivo agrícola que é absorvido pelas raízes, necessariamente percorre a raiz de modo radial, ou seja, do pelo absorvente até atingir o cilindro vascular. Nesse sistema radial de transporte, as substâncias podem percorrer as seguintes vias: 1) simplástica, 2) apoplástica e 3) transmembrana. O caminho preferencial percorrido pelas substâncias está intimamente relacionado com as propriedades físico-químicas das mesmas bem como com a presença de proteínas transportadoras que as reconheçam para, então, realizar o transporte e carregamento do xilema. Ainda, dadas as características químicas da porção radicular responsável pela absorção de defensivos, é possível dizer que há melhor capacidade de absorção de defensivos lipofílicos uma vez que na região que compreende o MAR até o início da zona de alongamento, o desenvolvimento dos tecidos condutores e das estruturas, como a estria de Caspary, ainda é incipiente (SCHERES et al., 2008; TAIZ et al., 2017).

No segundo momento do transporte de defensivos, nos casos em que há necessidade de que as moléculas atinjam os tecidos aéreos, ocorre o transporte axial, ou seja, das raízes para as folhas e, também, para o meristema apical caulinar (MAC), esse último, majoritariamente via floema. Essencialmente, o movimento de água e outras substâncias até as folhas ocorre devido a força de tensão gerada nas folhas, por meio da perda evaporativa da água do mesofilo para a

atmosfera por meio da diferença de potencial hídrico existente entre as folhas e a atmosfera, o que caracteriza o processo de transpiração foliar ( $\Psi_{wf} < \Psi_{wr}$ ), assim criando um fluxo de massa a favor do gradiente de potencial hídrico existente entre os compartimentos e, portanto, a corrente transpiratória permite que a molécula atinja o tecido aéreo alvo.

Dessa forma, podemos sintetizar o comportamento de alguns herbicidas de acordo com sua mobilidade a partir da absorção radicular: 1) absorvidos pelas raízes, mas não transportados para tecidos aéreos (Pedimetalina e Trifluralina); 2) absorvidos pelas raízes, mas com baixa mobilidade na planta (S-metolachlor); e 3) absorvidos pelas raízes, mas com alta mobilidade no xilema da planta (Atrazina). Outros exemplos de defensivos que são absorvidos pelas raízes são apresentados na Tabela 1.

#### **4. ABSORÇÃO FOLIAR COM REDISTRIBUIÇÃO VIA FLOEMA – SISTÊMICOS**

Herbicidas que são aplicados sobre as folhas precisam, inevitavelmente, superar barreiras físicas desse órgão vegetal. Basicamente, a estrutura folha é composta por uma camada de cutícula que contém cera epicuticular, cutina e camada de pectina, seguida da camada de celulose e, por fim, a membrana plasmática das células do mesofilo. Já no interior da folha, de modo geral, no mesofilo ocorre o parênquima clorofiliano em paliçada na face adaxial e esponjoso na face abaxial (APPEZZATO DA GLORIA & CARMELLO GUERREIRO, 2006) e, distribuídos de maneira muito ordenada, estão os tecidos de condução, xilema e floema, organizados nos mais diversos diâmetros de feixes vasculares, não estando mais que duas ou três células de distância de células do mesofilo entre um feixe e outro.

Nesse caso, os defensivos agrícolas, de modo geral, são aplicados juntamente com adjuvantes, cujo objetivo é aumentar a superfície de contato bem como facilitar a penetração das moléculas no interior das folhas. Uma vez em contato e com a ação dos agentes adjuvantes, a entrada das substâncias no interior da folha ocorre por diferença de concentração e se distribuem no tecido. Quando são considerados herbicidas que apresentam mobilidade, também chamados de sistêmicos, esses são transportados até o floema e, então, são transportados até o ponto de ação, que pode ser distante do ponto de contato inicial, como regiões jovens, em franco crescimento, como o MAR e MAC. De modo bastante geral, essa forma de transporte possui dois grandes fatores a serem considerados: 1) as propriedades físico-químicas do princípio ativo e 2) existência de proteínas transportadoras que atuam no processo de carregamento e descarregamento do

floema, que podem ser canais iônicos, carreadores e bombas, e como exemplo temos as proteínas ABC (ATP Binding Cassete) (CONTE et al., 2011; OLIVEIRA JR. & BACARIN, 2011; PAN et al., 2021), pois há necessidade da molécula ser alocada nos elementos de tubo crivado por meio do seu reconhecimento, pelas proteínas transportadoras, que estão presentes nas células companheiras, responsáveis pelo processo de carregamento e descarregamento do floema.

Tendo em vista a base do processo de absorção e redistribuição de herbicidas absorvidos pelas folhas, é necessário considerar algumas variáveis ambientais para que a absorção seja a mais eficiente possível, pois é necessário tempo suficiente de contato das gotas contendo o princípio ativo para que ocorra a máxima absorção. Neste sentido, ventos fortes, altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar são condições desfavoráveis à máxima eficiência de absorção. Além disso, uma vez absorvido, é necessário que haja boa disponibilidade hídrica no solo para que todo o sistema de transporte pelo floema funcione plenamente, pois mesmo que o movimento da seiva do floema ocorra em diferentes direções na planta, fator determinado em função da relação fonte-dreno, esse sistema é dependente da água existente no xilema para, então, desenvolvimento, do gradiente de pressão que direcionará o movimento de seiva pelo corpo da planta. Para esse caso de absorção e transporte outros exemplos são apresentados na Tabela 2.

## **5. ABSORÇÃO FOLIAR SEM REDISTRIBUIÇÃO - CONTATO**

Nesta situação, enquadram-se os ingredientes ativos que não possuem mobilidade nos tecidos vasculares vegetal e, portanto, sua ação ocorre no local em que entra em contato. Isso ocorre devido às características físico-químicas dos compostos e, devido seu mecanismo de ação, sua atuação ocorrerá no tecido que ele estiver em contato, nesse caso, as folhas. Assim, a dinâmica das moléculas que possuem ação local é baseada no transporte a curtas distâncias e, por isso, é necessário bastante precisão e calibração dos equipamentos de aplicação para que a cobertura dos tecidos foliares seja satisfatória para promover o controle do organismo alvo. As premissas sobre as barreiras físicas foliares descritas no tópico anterior também são verdadeiras para moléculas cuja ação é local, por meio de contato, pois há necessidade de penetração no tecido para atingir a estrutura celular a qual contém a organela/enzima que desempenha o processo alvo. No caso de herbicidas de contato, citamos os inibidores de fotossistema II sítio C (Benzotriazololes), inibidores da protoporfirina oxidase (Difenileter, Ariltriazolina e Fenilftalimida), inibidores do fotossistema I (Bipiridilos) e inibidores do metabolismo de

nitrogênio (Aminoácidos fosforilados); para alguns fungicidas podemos citar protetores e mesostêmicos, cuja movimentação é nula ou muito pequena de acordo com os princípios de difusibilidade, outros exemplos estão presentes na Tabela 3.

A seguir, são apresentados alguns exemplos de herbicidas que foram agrupados de acordo com o mecanismo de ação, modo de aplicação e outras informações gerais como grupos de plantas que controlam, grupo químico a que pertencem, mobilidade entre outras informações. Os herbicidas estão destacados em tabelas de herbicidas de solo (Tabela 1), de folhas sistêmicos (Tabela 2) e de folhas contato (Tabela 3).

Tabela 1. Características dos herbicidas aplicados ao solo

Ação	Mecanismo	Aplicação	Absorção	Transporte	HRAC	WSSA	Controle	Uso	Grupos químicos
Pigmentos	Inibidores da HPPD (Hidroxifenil Piruvato Dioxigenase)	Solo	Raízes, colo, folhas e ramos	Ascendente pelo Xilema	F <sub>2</sub>	27	G e D	Pré e Pós	Isoxazole, Tricetonas
Pigmentos	Inibidores da DOXP (Deoxi-D-Xilulose Fosfato sintase)	Solo	Raízes, coleótilo, hipocótilo	Ascendente pelo Xilema	F <sub>4</sub>	13	G e D	Pré e Pós	Isoxazolidinona
Crescimento Plantas	Inibidores de Polimerização da Tubulina	Solo	Raízes, coleótilo, hipocótilo ou epicótilo	Insignificante	K <sub>1</sub>	3	G e D	Pré	Dinitroanilina
Crescimento Plantas	Inibidores da biossíntese de ácidos graxos de cadeia muito longa	Solo	Raízes, coleótilo, hipocótilo	Ascendente pelo Xilema	K <sub>3</sub>	15	G e D	Pré	Cloroacetamidas
Fotossistema II	Inibidores do fotossistema II - acopladores da D1 Serina 264	Solo	Raízes	Ascendente pelo Xilema	C <sub>1</sub> e C <sub>2</sub>	5	G e D	Pré	Uréias, Triazinas, Triazolinonas

*G – principalmente Gramíneas, D – principalmente Dicotiledôneas, C – Ciperáceas. Adaptado de Oliveira Jr. (2011)*

Tabela 2. Características dos herbicidas aplicados às folhas – Sistêmicos

Ação	Mecanismo	Aplicação	Absorção	Transporte	HRAC	WSSA	Controle	Uso	Grupos químicos
Reguladores Crescimento	Desconhecido	Foliar	Foliar	Simplasto e Apoplasto	Z	0	G, C e D	Pré e Pós*	MSMA
Reguladores Crescimento	Inibidores da Síntese de Celulose	Foliar	Foliar e Radicular	Simplasto e Apoplasto	L	29	G e D	Pré	Alquilazinas, Quinolinacarboxilatos
Reguladores Crescimento	Mimetizadores de Auxina	Foliar	Foliar e Radicular	Xilema e Floema	O	4	D	Pré, Pós* e Pós**	Benzoatos, Fenoxicarboxilatos, Piridinacarboxilatos, Quinolinacarboxilatos
Reguladores Crescimento	Inibidores da Síntese de DHP (dihidropteroato)	Foliar	Foliar e Radicular	Xilema e Floema	I	18	G	Pós	Carbamatos
Síntese Aminoácidos Aromáticos	Inibidores da EPSP sintase (Enol Piruvil Shiquimato Fosfato sintase)	Foliar	Foliar	Simplasto	G	9	G, C e D	Pré, Pós* e Pós**	Glicinas
Síntese Aminoácidos de Cadeia Ramificada	Inibidores da ALS (Acetolactato sintase)	Foliar	Foliar e Radicular	Xilema e Floema	B	2	G e D	Pré, Pós* e Pós**	Imidazolinonas, Pirimidinil benzoatos, Sulfoniluréias, Triaolopirimidinas 1 e 2
Síntese de Lipídeos	Inibidores da ACCase (Acetil CoA Carboxilase)	Foliar	Folhas	Simplasto e Apoplasto	A	1	G	Pós	Ariloxifenoxipropionatos (FOP's), Ciclohexanodionas (DIM's)

*G – principalmente Gramíneas, D – principalmente Dicotiledôneas - \*aplicação em jato dirigido \*\*aplicação em OGM. Adaptado de Oliveira Jr. (2011)*

Tabela 3. Características dos herbicidas aplicados às folhas - Contato

Ação	Mecanismo	Aplicação	Absorção	Transporte	HRAC	WSSA	Controle	Uso	Grupos químicos
Metabolismo de Nitrogênio	Inibidores da Glutamina Sintetase (GS)	Folha Contato	Foliar	Limitada pelo Xilema e Floema	H	10	G e D	Pré e Pós	Ácidos fosfínicos
Degradadores de Membrana	Inibidores da Protoporfirinogênio Oxidase (PPO - Protox)	Folha Contato	Foliar	Insignificante	E	14	D	Pré e Pós*	Fenilpirazoles, N-fenil-imidas, N-fenil-oxadiazolonas, N-fenil-triazolinonas, Éteres difenílicos
Degradadores de Membrana	Inibidores do fotossistema I (PSI)	Folha Contato	Foliar	Muito reduzida	D	22	G e D	Pré	Piriniidius
Fotossistema II	Inibidores do fotossistema II - acopladores da D1 Histidina 215	Folha Contato	Foliar	Muito reduzida	C <sub>3</sub>	6	D	Pós	Benzotiadiazoles

*G – principalmente Gramíneas, D – principalmente Dicotiledôneas - \*aplicação em jato dirigido. Adaptado de Oliveira Jr. (2011)*

Portanto, como mostrado nas seções anteriores e exemplificado nas tabelas 1, 2 e 3, os herbicidas podem cessar ou suprimir o crescimento de plantas, podendo ser: 1) de contato, quando afetam unicamente a parte da planta com a qual entram em contato; 2) sistêmico, quando depois de absorvidas, são transportados dentro da planta, podendo afetar órgãos distantes do ponto de aplicação. Essa transferência pode ser ascendente, movendo-se dos órgãos inferiores para os superiores via xilema, ou ascendente e descendente, simultaneamente, pelo floema.

As moléculas podem, ainda ser classificadas como não seletivas, quando as substâncias herbicidas são tóxicas às plantas independentemente da espécie e seletivas, quando convenientemente utilizadas, controlam algumas espécies sem afetar outras. Por fim, os herbicidas podem ser considerados persistentes, produtos comerciais que quando aplicados nas doses recomendadas prejudicam as culturas que seguem na rotação à que foi tratada, ou ainda que interfere com o crescimento da flora nativa, em áreas não cultivadas, por um período de tempo relativamente longo; residual quando aplicado nas doses recomendadas, permanece no solo por tempo determinado prejudicando ou matando plântulas que posteriormente vierem a germinar (RODRIGUES & ALMEIDA, 2005).

Assim como os herbicidas, os fungicidas também apresentam diferentes mecanismos e de ação que permitem cessar ou suprimir as doenças de plantas, podendo ser classificados com base em diferentes características como modo de ação na planta e no fungo, mobilidade na planta sendo de contato ou sistêmicos, sítio específicos ou multissítios, preventivos ou curativos, orgânicos ou inorgânicos, e por mecanismo de ação (JULIATTI et al., 2016).

Observando-se o princípio de controle, os fungicidas podem ser classificados como erradicantes, protetores, ou curativo/imunizante dos patógenos. De acordo com os critérios de mobilidade, podem ser móveis, sistêmicos ou mesosistêmicos translaminares nas plantas. Quando se observa o grupo químico, podem ser inorgânicos ou orgânicos (GHINI & KIMATI, 2000).

O controle pragas em plantas com o uso de inseticidas pode ser realizado desde o tratamento de sementes ou mudas, realizado em pré-plantio, na pré-emergência, antes do estabelecimento da cultura, incorporado ou não ao solo, no estabelecimento, nos períodos vegetativo e reprodutivo, até a pós colheita das lavouras (Larini, 1999). São classificados em inseticidas orgânicos e inorgânicos, de contato e sistêmicos, grupo químico, e efeitos à saúde humana e ao ambiente (TOMLIN et al., 2009; SIMON, 2011).

Cabe ressaltar que os tratamentos químicos de controle de pragas e patógenos com a

utilização de agrotóxicos prescindem de adequada anamnese, escolha correta de mecanismo de ação, dose, volume de calda, entre outros, seguindo-se os procedimentos indicados no rótulo, na bula e/ou no receituário agrônomo, além de se observar as normas aplicáveis para o preparo e a aplicação segura destes produtos. É importante ainda conhecer os produtos que serão utilizados e sua forma de aplicação adequada nas modalidades terrestre ou aérea, para a plena eficiência de cada produto aplicado, reduzindo reaplicações de produtos, danos ambientais e financeiros, maximizando o controle de daninhas, patógenos e pragas (FREITAS, 2021).

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APPEZZATO DA GLÓRIA, B.; CARMELLO GUERREIRO, S. M. **Anatomia Vegetal**. 2 ed. Editora UFV. 430 p, 2006.

