

A close-up photograph of a hand holding water over a small green seedling growing in dark soil. The water is dripping from the hand onto the plant. The background is a warm, golden glow, suggesting a sunrise or sunset. The image is divided into three horizontal sections: a top section with a hand, a middle green section with text, and a bottom section with soil and a plant.

Carlos Antônio dos Santos
Júlio César Ribeiro
(Organizadores)

Desafios e Sustentabilidade no Manejo de Plantas

 **Atena**
Editora
Ano 2019

Carlos Antônio dos Santos
Júlio César Ribeiro
(Organizadores)

Desafios e Sustentabilidade no Manejo de Plantas

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Rafael Sandrini Filho
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
D441	Desafios e sustentabilidade no manejo de plantas [recurso eletrônico] / Organizadores Carlos Antônio dos Santos, Júlio César Ribeiro. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web 978-85-7247-408-5 DOI 10.22533/at.ed.085191806 1. Agricultura – Pesquisa – Brasil. 2. Desenvolvimento sustentável – Brasil. 3. Produção agrícola – Brasil. I. Santos, Carlos Antônio dos. II. Ribeiro, Júlio César. CDD 634.92
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

O Brasil é um país com a produção agrícola consolidada em função dos grandes investimentos tecnológicos realizados, vasta extensão territorial agricultável, ampla biodiversidade, além de clima favorável ao cultivo de inúmeras espécies de importância econômica. Atualmente, com a agricultura brasileira cada vez mais tecnificada, tornou-se necessária a adoção de práticas que assegurem a manutenção dos bons índices produtivos registrados e que, ao mesmo tempo, promovam a sustentabilidade de toda a produção agrícola.

O cultivo agrícola está sujeito a influência de diversos fatores bióticos e/ou abióticos, e que se apresentam como desafios a serem superados nas lavouras de todo o país. Dentro desse contexto, vale destacar a ocorrência de “plantas daninhas” como um dos principais limitantes à produção. Estas plantas, caso não sejam manejadas corretamente, podem trazer inúmeros prejuízos aos produtores em função da competição por água, luz e nutrientes com as culturas de interesse, além de ocasionarem uma série de outras interações negativas.

A continuidade do êxito da produção agrícola brasileira deverá ser baseada, portanto, na capacidade de contornar esses obstáculos e nos investimentos em novas tecnologias e práticas visando aumento da eficiência, sustentabilidade e competitividade a nível mundial. Uma outra demanda em expansão é a exploração sustentável dos recursos disponíveis em nossa flora, e que podem ter importância em segmentos, como o farmacêutico. A exploração dessas espécies vegetais necessita de estudos que validem as suas potencialidades de uso.

Nesta obra “Desafios e Sustentabilidade no Manejo de Plantas” foram selecionados trabalhos que priorizaram essas temáticas e que foram capazes de agrupar, sintetizar e oferecer informações passíveis de utilização por pesquisadores e técnicos. Em uma primeira parte, são apresentados trabalhos que trazem informações e questionamentos sobre estresse em plantas pela aplicação de herbicidas, resistência de “plantas daninhas” a herbicidas, e fitorremediação. Posteriormente, são apresentados trabalhos pontuais que compilam informações e resultados de experiências sobre mistura em tanques, interações e efeito residual de herbicidas.

Na segunda parte da obra é mostrada a eficiência terapêutica de metabólitos secundários da espécie *Achyrocline satureioides*, por meio da compilação e análise de informações disponíveis em bases de dados eletrônicas e da legislação brasileira.

Agradecemos aos autores vinculados às duas grandes instituições brasileiras, UFRRJ e UFSC, pelo empenho ao compartilhar seus conhecimentos e resultados de muitos anos de dedicação e investimentos em pesquisa.