BRASIL. 1989. Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989. **Legislação Federal de Agrotóxicos**. Brasília, DF, Julho 1989. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/17802.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/17802.htm)>. Acesso em: 15 out 2022.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; OVEJERO, R. F. L.; DAMIN, V.; CARVALHO, S. J. P.; NICOLAI, M. **Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. 1 ed. Apoio BASF S.A. 90 p, 2008.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. 2022. **Acompanhamento safra brasileira de grãos**, v. 9 - Safra 2021/22 - Décimo segundo levantamento, Brasília, 1-88p.

CONTE, S. S.; LLOYD, A. M. Exploring multiple drug and herbicide resistance in plants – Spotlight on transporter protein. **Plant Science**, 180, p. 196-203, 2011.

EPA. **Soil screening guidance: User's guide**. United States Environmental Protection Agency. 2 ed. Washington. 49 p, 1996.

FREITAS, B. R. de. **Variação da taxa de aplicação e pontas de pulverização no controle da ferrugem asiática na cultura da soja**. 2021. 77 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrônomicas da Unesp, Câmpus de Botucatu, 2021.

GHINI, R.; KIMATI, H. **Resistência de fungos a fungicidas**. 1. ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 78 p.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2020. **Relatórios de comercialização de agrotóxicos.** Disponível em: <<http://ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>>. Acesso em 20 out 2022.

JULIATTI, F. C.; JULIATTI, Fa. C.; GODOY, F. A.; SILVA, J. R. R. **Fungicidas de A a Z.** 1. ed. Uberlândia: Composer, 2016. v. 500. 218p.

LARINI, L. **Toxicologia dos praguicidas.** São Paulo: Manole, 1999.

MORAES, R. F. de. **Agrotóxicos no Brasil: Padrões de uso, política da regulação e prevenção da captura regulatória.** Texto para Discussão nº 2506. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Ipea. Brasília, 2019, 76p.

OLIVEIRA JR, R. S. Mecanismos de ação de herbicidas. **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas.** Ed 1. Editora Omnipax. 348 p. 2011.

OLIVEIRA JR, R. S.; BACARIN, M. A. Absorção e translocação de herbicidas. **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas.** Ed 1. Editora Omnipax. 348 p. 2011.

PAN, L.; YU, Q.; WANG, J.; HAN, H.; MAO, L.; NYPORKO, A.; MAGUZA, A.; FAN, L.; BAI, L.; POWLES, S. An ABCC-Type transporter endowing glyphosate resistance in plants. **Proceedings of National Academy of Science**, v.118, n.16, p. e2100136118, 2021.

PIGNATI, W. A.; LIMA, F. A. N. S.; LARA, S. S.; CORREA, M. L. M.; BARBOSA, J. R.; LEÃO, L. H. C.; PIGNATTI, M. G. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. **Revista Ciência e Saúde Coletiva**, v. 22, n. 10, p. 3281-3293, 2017.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas.** 5 ed., 2005.

SCHERES, B.; BENFEY, P.; DOLAN, L. Root development. **The Arabidopsis book.** American Society of Plant Biologists, 1 ed., 2002.

SIMON, J. Y. **The toxicology and biochemistry of insecticides.** CRC press, 2011.

SINDIVEG - Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Vegetal. 2020. **O que você precisa saber sobre defensivos agrícolas.** Sindiveg. 47p. Disponível em: <<https://sindiveg.org.br/wp-content/uploads/2021/11/bxresolucao.pdf>>. Acesso em 20 out 2022.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6 ed. Editora Artmed. 888 p, 2017.

TOMLIN, C. D. et al. **The pesticide manual: a world compendium**. British Crop Production Council, 2009.

VALICENTE, F. H. **Manejo integrado de pragas na cultura do milho**. 1 ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 13 p. (Circular Técnica 208).

## CAPÍTULO 6

# RESISTÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS A HERBICIDAS: MANEJO E SITUAÇÃO ATUAL

*Núbia Maria Correia<sup>1</sup>, Harry J. Strek<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Eng. Agrônoma, Dra. Pesq. Embrapa Cerrados, Brasília, DF. nubia.correia@embrapa.br

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Dr. Diretor Científico Resistência de Plantas Daninhas, Bayer AG, Controle de Plantas Daninhas, Pesquisa e desenvolvimento, CropScience, Frankfurt, Alemanha. harry.strek@bayer.com

### 1. INTRODUÇÃO

A resistência de plantas daninhas a herbicidas é um dos grandes desafios da agricultura no momento, tanto no Brasil como nos outros países. Mas, primeiramente, é importante diferenciar tolerância de resistência de plantas daninhas, que é muito confundido no campo. A tolerância refere-se à característica inata da espécie em sobreviver a aplicações de herbicida na dosagem recomendada, que seria letal a outras espécies, sem alterações marcantes em seu crescimento e desenvolvimento (CHRISTOFFOLETI & LÓPEZ-OVEJERO, 2008).

Várias espécies de plantas daninhas são tolerantes ao herbicida glyphosate, entre elas corda-de-viola (espécies dos gêneros *Ipomoea* e *Merremia*), erva-de-touro (*Tridax procumbens*), erva-quente (*Spermacoce latifolia*), guanxuma (*Sida* spp.), poaia-branca (*Richardia brasiliensis*), trapoeraba (*Commelina benghalensis*), entre outras. Isto indica que, dependendo do tamanho da planta e da dosagem do herbicida, este pode (ou não) ser eficaz.

Na dosagem de bula, de forma geral, plantas pequenas (de 2 a 3 folhas) das espécies tolerantes são controladas pelo glyphosate. No entanto, à medida que a planta cresce o controle não é mais observado. Por isso, para o controle efetivo, o glyphosate deve ser aplicado em plantas pequenas, na pós-emergência precoce e inicial ou no máximo pós-normal, e não em plantas adultas, como acontece na maioria das situações de campo, seja na “dessecação” pré-semeadura de culturas no sistema de plantio direto ou nas entrelinhas de culturas perenes, como café e citros.

Em relação à resistência, trata-se da capacidade inerente e herdável de alguns biótipos, dentro de uma determinada população, de sobreviver e se reproduzir após a exposição a dosagens de um herbicida, que normalmente seriam letais a uma população normal (sensível) da mesma espécie (CHRISTOFFOLETI & LÓPEZ-OVEJERO, 2008). A resistência é um fenômeno natural que ocorre espontaneamente nas populações, não sendo, portanto, o herbicida o agente causador, mas, sim, selecionador dos indivíduos resistentes que se encontram em baixa frequência inicial (CHRISTOFFOLETI et al., 1994). A resistência é resultado de uma pressão de seleção, devido ao uso contínuo e frequente de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação, sem a adoção de outras práticas de manejo de plantas daninhas (NORSWORTHY et al., 2012).

O biótipo resistente, por outro lado, também pode ser introduzido na área agrícola pela sua disseminação natural (sementes facilmente levadas pelo vento, por exemplo) ou pela maquinaria, em especial, as colhedoras. No processo de colheita das culturas, as máquinas ficam sujas com resíduos vegetais de plantas daninhas, como frutos e sementes. Se a máquina não for devidamente limpa, esses resíduos serão disseminados para outras áreas, seja dentro da mesma fazenda ou de uma fazenda para outra. A movimentação de colhedoras no Brasil pode justificar a evolução dos casos de resistência de capim-amargoso (*Digitaria insularis*) do Sul para o Centro Oeste e Norte do país.

O grande prejuízo da resistência para a agricultura é o aumento do custo de produção, seja pela adoção de outras estratégias de manejo, ou pela redução da produtividade da cultura de interesse econômico, devido à competição das plantas resistentes não controladas. No caso do capim-amargoso resistente ao herbicida glyphosate, o seu custo de manejo na cultura da soja pode aumentar de 165% a 290% (ADEGAS et al., 2018). A resistência de plantas daninhas é um tema atual e de grande importância para o setor produtivo, o que demanda conhecimento no assunto para a escolha das melhores ações de manejo, tanto para evitar a seleção ou a introdução do biótipo resistente quanto para a escolha da estratégia mais assertiva depois de instalado o problema.

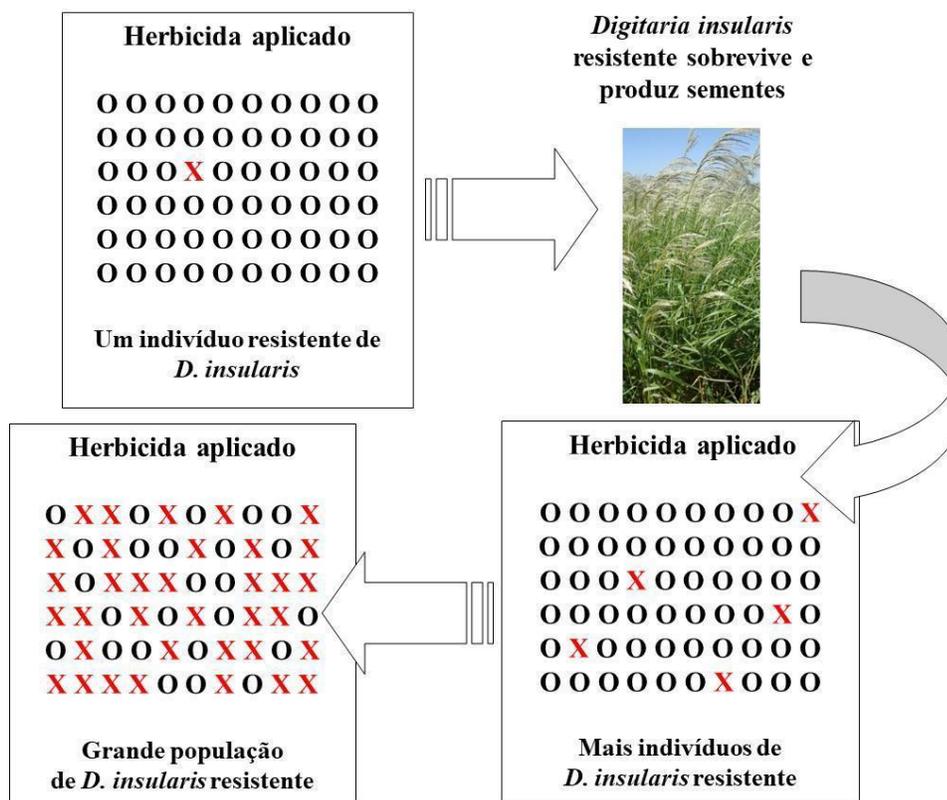
## **2. SELEÇÃO E TIPOS DE RESISTÊNCIA**

O uso exclusivo e frequente de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação contribuiu para o aumento da pressão de seleção de biótipos resistentes de uma determinada espécie, como ilustrado na Figura 1. Nesse caso, mesmo aumentando a dosagem do herbicida ou pulverizando

em plantas menores, o controle é ineficaz. Ocorre uma mudança na dinâmica da população da espécie de planta daninha da área agrícola, em função das aplicações de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação. No início, antes da seleção, a população era composta apenas por indivíduos suscetíveis ao herbicida, que foram com o decorrer do tempo, com as pulverizações sucessivas e constantes do mesmo mecanismo de ação, sendo substituídos por indivíduos resistentes, que passaram a prevalecer no local.

A resistência simples ocorre quando o biótipo é resistente a apenas um mecanismo de ação e pode ser cruzada, quando o biótipo é resistente a dois ou mais herbicidas de diferentes grupos químicos do mesmo mecanismo de ação (CHRISTOFFOLETI & LÓPEZ-OVEJERO, 2008). Como no caso de resistência cruzada do capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) aos herbicidas inibidores da ACCase fenoxaprop-p-ethyl e cyhalofop-buthyl, do grupo químico ariloxifenoxipropionato, e sethoxydim, do grupo químico ciclohexanodiona, reportado no Brasil no ano de 2003.

Na resistência múltipla o biótipo possui um ou mais mecanismos de resistência distintos, que conferem o comportamento resistente a herbicidas com mecanismos de ação diferenciados (CHRISTOFFOLETI & LÓPEZ-OVEJERO, 2008). Por exemplo, o capim-pé-de-galinha resistente aos herbicidas inibidores da ACCase, Fotossistema I, EPSPs e GS, relatado na Malásia, em 2009, com distintos mecanismos de resistência. A grande preocupação com a resistência múltipla é a dificuldade de manejar o indivíduo resistente, visto que as possibilidades de controle químico, ficam cada vez mais restritas.



**Figura 1.** Aumento da infestação dos indivíduos resistentes (X) da planta daninha em uma área agrícola, comparado ao declínio dos indivíduos suscetíveis (O), em função da aplicação contínua e frequente de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação. O exemplo é da espécie *Digitaria insularis* (capim-amargoso) resistente ao herbicida glyphosate.

### 3. A SITUAÇÃO DA RESISTÊNCIA NO BRASIL E NO MUNDO

O International Herbicide-Resistant Weed Database (IHRWD) registra os relatos de resistência aos herbicidas no mundo, divulgando o primeiro caso de resistência de uma espécie de planta daninha, para um determinado grupo de herbicidas (mecanismo de ação), em um país ou região geográfica deste (HEAP, 2022). É uma referência útil para rastrear tendências de resistência globalmente ou dentro de um país, e é patrocinado pelo HRAC Global (comitê global de ação de resistência a herbicidas), um órgão internacional fundado pela indústria agroquímica que apoia ações contra resistência de plantas daninhas a herbicidas.

Com base nos dados disponibilizados no site do IHRWD, até o ano de 2022, 512 casos de biótipos de plantas daninhas resistentes a herbicidas já foram registrados no mundo, para 266

espécies (153 dicotiledôneas e 113 monocotiledôneas), distribuídos em 96 culturas em 71 países (HEAP, 2022). No Brasil, 54 casos de resistência foram relatados até o momento, para 29 espécies de plantas daninhas, especialmente nas culturas de soja, milho, algodão e trigo, destas 15 são dicotiledôneas e 14 monocotiledôneas (HEAP, 2022).

As principais espécies de plantas daninhas com maior número de casos de resistência a herbicida no mundo podem ser observadas na Tabela 1. Entre as 22 espécies ranqueadas, o azevém (*Lolium perenne* ssp. *multiflorum*) possui o maior número de casos, 71; seguido de caruru palmeri (*Amaranthus palmeri*), com 70, e buva (*Conyza canadensis*), com 66. Das 22 espécies listadas, somente para dez já foram registrados casos de resistência no Brasil, com predomínio de buva (*Conyza sumatrensis*), com 7 casos; e azevém, com 5 casos.

No Brasil, o primeiro relato oficial de resistência deve seguir normas e critérios estabelecidos pelo comitê de resistência da SBCPD (Sociedade Brasileira da Ciência das plantas daninhas), que reúne pesquisadores e estudiosos da área, e pelo HRAC Brasil, constituído por representantes da indústria (GAZZIERO et al., 2008). O primeiro relato de resistência é um indicativo de problema regional, estadual ou de todo o país, a médio e longo prazo. Assim, não significa que todas as áreas de produção tenham o problema, mas dependendo do manejo da área, poderá tê-lo.

Na Tabela 2 são apresentados os casos de resistência simples e múltipla de plantas daninhas ao herbicida glyphosate no Brasil. A resistência simples refere-se unicamente ao glyphosate e a múltipla, a dois ou mais mecanismos de ação diferentes. Até o ano de 2022, foram relatados 19 casos de resistência de dez espécies de plantas daninhas, sendo capim-amargoso e buva as resistentes com maior expressão e distribuição pelo País.

**Tabela 1.** Plantas daninhas (espécie e nome popular) com maior número de casos de resistência a herbicida no mundo, agrupadas em folha larga (FL) e gramínea (GRA), e a quantidade de casos correspondentes no Brasil.

Espécie	Nome popular	FL/GRA	Número de casos	
			Mundo	Brasil
<i>Lolium perenne</i> ssp. <i>Multiflorum</i>	Azevém	GRA	71	5
<i>Amaranthus palmeri</i>	Caruru palmeri	FL	70	2
<i>Conyza canadenses</i>	Buva	FL	66	1
<i>Amaranthus tuberculatus</i> (= <i>A. rudis</i> )	Caruru	FL	62	-
<i>Kochia scoparia</i>	Kochia	FL	55	-
<i>Avena fátua</i>	Aveia silvestre	GRA	54	1
<i>Poa annua</i>	Cabelo-de-cão	GRA	49	-
<i>Chenopodium álbum</i>	Ançarinha-branca	FL	49	-
<i>Amaranthus retroflexus</i>	Caruru-gigante	FL	49	3
<i>Lolium rigidum</i>	Azevém	GRA	48	-
<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i>	Capim-arroz	GRA	48	4
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	Ambrósia	FL	40	-
<i>Eleusine indica</i>	Capim-pé-de-galinha	GRA	37	3
<i>Alopecurus myosuroides</i>	Rabo-de-raposa	GRA	36	-
<i>Amaranthus hybridus</i> (syn: <i>quitensis</i> )	Caruru-roxo	FL	32	1
<i>Sorghum halepense</i>	Capim-massambará	GRA	31	-
<i>Echinochloa colona</i>	Capim-arroz	GRA	26	
<i>Stellaria media</i>	Morugem	FL	23	-
<i>Ambrosia trifida</i>	Ambrósia	FL	22	-
<i>Xanthium strumarium</i>	Carrapichão	FL	20	-
<i>Conyza sumatrensis</i>	Buva	FL	20	7
<i>Conyza bonariensis</i>	Buva	FL	20	1

Fonte: Heap (2022)

**Tabela 2.** Espécie de planta daninha, nome popular, ano e local do primeiro relato de resistência ao herbicida glyphosate no Brasil, casos de resistência simples e múltipla.

<b>Espécie</b>	<b>Nome popular</b>	<b>Ano</b>	<b>Mecanismo de ação</b>	<b>Local</b>
1. <i>Lolium perenne</i> ssp. <i>multiflorum</i>	Azevém	2003	Inibidor da EPSPs	RS
2. <i>Conyza bonariensis</i>	Buva	2005	Inibidor da EPSPs	RS, SP
3. <i>Conyza canadensis</i>	Buva	2005	Inibidor da EPSPs	SP
4. <i>Digitaria insularis</i>	Capim-amargoso	2008	Inibidor da EPSPs	PR
5. <i>Lolium perenne</i> ssp. <i>multiflorum</i>	Azevém	2010	Inibidor da ACCase Inibidor da EPSPs	RS
6. <i>Conyza sumatrensis</i>	Buva	2010	Inibidor da EPSPs	PR
7. <i>Conyza sumatrensis</i>	Buva	2011	Inibidor da ALS Inibidor da EPSPs	PR
8. <i>Chloris elata</i>	Capim-branco	2014	Inibidor da EPSPs	SP, PR
9. <i>Amaranthus palmeri</i>	Caruru palmeri	2015	Inibidor da EPSPs	MT
10. <i>Eleusine indica</i>	Capim-pé-de-galinha	2016	Inibidor da EPSPs	PR
11. <i>Amaranthus palmeri</i>	Caruru palmeri	2016	Inibidor da ALS Inibidor da EPSPs	MT
12. <i>Lolium perenne</i> ssp. <i>multiflorum</i>	Azevém	2017	Inibidor da ALS Inibidor da EPSPs	RS
13. <i>Conyza sumatrensis</i>	Buva	2017	Inibidor da ALS Inibidor do FSI Inibidor da EPSPs	PR
14. <i>Eleusine indica</i>	Capim-pé-de-galinha	2017	Inibidor da ACCase Inibidor da EPSPs	MT
15. <i>Conyza sumatrensis</i>	Buva	2017	Inibidor do FSII Inibidor do FSI Inibidor da Prottox Inibidor da EPSPs Auxina sintética	PR
16. <i>Amaranthus hybridus</i>	Caruru-roxo	2018	Inibidor da ALS Inibidor da EPSPs	RS, PR
17. <i>Euphorbia heterophylla</i>	Amendoim-bravo	2019	Inibidor da EPSPs	PR
18. <i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i>	Capim-arroz	2020	Inibidor da EPSPs	RS

19. <i>Digitaria insularis</i>	Capim-amargoso	2020	Inibidor da ACCase	MT
			Inibidor da EPSPs	MS

Fonte: Heap (2022)

#### 4. MECANISMOS DE RESISTÊNCIA

Os mecanismos de resistência de plantas daninhas a herbicidas podem ser separados em dois grupos: mecanismos de resistência relacionados ao sítio de ação, também denominado de específico, em inglês *Target-site resistance* (TSR) e mecanismos de resistência não relacionados ao sítio de ação, ou não específicos, em inglês *Nontarget-site resistance* (NTSR) (GAINES et al., 2020). O conhecimento dos mecanismos de resistência contribui para melhorar o manejo das populações resistentes (TAKANO et al., 2021). É importante destacar que as plantas daninhas podem desenvolver resistência para qualquer método de controle, desde que usado em excesso, mesmo aqueles não químicos.

Para os mecanismos de resistência relacionados ao sítio de ação (*Target-site resistance*), a atividade do herbicida é comprometida no seu sítio de ação, por diversas causas ou fatores, como a perda da afinidade da molécula pelo local de ação na enzima, atribuída a mudanças na sequência dos aminoácidos em uma região conservada da enzima; aumento da expressão gênica, polimorfismos múltiplos de nucleotídeos, interações receptor/co-receptor, entre outros (GAINES et al., 2020).

A substituição do aminoácido asparagina por glicina na posição 2078 (Asp-2078-Gly) na enzima foi responsável pela resistência do capim-pé-de-galinha aos herbicidas inibidores da ACCase (OSUNA et al., 2012). Em outro estudo, níveis de expressão da enzima EPSPS até 3 vezes maiores foram encontrados em azevém (*Lolium rigidum*) resistente ao glyphosate por meio de regulação positiva (BAERSON et al., 2002). A esse respeito, o primeiro caso de duplicação de genes (ou amplificação) foi identificado em uma população de caruru palmeri (*A. palmeri*) resistente ao glyphosate com níveis da enzima EPSPS de 4 a 100 vezes mais altos em relação a uma população suscetível (GAINES et al., 2010).

Os mecanismos não relacionados ao sítio de ação (*Nontarget-site resistance*) podem conferir resistência da planta daninha ao herbicida, pois, de alguma forma, resultam na redução da concentração do herbicida no sítio de ação. Esses mecanismos estão relacionados à redução na

retenção do herbicida na superfície foliar, redução na absorção e, ou translocação na planta, ocorrência de fenômenos de compartimentalização ou metabolização do herbicida (MENENDEZ et al., 2014).

Em populações de buva (*C. sumatrensis*) foi demonstrado que a diminuição da absorção do glyphosate através da cutícula da planta, responsável pela resistência, pode ser revertida com o uso de adjuvantes específicos à formulação do herbicida (PALMA-BAUTISTA et al., 2020). Formulações que promove maior e mais rápida absorção podem proporcionar alguma vantagem à resistência nesses casos, mas eventualmente com pressão de seleção contínua resultariam em aumentos incrementais na tolerância das plantas daninhas para eventualmente atingir níveis de resistência. Em algumas populações de buva (*C. bonariensis*), a diminuição do transporte de glyphosate para a enzima EPSPS no cloroplasto é responsável pela resistência das plantas (KLEINMAN & RUBIN, 2017). Outra população de buva (*C. canadensis*) resistente ao glyphosate pode sequestrar maiores concentrações do herbicida nos vacúolos, diminuindo sua concentração no sítio de ação (GE et al., 2010).

Outro mecanismo não específico é a necrose rápida, que é incomum, pois limita a absorção do herbicida aplicado e age rapidamente no tecido foliar. Em uma população de buva (*C. sumatrensis*) resistente ao herbicida 2,4-D no estado do Paraná, a produção de moléculas reativas de oxigênio trouxe a rápida formação de tecido necrótico que resultou na diminuição da absorção do herbicida pela planta daninha (DE QUEIROZ et al., 2020). Já uma população de ambrósia (*Ambrosia trifida*) desenvolveu um mecanismo de resistência ao glyphosate que impede a sua translocação para os meristemas. Na luz solar, as folhas rapidamente necrosam e morrem dentro de 24 horas, e eventualmente se abstêm da planta (VAN HORN et al., 2018).

O mecanismo de resistência a herbicidas, contudo, mais intrigante e potencialmente ameaçador é o metabólico, comumente chamado de resistência metabólica (YU & POWLES, 2014). Trata-se da metabolização ou desintoxicação do herbicida para substâncias menos fitotóxicas. Assim como nos mecanismos anteriores, atua limitando a concentração do herbicida no sítio de ação. No entanto, ao invés de limitar o transporte, o herbicida é metabolizado mais rapidamente nas plantas resistentes do que nas suscetíveis.

O metabolismo de herbicidas, segundo Gaines et al. (2020), pode ser dividido em três fases. A fase I que envolve a adição de um grupo funcional ao herbicida por oxidação, redução ou hidrólise e é realizada principalmente pelas monooxigenases do citocromo P450. A Fase II

envolve mudanças mais complexas no herbicida, incluindo conjugação com glutathione (GSH), realizada por GSH S-transferases, ou com glicose, realizada por glicosiltransferases. A Fase III envolve o transporte dos metabólitos conjugados para um vacúolo ou incorporação à parede celular para compartimentalização e, ou degradação adicional. A maioria dos produtos de degradação não é tóxica para a planta ou tem toxicidade muito reduzida em comparação ao ingrediente ativo.

Um dos aspectos mais alarmantes da resistência metabólica como ameaça à sustentabilidade dos herbicidas, é que uma determinada enzima já pode estar presente em um número significativo de populações de plantas daninhas e pode desintoxicar novos herbicidas ainda não desenvolvidos ou comercializados (YU & POWLES, 2014). Assim, antes mesmo do herbicida chegar ao campo para uso, já podem existir biótipos de plantas daninhas resistentes à molécula no campo.

## **5. MANEJO DA RESISTÊNCIA**

O manejo da resistência deve ser adotado nas áreas agrícolas antes da instalação do problema no campo, como estratégia proativa para evitar a seleção ou introdução dos biótipos resistentes, ao invés de curativa, depois que o problema já foi instalado. Trata-se de manejo, quem é adepto do manejo integrado de plantas daninhas, não terá o problema de resistência na sua propriedade ou demorará mais tempo para tê-lo. O manejo integrado preconiza as boas práticas agrícolas, tendo como estratégia principal de manejo a cultura e não o controle químico. Práticas com foco no crescimento e no desenvolvimento adequados da cultura e na redução do banco de sementes e propágulos de plantas daninhas do solo, são primordiais para o manejo da resistência.

As estratégias para minimizar o risco da resistência devem considerar, principalmente, a redução da pressão de seleção e o controle dos biótipos resistentes antes da produção de sementes (ALTERMAN & JONES, 2003). Por isso, é importante fazer a rotação ou a sucessão de culturas, que permitirá o uso de herbicidas com mecanismos de ação diferentes, além de ter espécies cultivadas com características de crescimento e competitividade diferentes no local. Dentro da cultura, ações simples e fáceis também são importantes e devem ser adotadas, como o uso de sementes certificadas, puras, sem sementes de planta daninha; limpeza dos maquinários, em especial as colhedoras; adubação equilibrada, com base em análise de solo; uso de cultivares

recomendadas para a região, com o espaçamento e a população de plantas indicados para esta; e o controle adequado de pragas e doenças. Enfim, usar todas as estratégias dentro da fitossanidade e da fitotecnia para promover o melhor crescimento e desenvolvimento da cultura, somado as práticas do uso correto de herbicidas e se tiver disponibilidade de mão-de-obra, fazer a catação manual das plantas daninhas sobreviventes, antes da produção de sementes.

Quanto ao controle químico, algumas diretrizes são importantes de serem adotadas, entre elas: utilizar o herbicida conforme a recomendação do fabricante, aprimorar a tecnologia de aplicação por meio da otimização da dose, época e número de aplicações; acompanhar os resultados das aplicações dos herbicidas, aplicar herbicidas somente quando necessário, utilizar herbicidas de baixa atividade residual no solo, diminuir a frequência de aplicação de herbicidas específicos, utilizar mistura de herbicidas (em tanque ou formuladas) ou aplicações sequências e utilizar a rotação de herbicidas com diferentes mecanismos de ação (ALTERMAN & JONES; RODRIGUES & ALMEIDA, 2018). Todas as ações visam garantir o melhor uso do herbicida, de forma racional e equilibrada, possibilitando otimizar a sua aplicação a médio e longo prazo.

O conhecimento do mecanismo de ação é imprescindível para o manejo da resistência. Por isso, para facilitar o acesso à informação, nas bulas dos produtos comerciais do Brasil, consta o mecanismo de ação do herbicida e o seu grupo de classificação, segundo o HRAC Brasil (Comitê de ação a resistência de Herbicidas).

Mecanismo de ação ou sítio de ação de herbicidas é a primeira reação bioquímica ou biofísica inibida pelo herbicida, que resulta na morte ou ação final do produto. Trata-se da inibição primária (inicial) que desencadeia todos os distúrbios metabólicos na sequência. O modo de ação é a sequência completa de todas as reações que ocorrem desde o contato do herbicida com a planta até a sua morte ou ação final do produto. Então, inclui absorção, translocação, mecanismo de ação, todos os outros processos metabólicos inibidos, os primeiros sintomas de fitointoxicação e a morte da planta, se houver.

Como exemplo, tem-se o herbicida glyphosate, que inibe a enzima 5-enolpiruvil shiquimato 3-fosfato sintase (EPSPs), que resulta na inibição da síntese dos aminoácidos essenciais triptofano, fenilalanina e tirosina, com prejuízos na produção de proteínas, vitaminas (K e E), hormônios (auxinas e etileno), alcalóides e outros produtos essenciais ao crescimento e desenvolvimento das plantas (ALTERMAN & JONES, 2003; RODRIGUES & ALMEIDA,

2018). Portanto, o mecanismo de ação é a inibição da enzima EPSPs e todos os eventos posteriores contemplam o modo de ação.

Embora os herbicidas inibidores dos fotossistemas I e II e da enzima protoporfirinogen oxidase (PPO) possuam sítios de ação diferentes, estes ocasionam o mesmo efeito letal na planta, em decorrência da formação de radicais livres, altamente reativos, que reagem com os lipídios de membranas e ocasionam a peroxidação dos lipídios. Radicais livres referem-se à clorofila “triplet” ou “singlet”,  $O_2$  (superóxido),  $OH^*$  (radicais hidroxila),  $H_2O_2$  (peróxido de hidrogênio),  $^1O_2$  (oxigênio reativo ou “singlet” ou “singleto”) (VIDAL & MEROTTO Jr., 2001). Devido à rápida ação na planta, esses herbicidas são imóveis ou móveis pelo xilema e nenhum deles é móvel pelo floema. A mortalidade das plantas sensíveis é rápida, e os sintomas iniciais são similares, como manchas necróticas nas folhas.

Na Tabela 3 são apresentados os compostos ou processos metabólicos inibidos e o mecanismo de ação dos herbicidas disponíveis no mercado brasileiro, com o grupo químico, exemplos de ingredientes ativos e a classificação pelo HRAC Brasil.

Tabela 3. Compostos ou processos metabólicos inibidos e o mecanismo de ação dos herbicidas disponíveis no mercado brasileiro, com o grupo químico, exemplos de ingredientes ativos e a classificação pelo HRAC<sup>(1)</sup> Brasil.

<b>Inibição</b>	<b>Mecanismo de ação</b>	<b>Grupo químico</b>	<b>Exemplos de ingredientes ativos</b>	<b>Classificação</b>
Síntese de lipídios	Inibição da enzima acetil-CoA carboxilase (ACCase)	Ciclohexanodiona Ariloxifenoxipropionato Phenilpirazoline	Clethodim, sethoxydim Fluazifop-butyl, haloxyfop-methyl Pinoxaden	A
Síntese dos aminoácidos valina, leucina e isoleucina	Inibição da enzima acetolactato sintase (ALS) ou acetohidroxiácido (AHAS)	Imidazolinonas Triazolopirimidina Sulfoniluréias Pirimidiloxibenzoatos	Imazapic, imazapyr, imazethapyr Cloransulam-methyl, diclosulam Chlorimuron-ethyl, sulfometuron-methyl Bispyribac-sodium, pyrithiobac-sodium	B
Fotossíntese	Inibição do fotossistema II (Peroxidação de lipídios)	Triazina Triazinona Triazolinona Amida Derivados de ureia Benzotiadiazinona Nitrila	Ametryn, atrazine Hexazinone, metamitron, metribuzin Amicarbazone Propanil Diuron, linuron, tebuthiuron Bentazon Ioxynil	C1 C2 C3
Fotossíntese	Inibição do fotossistema I (Peroxidação de lipídios)	Bipiridilo	Diquat	D
Síntese de porfirinas	Inibição da enzima protoporfirinogen oxidase (PPO) (Peroxidação de lipídios)	Difeniléter Ftalimida Oxadiazole Triazolinona Uracila	Fomesafen, lactofen, oxyfluorfen Flumiclorac-pentyl, flumioxazin Oxadiazon Carfentrazone-ethyl, sulfentrazone Saflufenacil	E

Síntese de carotenoides (formação de radicais livres)	Inibição da enzima p-hidroxifenilpiruvato dioxigenase (HPPD)	Isoxazole Tricetona	Isoxaflutole Mesotrione, tembotrione	F2
	Inibição da enzima 1-desoxi-d-xilulose 5-fosfato sintase (DOXPs)	Isoxazolidinona	Clomazone	F4
Síntese dos aminoácidos triptofano, fenilalanina e tirosina	Inibição da enzima 5-enolpiruvil shiquimato 3-fosfato sintase (EPSPs)	Derivados da glicina	Glyphosate	G
Síntese do aminoácido glutamina	Inibição da enzima glutamina sintetase (GS)	Ácidos fosfínicos	Amônio-glufosinato	H
Síntese de ácido fólico	Inibição da diidropteroato sintase (DHP)	Carbamato	Asulam	I
Mitose	Inibição da formação de microtúbulos	Dinitroanilina	Pendimethalin, trifluralin	K1
Síntese de lipídios	Inibição da síntese de ácidos graxos de cadeia longa	Cloroacetamida	Alachlor, s-metolachlor	K3
Síntese de parede celular	Inibição da síntese de celulose	Alquilazina	Indaziflam	L
Auxinas sintéticas	Mimetizador de auxina	Ác. benzóico Ác. fenoxiacético Ác. piridinocarboxílico Ác. piridiniloxialcanóico Ác. quinolinocarboxílico	Dicamba 2,4-D Picloram, aminopyralid Triclopyr, fluroxypyr Quinclorac	O
Síntese de ácidos nucleicos	Desconhecido	Organoarsenical	MSMA	Z

<sup>(1)</sup> Comitê de Ação a Resistência aos Herbicidas.

Fonte: HEAP (2022), RODRIGUES & ALMEIDA (2018), ULZURRUN (2013).

Outra prática que contribui para o controle de plantas daninhas, sejam elas resistentes ou não, é o manejo cultural na entressafra (manejo outonal), que consiste na manutenção de cobertura viva no período de outono-inverno. Essas espécies podem ser usadas para a produção de grãos (segunda safra), alimentação animal, adubação verde e, ou servir como aporte de palha para o sistema de plantio direto, resultando em melhorias nas características químicas, físicas e biológicas do solo.

O estudo realizado na Embrapa Cerrados, em Planaltina, DF, demonstrou que, apesar do ótimo controle químico de capim-amargoso resistente ao glyphosate durante o ciclo da cultura da soja, para a manutenção dos níveis de controle até a próxima safra foi necessário o cultivo de espécies forrageiras (braquiária ruziziensis, BRS Massai, BRS Tamani ou BRS Zuri) na entressafra (outono-inverno), pois as sementes do banco de sementes do solo germinaram e reinfestaram as parcelas. Porém, essa reinfestação foi bem mais pronunciada nas parcelas sem cobertura viva das espécies forrageiras. Portanto, a presença da forrageira no local prejudicou o estabelecimento do capim-amargoso, seja pela morte ou inibição do crescimento das plantas. O crescimento rápido e vigoroso das forrageiras favoreceu a sua competição com as plantas de capim-amargoso.

Em trabalho realizado por Marochi et al.(2019), os autores também relataram que o uso de rotação de herbicidas e as misturas associadas ao milho consorciado com braquiária ruziziensis e braquiária ruziziensis sozinha manteve a infestação de capim-amargoso em níveis extremamente baixos. Enfim, o controle químico sozinho, mesmo eficaz, é ineficaz no manejo de capim-amargoso resistente a médio e longo prazo. O manejo de capim-amargoso resistente deve considerar tanto a rotação e a mistura de herbicidas, como o uso de culturas de cobertura, para mitigar a resistência e prevenir a seleção de biótipos com resistência múltipla (MAROCHI et al., 2019). A cobertura viva na entressafra (outono/inverno) com colônia BRS Zuri, implantando por meio de consórcio com a cultura do milho, também resultou em excelente controle das plantas daninhas, especialmente de buva (*C. sumatrensis*) resistente ao herbicida glyphosate, com redução de 66% na sua ocorrência (CORREIA et al., 2021).

## 6. REFERÊNCIAS

- ADEGAS, F. S.; GAZZIERO, D. L. R.; VARGAS, L.; KARAM, D.; SILVA, A. F. da; AGOSTINETTO, D. **Impacto no bolso**. Revista Cultivar, v. 18, n. 225, p. 36-38, 2018.
- ALTERMAN M. K.; JONES A. P. **Herbicidas: Fundamentos fisiológicos y bioquímicos del modo de acción**. Ediciones Universidad Católica del Chile. 2003. 333 p.
- BAERSON, S. R.; RODRIGUEZ, D. J.; BIEST, N. A.; TRAN, M.; YOU, J. S.; KREUGER, R. W.; DILL, G. M.; PRATLEY, J. E.; GRUYS, K. J. Investigating the mechanism of glyphosate resistance in rigid ryegrass (*Lolium rigidum*). **Weed Science**, v. 50, n. 6, p. 721-730, 2002.
- CHRISTOFFOLETI, P. J.; VICTORIA FILHO, R.; SILVA, C. B. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas. **Planta Daninha**, v. 12, n. 1, p. 13-20, 1994.
- CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F. Resistência das plantas daninhas a herbicidas: definições, bases e situação no Brasil e no mundo. In: CHRISTOFFOLETI, P.J. (Coord.). **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. 3.ed. Piracicaba: Associação Brasileira de Ação a Resistência de Plantas Daninhas aos Herbicidas (HRAC-BR), 120 p, 2008.
- CORREIA, N. M.; MARCHÃO, R. L.; VILELA, L. **Levantamento fitossociológico de plantas daninhas em áreas de milho com e sem consórcio com BRS Zuri**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento) 2021. 22 p.
- DE QUEIROZ, A. R. S.; DELATORRE, C. A.; LUCIO, F. R.; ROSSI, C. V. S.; ZOBIOLE, L. H. S.; MEROTTO JR., A. Rapid necrosis: a novel plant resistance mechanism to 2,4-D. **Weed Science**, v. 68, n. 1, p. 6-18, 2020.
- GAINES, T. A.; ZHANG, W.; WANG, D.; BUKUN, B.; CHISHOLM, S. T.; SHANER, D. L.; NISSEN, S. J.; PATZOLDT, W. L.; TRANEL, P. J.; CULPEPPER, A. S.; GREY, T. L.; WEBSTER, T. M.; VENCILL, W. K.; SAMMONS, R. D.; JIANG, J. M.; PRESTON, C.; JAN, J. E.; WESTRA, P. Gene amplification confers glyphosate resistance in *Amaranthus palmeri*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 3, p. 1029-1034, 2010.
- GAINES, T. A.; DUKE, S. O.; MORRAN, S.; TRANEL, P. J.; KÜPPER, A.; DAYAN, F. E. Mechanisms of evolved herbicide resistance. **Journal of Biological Chemistry**, v. 295, n. 30, p. 10307-10330, 2020.

GE, X.; D' AVIGNON, A. D.; ACKERMAN, J. J. H.; SPAUR, M. D.; SAMMONS, R. D. Rapid vacuolar sequestration: the horseweed glyphosate resistance mechanism. **Pest Management Science**, v. 66, n. 6, p. 345-348, 2010.

GAZZIERO, D.L.P.; GALLI, A.J.B.; KARAM, D. (eds). **Critérios para relatos oficiais estatísticos de biótipos de plantas daninhas resistentes a herbicidas**. 1. ed. Sete Lagoas, MG: SBCPD; Campinas, SP: HRAC-BR, 2008. 22 p.

HEAP, I. **The international herbicide resistant weed database**. Online. [acessado em: 06 de junho de 2022] Disponível em: <<http://www.weedscience.org>>.

KLEINMAN, Z.; RUBIN, B. Non-target-site glyphosate resistance in *Conyza bonariensis* is based on modified subcellular distribution of the herbicide. **Pest Management Science**, v. 73, n. 1, p. 246-253, 2017.

MAROCHI, A.; FERREIRA, A.; TAKANO, H. K.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; OVEJERO, R. F. L. Managing glyphosate-resistant weeds with cover crop associated with herbicide rotation and mixture. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 4, p. 381-394, 2018.

MENENDEZ, J.; ROJANO-DELGADO, M. A.; DE PRADO R. Differences in herbicide uptake, translocation, and distribution as sources of herbicide resistance in weeds. **American Chemical Society Symposium Series**, v. 1171, n. 7, p. 141-157, 2014.

NORSWORTHY, J. K.; WARD, S. M.; SHAW, D. R.; LLEWELLYN, R. S.; NICHOLS, R. L.; WEBSTER, T. M.; BRADLEY, K. W.; FRISVOLD, G.; POWLES, S. B.; BURGOS, N. R.; WITT, W. W.; BARRETT, M. Reducing the risks of herbicide resistance: Best management practices and recommendations. **Weed Science**, v. 60, n. sp1, p. 31-62, 2012.

OSUNA, M. D.; GOULART, I. C. G. R.; VIDAL, R. A.; KALSING, A.; RUIZ SANTAELLA, J. P.; DE PRADO, R. Resistance to ACCase inhibitors in *Eleusine indica* from Brazil involves a target site mutation. **Planta Daninha**, v. 30, n. 3, p. 675-681, 2012.

PALMA-BAUTISTA, C.; TATARIDAS, A.; KANATAS, P.; TRAVLOS, I. S.; FERNANDO BASTIDA, F.; DOMINGUEZ-VALENZUELA, J. A.; DE PRADO, R. Can control of glyphosate susceptible and resistant *Conyza sumatrensis* populations be dependent on the herbicide formulation or adjuvants? **Agronomy**, v. 10, n. 10, p. 1599, 2020.

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

TAKANO, H. K.; OVEJERO, R. F. L.; BELCHIOR, G. G.; MAYMONE, G. P. L.; DAYAN, F. E. ACCase-inhibiting herbicides: mechanism of action, resistance evolution and stewardship. **Scientia Agricola**, v. 78, n. 1, 2021.

## CAPÍTULO 7

# DESAFIOS NA APLICAÇÃO DE PRODUTOS BIOLÓGICOS PARA O CONTROLE DE DOENÇAS DE PLANTAS

*Nadson de Carvalho Pontes<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Doutor em Engenharia Agrônômica e professor e pesquisador do IF Goiano, Campus Morrinhos, GO. nadson.pontes@ifgoiano.edu.br

### 1. INTRODUÇÃO

O controle biológico é uma importante alternativa no manejo de doenças de plantas, cuja adoção é cada vez maior nos cultivos agrícolas. Este método de controle de doenças de plantas baseia-se na inibição da atividade de fitopatógenos contra plantas pela ativação de mecanismos de defesa e/ou pela modificação do ambiente por meio dos efeitos de microrganismos benéficos, compostos ou sistemas de cultivo saudáveis (HE et al., 2021).

É possível, com adoção de práticas de cultivo, estimular a própria microbiota nativa do ambiente de cultivo a se multiplicar e atuar no auxílio da defesa de plantas contra fitopatógenos. Tal estratégia chama-se de controle biológico natural. Porém, na maioria das vezes, a prática mais utilizada é a aplicação de uma grande quantidade de um determinado microrganismo antagonista, de modo há se obter um efeito mais imediato. Para tal, é necessário o desenvolvimento de técnicas de produção massal destes microrganismos, bem como de formulações que permitam maior viabilidade e vida de prateleira.

No mercado, é crescente o número de formulações de produtos fitossanitários à base de microrganismos. As empresas têm evoluído no que diz respeito à formulação, melhorando a aplicabilidade, a vida de prateleira e o desempenho a campo (BERNINGER et al., 2018). Porém, há necessidade de se estudar as melhores estratégias de aplicação destes produtos, levando-se em consideração pontos como a natureza do microrganismo utilizado, o modo de ação como aquele microrganismo atua no controle de doenças de plantas, o alvo da aplicação dos produtos e a compatibilidade com outras estratégias de controle.

A correta aplicação de produtos biológicos é condição básica para o sucesso destes no controle de doenças de plantas. Muitas vezes, é necessário levantar alguns pontos importantes para posicionar aplicações destes produtos. Sendo assim, abaixo alguns destes pontos serão destacados, de modo a dar subsídios para elaboração da melhor estratégia de aplicação.

## 2. NATUREZA DOS PRINCIPAIS AGENTES DE BIOCONTROLE

Um ponto importante para ser considerado na aplicação de produtos biológicos é a natureza do agente de biocontrole. Na literatura é possível observar diversos relatos de bactérias, fungos e vírus como antagonistas eficientes no controle de doenças de plantas. Cada um destes tem particularidades que precisam ser consideradas no momento da aplicação.

Quando se fala de bactérias antagonistas de fitopatógenos, o gênero *Bacillus* destaca-se. A capacidade das espécies deste gênero em produzir esporos (endósporos) auxilia sobremaneira no desenvolvimento de formulações com maior vida de prateleira (CHO & CHUNG, 2020). Entretanto, esta característica também traz vantagens e flexibilidade na aplicação.

Em função de diferentes fatores, como revestimentos proteicos espessos, um córtex rico em peptídeoglicano, baixo teor de água, altos níveis de ácido dipicolínico (DPA) e cátions bivalentes no núcleo do esporo, os esporos de *Bacillus* spp. apresentam alta resistência ao calor e à agentes químicos (DRIKS, 1999). Assim, este grupo de microrganismos pode suportar aplicações em condições adversas, bem como a mistura com químicos na mesma calda (ABBASI & WESELOWSKI, 2015).

Bactérias Gram-negativas, ao contrário dos *Bacillus* spp., apesar de serem metabolicamente mais ativas e possuir maior potencial de interação com as plantas, possuem baixa viabilidade em formulação por longos períodos e maior dificuldade em se manter viáveis em condições adversas. Produtos comerciais a base de isolados dos gêneros *Azospirillum*, *Bradyrhizobium* e *Pseudomonas*, bactérias Gram-negativas não formadora de esporos, costumam ter vida de prateleira curta, mesmo quando armazenados em condições de baixas temperaturas (BERNINGER et al., 2018). Além disso, sua aplicação fica limitada ao tratamento de sementes, desde que próximo à data de plantio, e aplicações no solo, haja vista a baixa resistência à radiação UV. Novas formulações, principalmente aquelas baseadas em aplicações nanotecnológicas, podem auxiliar na proteção das células bacteriana e melhor performance de produtos utilizando isolados destes gêneros.

Quanto aos bioprodutos a base de fungos, tem-se o uso de fungos filamentosos e de leveduras, sendo os primeiros mais comuns nos produtos destinados ao controle de doenças de plantas. Talvez o maior exemplo de antagonista fúngico seja o gênero *Trichoderma* com espécies relacionadas ao hiperparasitismo de fungos e nematoides fitopatogênicos, além de isolados capazes de induzir resistência em plantas e produzir metabólitos secundários com ação antimicrobiana.

As formulações comerciais a base de *Trichoderma* spp. são oriundas de processos de fermentação sólida ou líquida. Ressalta-se que as formulações interferem na escolha da alternativa de aplicação mais adequada. Sabe-se que conídios aéreos produzidos na fermentação sólida tem maior resistência à dessecação e à radiação UV do que conídios produzidos em meios líquidos (KOBORI et al., 2015). Deste modo, dependendo da formulação, será necessária uma atenção maior com aspectos relacionados ao horário de aplicação e condições de umidade.

Pesquisas relacionadas ao uso de vírus para controle de doenças de plantas ainda são bastante incipientes no Brasil, apesar de já haverem formulações comerciais em outros países (BALOGH et al., 2003). Entretanto, há de se considerar que as partículas virais costumam ser bastante frágeis, resistindo pouco a condições de umidade alta e incidência de radiação UV (ZACCARDELLI et al., 1992). Esta condição associada à natureza da partícula viral faz com que seja necessário atentar para horários mais adequados de aplicação de produtos à base de vírus ou uso de formulações onde estas partículas estejam protegidas por inertes que protejam contra radiação UV.

### **3. MODO DE AÇÃO DOS ANTAGONISTAS E ALVO BIOLÓGICO**

Agentes de controle biológico podem inibir a atividade de fitopatógenos por diferentes mecanismos, como: competição, antibiose, hiperparasitismo, predação, promoção de crescimento e indução de resistência. Conhecer quais os modos de ação do(s) microrganismo(s), base de um produto biológico, é fundamental para entender a melhor estratégia de aplicação. Geralmente, o modo de ação de cada antagonista é que determina qual o alvo biológico no momento da aplicação (planta e/ou patógeno).

Tratando-se de competição como mecanismo de antagonismo de microrganismos contra fitopatógenos, a produção de sideróforos é um exemplo clássico. Um microrganismo produtor de sideróforos tem a capacidade de sequestrar o ferro disponível no meio para sua utilização,

indisponibilizando-o a outros (SHAFI et al., 2017). Desta forma, antagonistas que possuem este modo de ação devem ser aplicados preventivamente e no espaço onde o patógeno inicia o processo de colonização.

Em trabalho realizado por Halfeld-Vieira et al. (2015), os autores observaram controle da mancha bacteriana do maracujazeiro pela aplicação foliar de isolados de *Pseudomonas* sp., as quais são produtoras de pioverdinas, sideróforos fluorescentes produzidos por certas espécies deste gênero. Neste caso, em específico, patógeno e antagonista são residentes do filoplano. Sendo assim, o alvo biológico são as folhas, de modo a colocar ambos em condição de competição por ferro neste nicho. Há de se considerar que a superfície foliar é um ambiente adverso para o estabelecimento de microrganismos externamente a este tecido. O principal motivo é a dessecação e incidência de raios ultravioletas.

Para alguns produtos biológicos formulados a base de rizobactérias, os quais tem registro contra fitonematoides, a competição por exsudatos radiculares é um dos principais mecanismos de ação. Os nematoides parasitas de plantas seguem em direção às raízes, atraídos pelos exsudatos radiculares. Quando da colonização das raízes por rizobactérias, esta sinalização é prejudicada, uma vez que estas rizobactérias se alimentam também dos exsudatos (Bais et al., 2006).

A decisão pelo sistema radicular como alvo biológico para aplicação de antagonistas, de maneira geral, é uma boa opção quando estes microrganismos tem forte relacionamento com a planta, conseguindo se estabelecer na rizosfera. Na colonização de raízes de plantas por microrganismos benéficos, é comum também a produção de compostos tóxicos que atuam como uma barreira protetora contra fitopatógenos (CHOWDHURY et al., 2015). Tanto bactérias como fungos benéficos associados às raízes têm a capacidade de produzir substâncias tóxicas a diversos fitopatógenos. Este modo de ação pela produção de substâncias tóxicas é conhecido como antibiose.

O objetivo de atingir as raízes pode ser obtido de diferentes maneiras, como aplicação da calda do produto diretamente no colo da planta (esguicho ou *drench*), via sistema de irrigação ou via sementes. A aplicação via *drench*, planta a planta, pode ser uma opção quando em pequenos cultivos, onde o número de plantas for reduzido. Em cultivos de grandes áreas, a dispensa dos agentes de controle biológico pode ser realizada via água de irrigação.

No caso de microrganismos associados às raízes de plantas, a inibição contra a ação de fitopatógenos pode se dar pela promoção de crescimento ou pela indução de resistência. No primeiro caso, a produção de fitoreguladores que promovam o melhor desenvolvimento das plantas pode acabar, por consequência, tornando-as mais tolerantes ao processo infeccioso, reduzindo os danos. No segundo caso, há sinalização à planta pelos microrganismos benéficos de modo a ativar mecanismos de defesa da planta, que irão atuar na resistência contra fitopatógenos. Em ambos os casos, as aplicações também podem ser aéreas via pulverização foliar, uma vez que o sinal, seja para o estímulo ao desenvolvimento ou para ativação dos mecanismos de defesa, pode ser percebido por órgãos da parte aérea (PIETERSE et al., 2009).

Quando o modo de ação do antagonista sobre o patógeno se dá pela relação de predação ou hiperparasitismo, o próprio patógeno passa a ser o alvo biológico. Assim a aplicação pode ser feita tanto em associação com a planta como focando apenas na inviabilização de estruturas do patógeno. Um exemplo clássico é o parasitismo de escleródios de *Sclerotinia sclerotiorum* por isolados de *Trichoderma* spp. (JULIATTI et al., 2019). Haja vista que o alvo biológico são os escleródios do patógeno, a aplicação de formulações a base de *Trichoderma* spp. deve visar a deposição de conídios próximo destas estruturas. Por se tratar de um patógeno causador de podridão de ramos, a formação dos escleródios se dá acima da superfície do solo. Sendo assim, aplicações por meio de pulverização será mais eficiente em atingir o alvo. Deve-se então buscar um momento de aplicação onde os escleródios estejam mais expostos, geralmente após a colheita.

No caso de nematoides e fungos causadores de podridões de raiz, o inóculo está disperso no interior do solo, geralmente em maior concentração na camada mais superficial entre 0 e 10 cm. A aplicação de antagonistas cujo modo de ação seja a predação ou parasitismo via tratamento de sementes pode resultar em uma pequena faixa de proteção. Entretanto, à medida que a raiz se desenvolve e explora o solo, ela se distancia desta faixa de proteção e pode encontrar propágulos de fitopatógenos, sendo então infectada. Neste caso, a aplicação em sulco de plantio é mais adequada, uma vez que forma uma faixa de proteção maior (SANTOS, 2021).

#### 4. COMPATIBILIDADE ENTRE PRODUTOS BIOLÓGICOS E OUTROS MÉTODOS DE CONTROLE

Ao optar por ferramentas de controle biológico no manejo de doenças de plantas, a ideia é que estas estejam integradas a outras medidas de controle. De maneira geral, não há problemas de compatibilidade com a maioria dos métodos, como a resistência genética e métodos culturais. Em alguns casos, práticas de cultivo como plantas de cobertura, adubação orgânica e manejo de irrigação podem auxiliar no estabelecimento de microrganismos antagonistas. Mas, o maior desafio é a compatibilidade com produtos químicos, principalmente quando ambos compartilham a mesma calda de aplicação.

Quando os antagonistas são bactérias, maior risco de incompatibilidade ocorre em mistura entre este grupo de microrganismos e ativos com ação antimicrobiana, com antibióticos e produtos a base de cobre. Os primeiros são pouco utilizados e a maior preocupação existe em relação à mistura com cúpricos. No caso do uso de *Bacillus* spp., tem-se a vantagem de que os esporos apresentam alta resistência à agentes químicos (DRIKS, 1999). ABBASI & WESELOWSKI (2015) observaram sinergismos entre a mistura de *B. subtilis* QST 713 e hidróxido de cobre no controle da mancha bacteriana do tomateiro, indicando haver compatibilidade entre os produtos. Para bactérias não formadora de esporos é necessário maior cuidado. Halfeld-Vieira & Santos (2018) observaram incompatibilidade entre um isolado de *Azospirillum amazonense* à químicos (fipronil, azoxistrobina, ciproconazol e piraclostrobina).

No caso do uso de produtos biológicos à base de fungos, os riscos de incompatibilidade são maiores, uma vez que são muitos os ativos e em quase todas as aplicações de produtos fitossanitários dentro de um ciclo de cultivo há a presença de um ou mais ativos. Pensando-se em tratamento de sementes, pode ser uma alternativa a separação deste em dois momentos, sendo um destinado à distribuição dos químicos e outro para aplicação do produto biológico. Haja vista o aumento do tratamento industrial de sementes, esta prática é viável, podendo o produtor realizar a aplicação do biológico na fazenda, próximo do plantio. Porém, quando da aplicação do químico e biológico juntos, é necessário cuidado. Alguns ativos tradicionalmente utilizados no tratamento de sementes, como difenoconazol, fluazinam, iprodiona e tiabendazol são incompatíveis (DALACOSTA et al., 2019).

Para diferentes agentes de controle biológico e diferentes isolados, os resultados quanto à compatibilidade aos químicos podem ser variáveis. Desta forma, é importante que antes de

utilizar determinado produto biológico, seja realizada uma consulta a empresa que comercializa o produto para obter informações de produtos químicos compatíveis com o mesmo. Na mistura de calda com químicos, recomenda-se adicionar os produtos biológicos por último, a fim de reduzir o tempo de contato e aplicar rapidamente após o preparo da mistura.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de produtos biológicos constitui ferramenta importante no manejo integrado de doenças de plantas e sua eficiência é inquestionável. Entretanto, é fundamental conhecer o modo de ação dos agentes de controle biológico para definir seu melhor posicionamento. A compatibilidade destes produtos com produtos químicos deve ser sempre avaliada em função de cada produto/isolado.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASI, P. A.; WESELOWSKI, B. Efficacy of *Bacillus subtilis* QST 713 formulations, copper hydroxide, and their tank mixes on bacterial spot of tomato. **Crop Protection**, v. 74, p. 70-76, 2015.

BAIS H. P.; WEIR, T. L.; PERRY, L. G.; GILROY, S.; VIVANCO, J. M. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. **Annual Review of Plant Biology**, v. 57, p. 233-266, 2006.

BALOGH, B.; JONES, J. B.; MOMOL, M. T.; OLSON, S. M.; OBRADOVIC, A.; KING, P.; JACKSON, L. E. Improved efficacy of newly formulated bacteriophages for management of bacterial spot on tomato. **Plant Diseases**, v. 87, p. 949-954, 2003.

BERNINGER, T.; GONZÁLEZ, L. Ó.; BEJARANO, A.; PREININGER, C.; SESSITSCH, A. Maintenance and assessment of cell viability in formulation of non-sporulating bacterial inoculants. **Microbial Biotechnology**, v. 11, p. 277-301, 2018.

CHOWDHURY, S. P.; UHL, J.; GROSCH, R.; ALQUÉRES, S.; PITTROFF, S.; DIETEL, K.; SCHMITT-KOPPLIN, P.; BORRISS, R.; HARTMANN, A. Cyclic lipopeptides of *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* colonizing the lettuce rhizosphere enhance plant defense

responses toward the bottom rot pathogen *Rhizoctonia solani*. **Molecular Plant Microbe Interaction**, v. 28, p. 984-95, 2015.

DALACOSTA, N. L.; FURLAN, S. H.; MAZARO, S. M. Compatibilidade de produtos à base de *Trichoderma* com fungicidas utilizados no tratamento de sementes. In: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. (Org.). **Trichoderma: uso na agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 323-338

DRIKS, A. *Bacillus subtilis* spore coat. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 63, 1999.

HALFELD-VIEIRA, B. A.; SANTOS, M. S. Compatibilidade entre ativos biológicos bacterianos e agroquímicos utilizados na produção de mudas de cana-de-açúcar. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Meio Ambiente**, v. 77, p. 1-27, 2018.

HALFELD-VIEIRA, B. A.; SILVA, W. L. M.; SCHURT, D. A.; ISHIDA, A. K. N.; SOUZA, G. R.; NECHET, K. L. Understanding the mechanism of biological control of passionfruit bacterial blight promoted by autochthonous phylloplane bacteria. **Biological Control**, v. 80, p. 40-49, 2015.

HE, D. C.; HE, M. H.; AMALIN, D. M.; LIU, W.; ALVINDIA, D. G.; ZHAN, J. Biological control of plant diseases: an evolutionary and eco-economic consideration. **Pathogens**, v. 10, p. 1311, 2021.

JULIATTI, F. C.; REZENDE, A. A.; JULIATTI, B. C. M.; MORAIS, T. P. *Trichoderma* as a biocontrol agent against Sclerotinia stem rot or white mold on soybeans in Brazil: usage and technology. In: Shah, M. M.; Sharif, U.; Buhari, T. R. (Org.). **Trichoderma - the most widely used fungicide**. London: IntechOpen, 2019.

KOBORI, N. N.; MASCARIN, G. M.; JACKSON, M. A.; SCHISLER, D. A. Liquid culture production of microsclerotia and submerged conidia by *Trichoderma harzianum* active against damping-off disease caused by *Rhizoctonia solani*. **Fungal Biology**, v. 119, 2015

PIETERSE, C.; LEON-REYES, A.; VAN DER ENT, S.; VAN WEES, S. Networking by small-molecule hormones in plant immunity. **Nature Chemical Biology**, v. 5, p. 308-16, 2009.

SANTOS, M. L. M. Aplicação de biológicos no sulco de plantio. **Campo & Negócios**, out. 2021.

SHAFI, J.; TIAN, H.; JI, M. *Bacillus* species as versatile weapons for plant pathogens: a review. **Biotechnology & Biotechnological Equipment**, v. 31, p. 446-459, 2017.

ZACCARDELLI, M.; SACCARDI, A.; GAMBIN, E.; MAZZUCCHI, U. *Xanthomonas campestris* pv. *pruni* bacteriophages on peach trees and their potential use for biological control. **Phytopathological Mediterranea**, v. 31, p. 133-140, 1992.

## CAPÍTULO 8

### **DIAGNÓSTICO E MANEJO DE NEMATOIDES EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE GRÃOS**

*Pedro Luiz Martins Soares<sup>1</sup>, Daniel Dalvan do Nascimento<sup>2</sup>, Edicleide Macedo da Silva<sup>3</sup>,  
Gabriela Lara Leite Alcalde<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Departamento de Ciências da Produção Agrícola (Fitossanidade), LabNema (Laboratório de Nematologia), Câmpus de Jaboticabal, SP. E-mail: pedro.soares@unesp.br

<sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Departamento de Ciências da Produção Agrícola (Fitossanidade), LabNema (Laboratório de Nematologia), Câmpus de Jaboticabal, SP. E-mail: dalvan.nascimento@unesp.br

<sup>3</sup>Instituto Nacional do Semi-Árido (INSA), Campina Grande, PB. E-mail: edicleide.c.c@gmail.com

<sup>4</sup>CYGNU Agro Ciência LTDA. Pompéia, SP. E-mail: E-mail. gabialcaldee@gmail.com

#### **1. INTRODUÇÃO**

A produção brasileira de grãos tem batido recordes nos últimos anos, muito disso se deve à expansão de novas fronteiras agrícolas, principalmente nas regiões centrais do Brasil, além da utilização de técnicas e tecnologias que aumentam a produtividade. Uma grande diversidade de plantas encontra no Cerrado condições ambientais ideais para o seu desenvolvimento ao longo de todo o ano ou em um período do ano. O cultivo de grãos como soja, milho e feijão é favorecido por essas condições, o que torna esses grãos os mais produzidos no Brasil. No entanto, condições ambientais de umidade e temperatura ideais somadas aos cultivos intensivos de uma mesma cultura, tornam o cenário ideal para o estabelecimento de problemas fitossanitários, que tem causado perdas significativas na produtividade. Dentre os diversos agentes fitogênicos, os nematoides têm ganhado cada vez mais destaque, devido à agressividade, danos e a dificuldade de manejo.

Nematoides são vermes que habitam o solo e parasitam, na maioria dos casos, o sistema radicular das plantas. A infecção por nematoides nas raízes resulta no comprometimento da circulação de seivas, formando plantas menos desenvolvidas e algumas vezes cloróticas, com queda na produção. Esses sintomas são comumente confundidos com a deficiência nutricional, o que resulta em diagnósticos equivocados e erros no planejamento de manejo. Além disso, nematoides são um problema crônico, ou seja, uma vez infestado na área não há como erradicá-los. No entanto, o diagnóstico com precisão, seguido da aplicação de práticas eficientes de manejo para o controle de nematoides, são fundamentais para reduzir a infestação das áreas e aumentar a produtividade e rentabilidade das culturas de forma sustentável.

## 2. DIAGNOSE DAS PRINCIPAIS ESPÉCIES DE NEMATOIDES

### 2.1. Diagnose e identificação

Várias espécies de nematoides são consideradas de grande importância para o cultivo de grãos no Brasil, porém algumas espécies merecem destaque principalmente pela agressividade dos danos, potencial biótico, diversidade de hospedeiros e frequência de ocorrência. Dentre as espécies mais importantes, destacam-se, os nematoides de galha, *Meloidogyne incognita* e *M. javanica*; os nematoides das lesões radiculares, *Pratylenchus brachyurus* e *Pratylenchus zaeae*; o nematoide de cisto da soja, *Heterodera glycines*; o nematoide reniforme, *Rotylenchulus reniformis* e o nematoide da haste verde, *Aphelenchoides besseyi*.

As espécies de *Meloidogyne*, conhecido como os nematoides de galha, são consideradas as espécies de nematoides de maior importância no mundo. Sua importância deve-se principalmente a severidade dos danos causados às plantas pela formação de galhas nas raízes. Além da presença de galhas radiculares, as plantas apresentam porte reduzido, em geral, cloróticas, assim como outros sintomas e são mais sensíveis aos estresses hídricos, com os sintomas se manifestando em reboleiras, além de redução na produtividade.

Os nematoides das lesões radiculares, *Pratylenchus* spp., são um problema sério na região do Cerrado brasileiro, principalmente por estarem disseminados nas diferentes áreas cultivadas. Projeções apontam que esses nematoides estão presentes em mais de 60% das áreas de soja no Cerrado, podendo chegar a até 81% até 2035 (BLINK, 2022). Os nematoides das lesões radiculares são endoparasitas migradores, o que resulta na morte das células as quais se alimentam, refletindo em sintomas de lesões e necroses nas raízes. O sintoma nas plantas é

caracterizado por plantas menores que também se manifestam em reboleiras, porém, são pouco definidas ao longo do talhão. A espécie de maior importância é *P. brachyurus* que parasita uma grande diversidade de hospedeiros, ao contrário de *P. zae* que é frequente apenas nas Poaceas, como milho, sorgo, cana de açúcar, entre outras culturas.

O nematoide de cisto da soja, *Heterodera glycines*, é o nematoide mais importante para a cultura da soja, pela agressividade dos danos e dificuldade de controle. Embora também possa multiplicar em algumas Fabaceas, como o feijão, seu dano é pouco significativo nesse hospedeiro, contudo, ajuda a manter população ativa na área. As plantas também apresentam reboleiras bem definidas, com o nanismo amarelo da soja. As fêmeas de *H. glycines* são facilmente visualizadas nas raízes de soja, no campo. No local de alimentação e parasitismo das fêmeas, são formadas necroses no sistema radicular, semelhante aos sintomas provocados por outras espécies de nematoides de importância econômica, podendo levar a diagnoses erradas. A formação do cisto, estrutura de resistência formada a partir da fêmea que morre guardando e protegendo os ovos em seu interior, é a principal característica desse nematoide. O cisto pode manter os ovos viáveis por até oito anos no solo, o que torna esse nematoide um dos mais difíceis de manejar.

Outros nematoides que também vem se tornando problema para os produtores de soja, principalmente em áreas sucedidas pela cotonicultura são, o nematoide reniforme, *Rotylenchulus reniformis* e o causador da haste verde da soja *Aphelenchoides besseyi*, esse último mais recente. *R. reniformis*, diferentemente de outras espécies de nematoides não apresenta sintomas típicos nas raízes, tampouco fáceis de serem visualizados no sistema radicular. A ocorrência desses nematoides, juntamente com os danos e sintomas na parte aérea da planta costumam ser bastante correlacionados a solos mais argilosos e de boa fertilidade. Já *A. besseyi* é um nematoide que tem causado sérios problemas nas regiões mais úmidas, como ao norte dos estados MT e TO e estado do PA.

O nematoide da haste verde, diferentemente dos outros nematoides afeta a parte aérea das plantas, principalmente regiões meristemáticas como brotações e, também, estruturas reprodutivas. As plantas infestadas apresentam folhas enrugadas, com um verde intenso e engrossamentos dos nós, às vezes com necroses nas vagens, além de atraso ou não ocorrência do processo natural de senescência das plantas.

## 2.2. Agricultura de precisão

A Agricultura Convencional trata a terra como um todo, de forma homogênea, não levando em consideração a enorme variabilidade que possa existir em uma mesma propriedade. Atualmente, o desenvolvimento de tecnologias, principalmente em máquinas, implementos e computação, permite tomadas de decisões mais precisas e específicas na lavoura. Segundo Molin (2002), a Agricultura de Precisão pode ser definida como um sistema de gestão ou gerenciamento da produção agrícola, que utiliza um complexo de tecnologias e técnicas para otimizar os sistemas de produção, dispondo do princípio do entendimento e manejo da variabilidade da produção e das variáveis envolvidas. O objetivo da Agricultura de Precisão é tornar possível, a partir do estudo da variabilidade da área, um manejo mais assertivo. Assim dizendo, a Agricultura de Precisão permite que as operações sejam planejadas especificamente para cada necessidade, aplicando produtos no local correto, na quantidade necessária e no momento ideal.

Juntamente com a Agricultura de Precisão, faz-se o uso do Sensoriamento Remoto, onde dados da superfície da terra são coletados, sem contato direto com o objeto de interesse, através de sensores e frequências de ondas eletromagnéticas. Ademais, a partir do estudo destes dados e das imagens coletadas, é possível calcular índices de vegetação, o que facilita o monitoramento agrícola. Os Índices de Vegetação são modelos matemáticos, ou algoritmos, que avaliam e caracterizam a cobertura vegetal, de acordo com a sua reflectância, ou seja, a capacidade de refletir a luz solar. Estes índices são utilizados para interpretar fatores da vegetação, como o desenvolvimento, densidade da vegetação, deficiência de nutrientes, ocorrência de nematoides, pragas e doenças, entre outros. Sendo assim, a adoção do Sensoriamento Remoto, tornou-se indispensável no monitoramento das lavouras, basicamente por facilitar o acompanhamento, o desenvolvimento da cultura, estimativa de produtividade, localização da área e, é muito utilizado na identificação de áreas infestadas por nematoides, pragas e doenças, facilitando o diagnóstico e direcionando os pontos de atenção para inspeções de campo.

A manifestação dos nematoides ocorre na forma de reboleiras, caracterizando um dos principais sintomas e uma distribuição agregada ou contagiosa. Ademais, os nematoides possuem baixa capacidade de mobilidade no solo, ou seja, não se movimentam a longas distâncias sem ajuda de agentes disseminadores, e, portanto, podem demorar algumas safras para apresentar prejuízos econômicos ainda maiores. Contudo, dependendo do sistema de produção, práticas de

manejo utilizadas, espécie do nematoide, entre outros fatores, essa situação pode ser totalmente diferente. Deste modo, os sintomas se mantêm na mesma posição entre as safras, comprovando que existe ocorrência naquela área (OTOBONI, 2018).

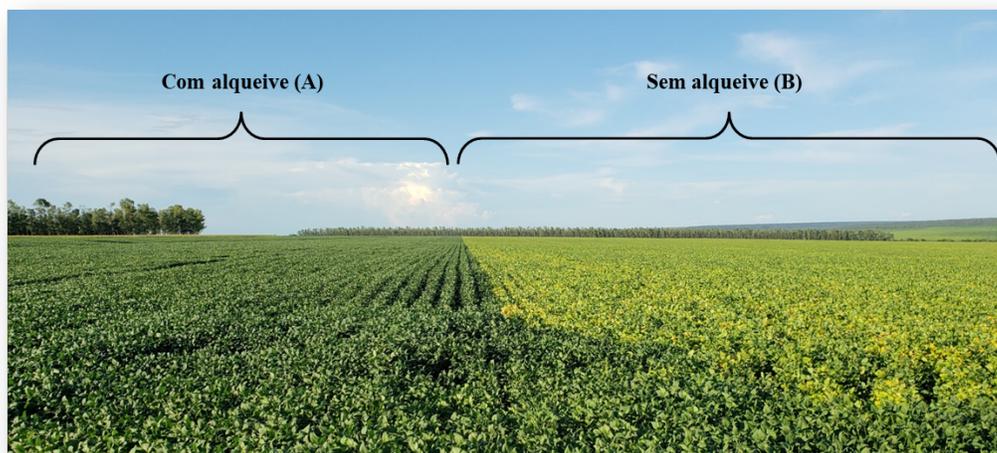
Além de facilitar a identificação da presença de nematoides nas áreas, o Sensoriamento Remoto torna o processo de amostragem e estimativa do nível de infestação mais econômica, principalmente em áreas mais extensas, já que para estimar a população desse patógeno, com precisão, a amostragem convencional torna-se onerosa e demorada. Segundo Hillnhunter et al. (2011), a Agricultura de Precisão leva em consideração a frequência, a disseminação e a expressividade de um fator que possa causar perdas na produtividade, identificando e planejando ações mais assertivas para controle.

Nesse cenário, equipamentos e metodologias foram desenvolvidos para aplicação localizada de insumos no sulco do plantio, ou seja, após identificada a presença de nematoide na área a partir das imagens e dos índices de vegetação, um mapa é gerado de acordo com as necessidades e o equipamento aplica o produto somente no local definido, de forma automática.

### **3. MANEJO CULTURAL**

#### **3.1. Alqueive, destruição das raízes e manejo do solo**

O emprego da técnica do alqueive consiste em deixar a área livre de plantas, sem nenhum tipo de vegetação, sejam elas plantas daninhas ou cultura principal. Para a execução desse método, podem ser utilizados gradagens, arações ou até mesmo a aplicação de herbicidas. A eficiência do método está associada dentre outras coisas, à umidade do solo e ao seu revolvimento periódico, aliado também, a temperatura e a ausência de plantas na área (Figura 1).



**Figura 1.** Lavoura de soja mais verde e desenvolvida, devido a utilização antes do plantio do alqueive mecânico (A), visando a destruição das raízes da cultura anterior, assim como a dessecação do solo e redução da alta infestação de *Pratylenchus brachyurus*, comparada a uma área sem alqueive (B). Adaptado de Soares & Nascimento (2021).

Quando todos esses fatores são associados, pode ocorrer a morte dos nematoides, por um processo chamado inanição. Este ocorre, pois, a umidade presente no solo, permite a eclosão de ovos, com conseguinte deslocamento dos juvenis. A movimentação dos nematoides no solo faz com que estes gastem suas reservas, com conseguinte morte, já que estes ficam sem alimentos. A eficiência da utilização do método varia entre 50 e 90% (MUELLER et al., 2012), podendo sofrer influência de fatores como temperatura, espécie de nematoide e umidade do solo. A utilização do alqueive mecânico pode reduzir em até 60% na população dos nematoides, como o *Pratylenchus brachyurus* em soja comparado ao alqueive químico (DEBIASI et al., 2016).

Os pontos do método que precisam de atenção é o custo em manter o solo sempre limpo. Além do mais, a utilização de grades e arados, pode contribuir para a disseminação de nematoides na mesma e para outras áreas. Outro ponto está relacionado à eficiência do método em algumas espécies, como é o caso da *Heterodera glycines*, que tem a capacidade de sobrevivência no cisto, no solo por vários anos. A suposição é que este método pode ter menor eficiência, uma vez que o cisto é uma estrutura de proteção dos ovos das condições adversas de alta temperatura, dessecação, falta de umidade, entre outras.

### 3.2. Sucessão e/ou rotação de culturas

A rotação/sucessão de culturas é um método amplamente utilizado para redução das populações de nematoides, permitindo a quebra do seu ciclo. Para que a aplicação do sistema seja eficiente é importante escolher culturas não hospedeiras ou resistentes. Dois pontos merecem destaque na hora da escolha das culturas. O primeiro está associado à resistência, onde devido à presença de genes que conferem resistência às espécies de nematoides, a cultura não multiplica e apresenta o FR (fator de reprodução)  $\leq 1$  ou será imune (FR=0). O segundo ponto, diz respeito à escolha de culturas, que possam ser utilizadas como culturas de cobertura, forrageiras ou até mesmo comercializadas como culturas comerciais, trazendo renda aos agricultores.

Para a cultura da soja podem ser utilizados como sucessão aveia preta, nabo e *Brachiaria ruziziensis*, considerando o nematoide de cisto (*H. glycines*). No entanto, é comum no Brasil, a utilização da cultura do milho como sucessão a cultura da soja. Nesse sistema é importante lembrar, que o milho também é hospedeiro de *Pratylenchus* spp. e *Meloidogyne* spp. No caso do feijão comum, as espécies de *H. glycines*, *M. javanica*, *M. incognita*, *R. reniformis* e *P. brachyurus*, tem ampla ocorrência e distribuição. Para áreas com ocorrência dessas espécies é importante escolher culturas em sucessão que não multiplique ou que tenha baixo FR, associando a resistência a outros métodos, os produtos biológicos, químicos, entre outros.

O uso de culturas de cobertura são excelentes aliadas ao manejo de nematoides (Figura 2). Nesse caso, podemos fazer uso daquelas culturas que são resistentes ou não hospedeiras, não permitindo que os nematoides completem seu ciclo de vida ou que multiplique os nematoides em baixos níveis populacionais. A utilização desse método permite ainda a melhoria nas condições biológicas, físicas e/ou químicas do solo em decorrência da cobertura do mesmo (TORRES et al., 2017).

Dentre as principais culturas que podem ser usadas, citam-se os grupos das Fabaceae, incluindo as crotalárias (*Crotalaria spectabilis*, *C. breviflora* e *C. ochroleuca*), estilósantes (*Stylosanthes macrocephala*) e Mucuna preta (*Mucuna pruriens*), o grupo das Brassicáceas, a *B. nigra* (mostarda preta) e *B. juncea* (mostarda castanha) e o grupo das Poaceae (*Urochloa ruziziensis*, *U. brizantha*, *U. decumbens*, *U. humidicola* e espécies de *Panicum*).

No caso do grupo das crotalárias a supressão dos nematoides ocorre, pois, estas plantas liberam o alcaloide monocrotalina, que inibe a movimentação dos juvenis. Para essa cultura é recomendando o seu cultivo até o início da floração da cultura ou ao menos por 30 dias, podendo

posteriormente realizar a incorporação da massa verde ao solo. A mucuna preta produz uma substância chamada de L-Dopa, com efeito nematicida. Nas Brássicas, a presença de metabólitos secundários, conhecidos como glucosinolatos, apresentam ação tóxica aos nematoides, quando a massa verde é incorporada ao solo.

As espécies de *Urochloa* desempenham papel importante no sistema de produção, desde o seu papel como forrageira até a melhoria na estrutura do solo. Dessa forma, embora algumas espécies de *Urochloa* possam ser utilizadas como planta de cobertura é importante mencionar, que algumas são multiplicadoras de *P. brachyurus* e *P. zae*. Porém, em situações de baixa população, mesmo multiplicando essas espécies, os benefícios que a braquiária deixa no solo, como matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, melhoria na estrutura biológica, física e química, compensam a suscetibilidade da cultura, aumentando o rendimento da cultura sucessora. A braquiária também é uma excelente opção para o manejo do nematoide de cisto (*Heterodera glycines*), nematoides de galha (*Meloidogyne* spp.), nematoide reniforme (*Rotylenchulus reniformis*) e o nematoide da haste verde (*Aphelenchoides besseyi*), entre outros.



**Figura 2.** A) Lavoura de soja mais verde e desenvolvida devido a utilização de *Panicum maximum* antes do plantio (a), em áreas com alta infestação de *Heterodera glycines* e *Meloidogyne javanica* comparada ao controle (b). B) Lavouras de soja mais verdes e desenvolvida devido a utilização de *Urochloa ruziziensis* antes do plantio (c), em áreas com alta infestação de *Heterodera glycines* e *Meloidogyne javanica*, comparadas ao controle (d). C) Lavoura de soja mais verde e desenvolvida devido à utilização de *Crotalaria spectabilis* por 30

dias antes do plantio (e) em relação ao controle (f), em área com alta infestação de *Heterodera glycines* e *Pratylenchus brachyurus*. Adaptado de Soares & Nascimento (2021).

### 3.3. Cultivares resistentes

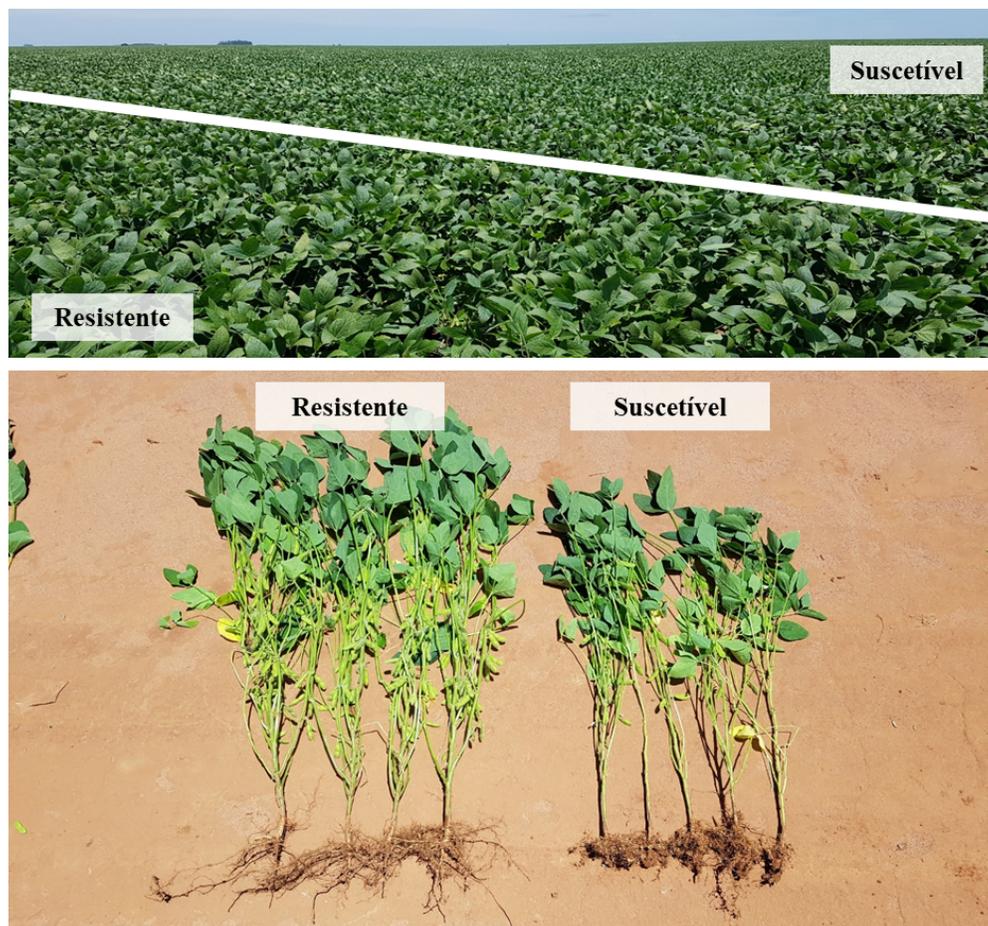
A resistência genética de plantas a nematoides é importante método para redução dos níveis populacionais. Uma vez identificada a fonte de resistência a uma ou mais espécie de nematoide, essa servirá de base para utilização nos futuros programas de melhoramento genético da cultura. Após a identificação do genótipo resistente, o próximo passo, é determinar o controle genético da característica, ou seja, determinar o número de genes que controlam o caráter.

Em áreas com alta infestação de nematoides, o uso de cultivares resistentes, apresentam algumas vantagens em relação às cultivares suscetíveis, como produção mais elevada. Além disso, pode ser observada melhoria nas características do solo, contribuindo para o restabelecimento do equilíbrio da biota, associado à redução da população do nematoide (SOARES & NASCIMENTO, 2021). Por exemplo, as cultivares suscetíveis plantadas em uma área com alta infestação de *H. glycines*, apresentaram médias de 46-57 sacos de soja/ha e as com resistência a pelo menos uma raça da referida espécie, apresentaram médias de 66-82 sacos de soja/ha, representando ganhos de 9 até 36 sacos de soja/ha, em relação as cultivares suscetíveis.

Em área com alta infestação de nematoides de galha (*Meloidogyne incognita* e *M. javanica*), a cultivar resistente produziu mais de 70% do que a suscetível, além de reduzir drasticamente a infecção das raízes e infestação na área (Figura 3). A cultivar resistente a *M. incognita* e/ou *M. javanica* pode multiplicar cerca de 10-30% da população presente na área e a que tem resistência a *H. glycines* em torno de 10%, em geral, elas não são imunes e ainda vão manter parte da população na área. A grande maioria não apresenta resistência a todas as espécies e raças de nematoides, pelo contrário, é apenas a uma ou algumas espécies ou raças, portanto, outras práticas de manejo devem ser sempre adotadas associadas a esta, com o objetivo de reduzir as populações de nematoides (SOARES & NASCIMENTO, 2021).

Um dos gargalos na obtenção de cultivares resistentes é a ocorrência em alguns casos de raças fisiológicas. Um exemplo claro é o que ocorre com o nematoide de cisto da soja (NCS). Este nematoide apresenta as raças 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 14, além da 4+, e 14+, encontradas em território brasileiro. Em decorrência do surgimento de novas raças na área, a manutenção da resistência genética é afetada, podendo ocorrer a "quebra", o que acarreta baixo desempenho

produtivo das cultivares. Além do milho, a soja, apresenta base genética “estrita”, pois as variedades comerciais que expressam resistência ao NCS são na sua grande maioria, em torno de (90%) derivados de três acessos (PI); PI 88788, PI 209332 e Pequim. Também, destaca-se a dificuldade em se obter genótipos resistentes de soja a *P. brachyurus*. A dificuldade pode estar relacionada ao hábito de parasitismo desse nematoide (endoparasita migrador), o que dificulta o estabelecimento de um local fixo, já que estes se movimentam por todo o tecido cortical do hospedeiro.



**Figura 3.** Cultivar de soja resistente com plantas maiores, mais vagens e sem galhas nas raízes e cultivar suscetível com plantas menores, menos vagens e muitas galhas nas raízes, em área com alta infestação de *Meloidogyne incognita* e *M. javanica*. A produtividade da soja resistente foi mais de 70% em relação a suscetível.

No Brasil, estão disponíveis no mercado cultivares de soja resistentes a *M. incognita* e/ou *M. javanica*, *R. reniformis* e a uma ou até várias raças de *H. glycines*. Não existe cultivares

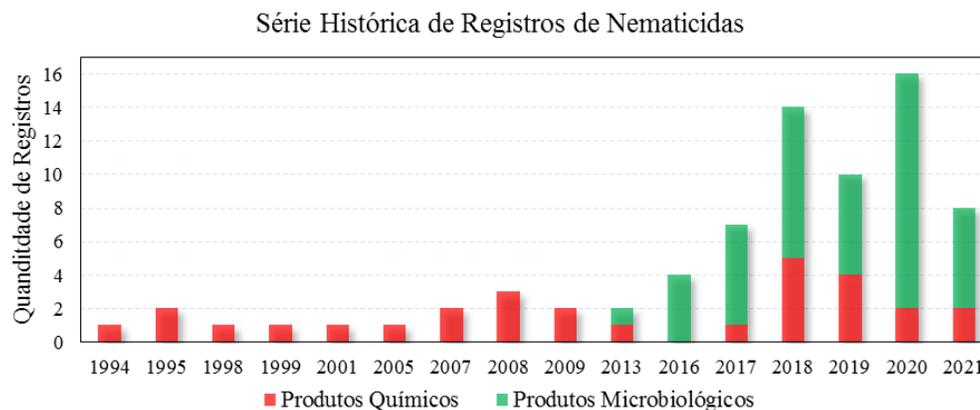
resistentes a *P. brachyurus*, apenas tolerantes ou que multiplicam menos (baixo FR = fator de reprodução) a referida espécie.

Existem muitas perguntas a serem respondidas em relação à interação planta-nematoide, especialmente, àquelas relacionadas aos mecanismos de resistência, incluindo os compostos químicos. Com a utilização das ferramentas da biologia molecular é possível ter avanços na resistência de plantas a nematoides. A seleção assistida por marcadores (SAM), usada para a melhoria da resistência do nematoide do cisto da soja, tem proporcionado ganhos significativos nos programas de melhoramento genético da soja (ARELLI et al., 2010; SANTANA et al., 2014; HAN et al., 2015) e do feijão (SHI et al., 2021).

#### **4. PRODUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS**

O uso de nematicidas químicos e biológicos constitui atualmente uma das mais importantes ferramentas de manejo para o agricultor, devido principalmente a sua facilidade de aplicação e o sistema de produção predominante de soja-milho. O seu uso no ato da semeadura tem sido cada vez mais adotado pelos agricultores e vem se mostrando eficiente na redução dos danos ocasionados pelos nematoides, com ganhos médios que vão de dois ou mais sacos/ha, na soja e/ou no milho.

O uso destes produtos apresenta grande potencial de aumento na produtividade, quando utilizados em ambas as culturas do sistema soja-milho, refletindo em menor população de nematoides e maior equilíbrio no solo. O agravamento dos problemas ocasionados por nematoides aliados ao aumento da aceitação do produtor pela adoção de nematicidas tem resultado em um aumento significativo de novos registros desse tipo de produto nos últimos anos, especialmente os de origem natural, a base de inimigos naturais, conhecidos como bionematicidas, como pode ser observado na Figura 4.



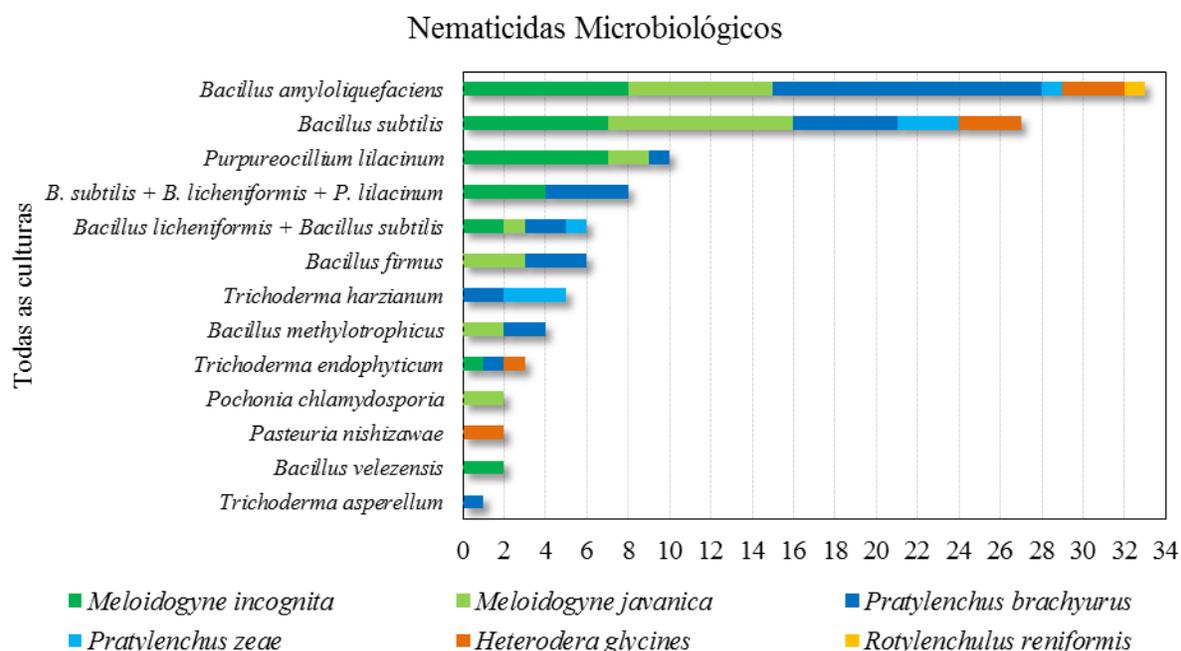
**Figura 4.** Série histórica de registros de produtos químicos e biológicos para o controle de nematoides. Fonte: Agrofít (2022).

#### 4.1. Nematicidas biológicos

A demanda mundial por produtos menos nocivos ao homem e ao meio ambiente somada a dificuldade do descobrimento de novas moléculas tem refletido no desenvolvimento acelerado de produtos de origem natural para o controle de nematoides. O primeiro produto a base de microrganismos para o controle de nematoides registrado no Brasil ocorreu em 2013, e hoje os bionematicidas correspondem a 61% de todos os produtos para o controle de nematoides (AGROFIT, 2022). Além disso, produtos biológicos tem se mostrado altamente competitivos comparados aos químicos, uma vez que ajudam na supressão das populações dos nematoides e garantem maiores rendimentos na produtividade. Os maiores rendimentos podem estar relacionados a uma série de fatores e características específicas para cada microrganismo.

Atualmente, conta-se com 54 produtos formulados a base de microrganismos para o controle de nematoides. Entretanto, ainda é pouca a diversidade de espécies antagonistas registradas, sendo apenas 12 diferentes espécies (Figura 5), dentre elas, cinco espécies de fungos (*Trichoderma asperellum*, *T. endophyticum*, *T. harzianum*, *Pochonia chlamydosporia* e *Purpureocillium lilacinum* syn = *Paecilomyces lilacinus*) e sete bactérias, sendo uma espécie de *Pasteuria* (*Pasteuria nishizawae*) e seis espécies de *Bacillus* (*B. amyloliquefaciens*, *B. subtilis*, *B. firmus*, *B. licheniformis*, *B. methylotrophicus* e *B. velezensis*). Também, há produtos que apresentam mais de uma espécie em sua composição, o que é interessante, pois aumenta as chances de sucesso devido a inclusão de mais de um mecanismo de ação no mesmo produto. Do

total de produtos, cerca de 67%, são compostos por ao menos uma espécie de *Bacillus*, o que torna esse grupo de bactérias a mais utilizada no biocontrole.



**Figura 5.** Nematicidas microbiológicos registrados para *Meloidogyne javanica*, *M. incognita*, *Pratylenchus brachyurus*, *P. zeae* e *Heterodera glycines* para todas as culturas. Fonte: Agrofit (2022).

As espécies de *Bacillus* são consideradas bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP). A capacidade de promover o crescimento vegetal está ligado a uma série de características que podem ser encontradas nas diferentes espécies e isolados, dentre elas, a disponibilização de nutrientes como ferro (F) pela produção de sideróforos, solubilização de fósforo (P) e fixação de nitrogênio (N) são as mais comuns (MILJAKOVIĆ et al., 2020; RADHAKRISHNAN et al., 2017). Além disso, essas bactérias são importantes produtoras de fitormônios ou reguladores de crescimento de plantas, como auxinas, citocininas, giberelinas, etileno e ácido abscísico (MILJAKOVIĆ et al., 2020; RADHAKRISHNAN et al., 2017). Todas essas características favorecem um maior desenvolvimento do sistema radicular, resultando em uma planta mais saudável e desenvolvida que, conseqüentemente, possibilita que a planta tolere melhor a presença e danos de nematoides.

As espécies de *Bacillus*, além de promoverem o crescimento vegetal, também possuem diversas características que podem suprimir e/ou ajudar a planta a tolerar o impacto de nematoides, seja de forma indireta ou direta. As formas diretas de supressão estão ligadas a indução de tolerância/resistência, principalmente pela produção de fitormônios. Já a forma de supressão direta, pode ser devido a produção de compostos antagonistas, que vão desde a síntese de antibióticos, como diversos tipos de peptídeos, lipopeptídeos e policetídeos, à produção de enzimas líticas, como quitinases, quitosanases, glucanases, celulases, lipases e proteases (MILJAKOVIĆ et al., 2020). Além disso, são preferidas para comercialização por sua capacidade de secretar vários metabólitos bioativos, produzir endósporos extremamente tolerantes e crescer rapidamente em diferentes meios. Entretanto, essas características variam entre espécies e cepas, sendo raramente encontradas em um mesmo isolado. Por isso, utilizar cepas de procedência e de produtos registrados, garantem maiores chances de sucesso no controle.

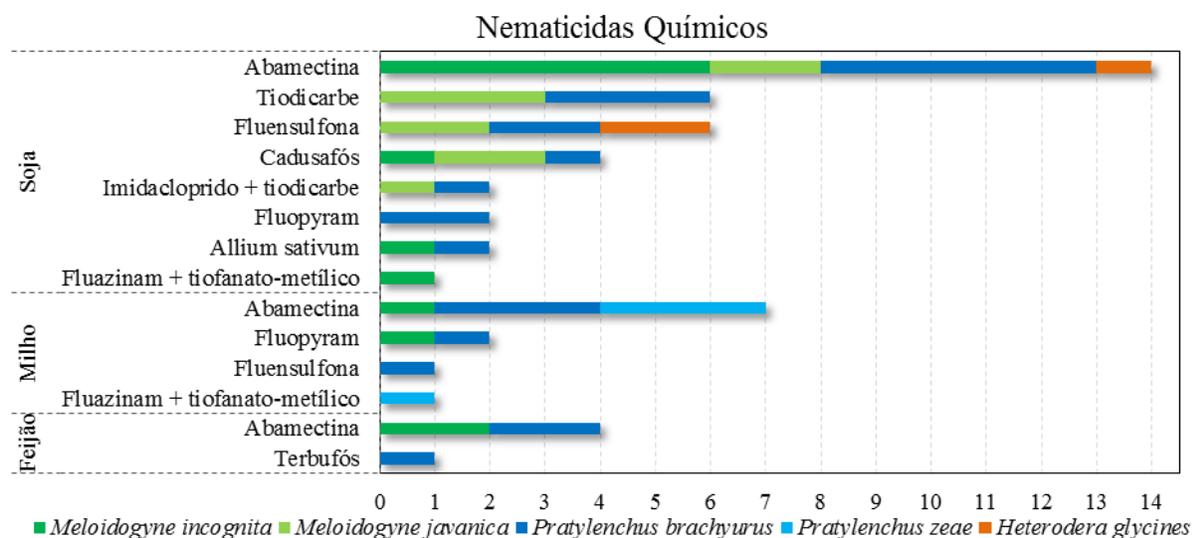
Os fungos, por sua vez, embora sejam mais difíceis de serem produzidos, quando comparados as espécies de *Bacillus*, também possuem características únicas de controle, pois podem parasitar ou preda diretamente os nematoides (FRANCISCO et al., 2021). A grande maioria desses fungos, incluindo espécies de *Pochonia*, *Purpureocillium* e *Trichoderma*, podem formar estruturas especializadas para parasitar os nematoides, além de sintetizar proteases e lipases capazes de digerir a cutícula de ovos, juvenis e formas adultas dos nematoides. Além disso, as espécies de *Trichoderma* são conhecidos agentes de controle biológico de outros agentes causadores de doenças de plantas, como o mofo branco da soja causado por *Sclerotinia sclerotiorum* (MACENA et al., 2020).

Produtos microbiológicos são comumente aplicados no momento da semeadura, sendo utilizado no tratamento de sementes (TS) e/ou no sulco de semeadura. No campo, também é comum a recomendação de aplicação no estágio vegetativo das culturas, no entanto, as chances de sucesso são menores, devido à dificuldade de atingir o nematoide que está no solo e nas raízes, protegidos. Também, o microrganismo se torna mais suscetível a ação de intempéries como os raios UV, a desidratação, entre outros. A compatibilidade entre os químicos utilizados no tratamento de sementes e o produto biológico também é um ponto de grande importância que deve ser avaliado caso a caso. Produtos à base de fungos são os que estão mais propensos a incompatibilidade, devido a adição de fungicidas no tratamento de sementes. No caso de incompatibilidade, é importante que os produtos incompatíveis não sejam aplicados juntos,

utilizando o biológico via sulco de semeadura, por exemplo. Todavia, poderão ser aplicados separados, um via tratamento de sementes e outro via sulco.

#### 4.2. Nematicidas químicos

Os nematicidas químicos também possuem um papel fundamental no manejo de nematoides. Nos casos dos grãos, como soja, milho e feijão, sua utilização é feita principalmente no tratamento de sementes. O tratamento de sementes ou a aplicação no sulco de plantio, com os nematicidas químicos garante um efeito de choque, protegendo as raízes ainda em sua fase inicial de desenvolvimento. Essa proteção inicial pode persistir em média por até +/- 30-60 dias, dependendo do produto e da dose, o que é suficiente para garantir o estabelecimento da cultura, com menores danos provocados pelos nematoides. Considerando todas as culturas, há registro de 29 nematicidas químicos no Brasil. No entanto, como os produtos químicos são registrados por espécie de nematoide e por cultura, a soja conta com 18 produtos registrados (8 princípios ativos), o milho com 6 (4 princípios ativos) e o feijão com 3 produtos (2 princípios ativos) (Figura 6).



**Figura 6.** Nematicidas químicos registrados para *Meloidogyne javanica*, *M. incognita*, *Pratylenchus brachyurus*, *P. zae* e *Heterodera glycines* nas culturas da soja, milho e feijão. Fonte: Agrofit (2022).

O modo de ação das moléculas químicas no controle de nematoides ainda é pouco compreendido. De modo geral, resultam na inibição da alimentação e movimentação dos nematoides, além de afetarem o desenvolvimento e capacidade de eclosão dos juvenis de segundo estágio (J2). De acordo com o IRAC (2021), os produtos à base de tiodicarbe do grupo dos carbamatos, assim como, produtos à base de terbufós e cadusafós do grupo dos organofosforados, possuem como modo de ação a inibição da acetilcolinesterase (AChE), atuando no sistema nervoso dos nematoides. Já os produtos à base de abamectina do grupo das avermectinas, atuam nos moduladores alostéricos do canal de cloreto controlado por glutamato (GluCl), que também reflete em alterações nervosas. Os produtos à base de fluopiram, do grupo das benzamidas, atuam na inibição do transporte de elétrons do complexo mitocondrial II e inibição da succinato desidrogenase (SDH). O modo de ação da fluensulfona, grupo químico das fluoroalquênil sulfonas, e o fluazinam do grupo das 2,6-dinitroanilinas, ainda não é conhecido para nematoides. Entretanto, alguns trabalhos têm relacionado a ação dessas moléculas ao comprometimento metabólico e degeneração tecidual dos nematoides, bem como, redução da mobilidade e atratividade dos nematoides às raízes, além de outros efeitos (KEARN et al., 2017; OKA & SAROYA, 2019).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os nematoides parasitas de plantas podem ocasionar perdas significativas nas lavouras em todo o mundo, comprometendo o rendimento e gerando prejuízos para os produtores. Os níveis de perdas estão relacionados a espécie, densidade populacional, além da variabilidade genética identificada nas populações e, associadas as raças, bem como há vários outros fatores bióticos e abióticos do sistema de produção. A ocorrência de nematoides nas áreas de plantio causa diversos sintomas, sendo os mais comuns, amarelecimento, nanismo, murcha e tombamento, sendo a ocorrência em sua maioria observada em reboleiras, quando já estão causando grandes perdas na produtividade.

Nos últimos anos, tem se observado uma demanda cada vez maior por tecnologias que possam contribuir para o manejo sustentável de nematoides. Isso tem sido reflexo da retirada de nematicidas químicos do mercado, com classificação toxicológica altamente tóxico, faixa vermelha. Estão surgindo outros produtos, com novos modos de ação e menos tóxicos. Também, o controle cultural, genético, e biológico, são cada vez mais utilizados. É importante salientar que

para o manejo de nematoides seja eficiente, é necessário que se tenha uma integração entre diferentes ferramentas e um planejamento de manejo a longo prazo e, para isso, a primeira ação é o correto diagnóstico das espécies que ocorrem na área. A partir da espécie e do nível populacional é que se pode definir estratégias assertivas de manejo, de forma a conviver com os nematoides sem maiores perdas na produção e rentabilidade.

## 6. REFERÊNCIAS

AGROFIT. **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. Disponível em: [https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons). Acesso em: mar. 2022.

BLINK. **Resultados Consolidados - Nematoides em Soja**. Disponível em: [www.blinkstrategies.com](http://www.blinkstrategies.com). Acesso em: mar. 2022.

ARELLI, P. R.; CONCIBIDO, V. C.; YOUNG, L. D. QTLs Associated with Resistance in Soybean PI567516C to Synthetic Nematode Population Infecting cv. Hartwig. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 13, n. 3, p. 163-167, 2010.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; DIAS, W. P.; RAMOS JUNIOR, E. U.; BALBINO JUNIOR, A.A. Práticas culturais na entressafra da soja para o controle de *Pratylenchus brachyurus*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 10, p. 1720-1728, 2016.

FRANCISCO, B. G. F.; PONCE, I. M.; PLASCENCIA ESPINOSA, M. A. P. A.; MOCTEZUMA, A. M.; LÓPEZ, V. E. L. Advances in the biological control of phytoparasitic nematodes via the use of nematophagous fungi. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 37, n. 10, p. 1-14, 2021.

KEARN, J; LILLEY, C.; URWIN, P.; O'CONNOR, V.; HOLDEN-DYE, L. Progressive metabolic impairment underlies the novel nematicidal action of fluensulfone on the potato cyst nematode *Globodera pallida*. **Pesticide biochemistry and physiology**, v. 142, p. 83-90, 2017.

HAN, Y.; ZHAO, X.; CAO, G.; WANG, Y.; LI, Y.; LIU, D.; TENG, W.; ZHANG, Z.; Li, D.; QIU, L.; ZHENG, H.; LI, W. Genetic characteristics of soybean resistance to HG type 0 and HG type 1.2.3.5.7 of the cyst nematode analyzed by genome-wide association mapping. **BMC Genomics**, v. 16, n. 1, p. 1-11, 2015.

HILLNHÜTTER, C., MAHLEIN, A. K., SIKORA, R. A., OERKE, E. C. Remote sensing to detect plant stress induced by *Heterodera schachtii* and *Rhizoctonia solani* in sugar beet fields. **Field Crops Research**, v. 122, n. 1, p. 70-77, 2011.

IRAC. Nematicide Mode of Action Classification - Disponível em: <https://irac-online.org/teams/nematodes/>. 2021. Acesso em: mar. 2022.

MACENA, A. M. F.; KOBORI, N. N.; MASCARIN, G. M.; VIDA, J. B.; HARTMAN, G. L. Antagonism of Trichoderma-based biofungicides against Brazilian and North American isolates of *Sclerotinia sclerotiorum* and growth promotion of soybean. **BioControl**, v. 65, n. 2, p. 235-246, 2020.

MILJAKOVIĆ, D.; MARINKOVIĆ, J.; BALEŠEVIĆ-TUBIĆ, S. The Significance of *Bacillus* spp. in Disease Suppression and Growth Promotion of Field and Vegetable Crops. **Microorganisms**, v. 8, n. 7, p. 1037, 2020.

MOLIN, J. P. Desafios da agricultura brasileira a partir da agricultura de precisão. *In: Simpósio Sobre Rotação Soja/Milho no Plantio Direto*, 3, 2002, Campinas. 9 p.

MUELLER, J.; KOENNING, S.; KIRKPATRICK, T.; KEMERAIT, B. Managing nematodes in cotton-based cropping systems. **Cotton incorporated**. p. 1-4. Dec. 2012.

OKA, Y.; SAROYA, Y. Effect of fluensulfone and fluopyram on the mobility and infection of second-stage juveniles of *Meloidogyne incognita* and *M. javanica*. **Pest Management Science**, v. 75, n. 8, p. 2095-2106, 2019.

OTOBONI, C.E.M. Agricultura de Precisão no Manejo de Nematoides. **35º Congresso Brasileiro de Nematologia**. p. 37-39, 2018.

RADHAKRISHNAN, R.; HASHEM, A.; ABDALLAH, E. F. *Bacillus*: A Biological Tool for Crop Improvement through Bio-Molecular Changes in Adverse Environments. **Frontiers in Physiology**, v. 8, p. 667, 2017.

SANTANA, F. A.; SILVA, M. F.; GUIMARÃES, J. K. F.; FERREIRA, M. F. S.; PEREIRA, W. D.; PIOVESAN, N. D.; Barros, E. G. Marker-assisted selection strategies for developing resistant soybean plants to cyst nematode. **Crop Breeding Applied Biotechnology**, v. 14, n. 3, p. 180-186, 2014.

SOARES, P. L. M.; NASCIMENTO, D. D. Integrated nematode management of root lesion and root-knot nematodes in soybean in Brazil. *In: Integrated nematode management: state-of-the-art and visions for the future*. Wallingford: CABI, 2021. p. 103–110.

SHI, A.; GEPTS, P.; SONG, Q.; XIONG, H.; MICHAELS T.E.; CHEN, S. Genome-Wide Association Study and Genomic Prediction for Soybean Cyst Nematode Resistance in USDA Common Bean (*Phaseolus vulgaris*) Core Collection. **Front Plant Science**, v. 7, n. 12, p. 624156, 2021.

TORRES, J. L. R.; GOMES, F. R. C.; BARRETO, A. C.; TAMBURUS, A. Y.; VIEIRA, D. M. S.; SOUZA, Z. M.; MAZETTO, J. C. Application of different cover crops and mineral fertilizer doses for no-till cultivation of broccoli, cauliflower and cabbage. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 10, p. 1339-1345, 2017.