Carlos Antônio dos Santos
Júlio César Ribeiro

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ESTRESSE EM PLANTAS PELA APLICAÇÃO DE HERBICIDAS	
Junior Borella	
Ana Claudia Langaro	
Amanda dos Santos Souza	
Jéssica Ferreira Lourenço Leal	
Gledson Soares de Carvalho	
Ana Carolina Oliveira Chapeta	
Rayana da Rocha Sarmiento	
Camila Ferreira de Pinho	
DOI 10.22533/at.ed.0851918061	
CAPÍTULO 2	17
RESISTÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS A HERBICIDAS	
Ana Claudia Langaro	
Gabriella Francisco Pereira Borges de Oliveira	
Jéssica Ferreira Lourenço Leal	
José Maurício Fajardo da Cunha	
Luana Jéssica da Silva Ferreira	
Juliana Lima Diniz	
Camila Ferreira de Pinho	
DOI 10.22533/at.ed.0851918062	
CAPÍTULO 3	30
FITORREMEDIAÇÃO DE HERBICIDAS	
Amanda dos Santos Souza	
Gabriella Francisco Pereira Borges De Oliveira	
Ana Claudia Langaro	
Monara Abreu Mendes	
Jonathan Almeida Santos Simões	
Junior Borella	
Camila Ferreira De Pinho	
DOI 10.22533/at.ed.0851918063	
CAPÍTULO 4	42
MISTURA EM TANQUE E INTERAÇÕES ENTRE HERBICIDAS	
Jéssica Ferreira Lourenço Leal	
Gabriella Francisco Pereira Borges de Oliveira	
Amanda Dos Santos Souza	
Marcelo Pereira Sampaio	
Eduardo Souza De Amorim	
Ana Claudia Langaro	
Camila Ferreira De Pinho	
DOI 10.22533/at.ed.0851918064	
CAPÍTULO 5	58
EFEITO RESIDUAL DE HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES EM MILHO CULTIVADO EM SUCESSÃO A SOJA	
Gledson Soares de Carvalho	
Samia Rayara de Sousa Ribeiro	
Cristiano Viana André	
Felipe Sant'Ana Marinho	

Mariana Araújo Alves Gomes de Souza
Monique Macedo Alves
Camila Ferreira de Pinho

DOI 10.22533/at.ed.0851918065

CAPÍTULO 6 69

EFICIÊNCIA TERAPÊUTICA DE METABÓLITOS SECUNDÁRIOS DE *Achyrocline satureioides*

Aline Nunes
Caroline Schmitz
Deise Munaro
Marcelo Maraschin

DOI 10.22533/at.ed.0851918066

SOBRE OS ORGANIZADORES..... 79

RESISTÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS A HERBICIDAS

Ana Claudia Langaro

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica – RJ

Gabriella Francisco Pereira Borges de Oliveira

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica – RJ

Jéssica Ferreira Lourenço Leal

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica – RJ

José Maurício Fajardo da Cunha

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica – RJ

Luana Jéssica da Silva Ferreira

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica – RJ

Juliana Lima Diniz

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica – RJ

Camila Ferreira de Pinho

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica – RJ

RESUMO: O controle químico tornou-se indispensável como ferramenta no manejo de plantas daninhas, pois possibilita o controle em extensas áreas de produção, é altamente eficiente e econômico. No entanto, a utilização repetida de herbicidas pertencentes ao mesmo mecanismo de ação aumenta a pressão de seleção levando ao surgimento de biótipos de plantas daninhas resistentes. As plantas daninhas podem sobreviver a aplicação de herbicidas devido a um ou mais mecanismos de resistência. Esses mecanismos podem ou não estar relacionados ao local de ação do herbicida. Os mecanismos relacionados ao local de ação envolvem alterações no sítio alvo como mutação e modificações na expressão gênica. Por outro lado, redução na absorção e translocação, metabolização, compartimentalização e sequestro no vacúolo são mecanismo de resistência não relacionados ao sítio alvo. A resistência de plantas daninhas é um processo evolutivo e pode ser influenciada por diversos fatores, sendo eles: genéticos, relacionados a biologia das plantas, relacionados aos herbicidas e ainda operacionais. O diagnóstico precoce e a confirmação da resistência são imprescindíveis para o sucesso do manejo de plantas daninhas resistentes. Além disso, estratégias que visam evitar a seleção de novos biótipos resistentes devem fazer parte do programa de manejo nas áreas de produção.

PALAVRAS-CHAVE: controle de plantas daninhas; biótipos resistentes; pressão de seleção.

ABSTRACT: Chemical control has become indispensable as a tool in the management of weeds, since it allows the control in extensive production areas, it is highly efficient and economical. However, the repeated use of herbicides belonging to the same mechanism of action increases the selection pressure leading to the emergence of a resistant weed biotype. Weeds can survive the application of herbicides due to one or more resistance mechanisms. These mechanisms may or may not be related to the site of action of the herbicide. Mechanisms related to the site of action involve changes in the target site such as mutation and modifications in gene expression. On the other hand, reduction in absorption and translocation, metabolization, compartmentalization and sequestration in the vacuole are resistance mechanisms not related to the target site. The resistance of weeds is an evolutionary process and can be influenced by several factors, being: genetic, related to plant biology, related to herbicides and still operational. Early diagnosis and confirmation of resistance is essential for successful weed management. In addition, strategies aimed at avoiding the selection of new resistant biotypes should be part of the management program in the production areas.

KEYWORDS: weed control; resistant biotypes; selection pressure.

1 | INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores agrícolas do mundo, devido à sua extensa terra arável e clima favorável para a produção. No entanto, as plantas daninhas causam graves perdas devido à competição com a cultura de interesse por recursos essenciais (SWANTON et al., 2015; GHARDE et al., 2018).

Os métodos normalmente utilizados para controlar as plantas daninhas são o mecânico, o físico, o biológico, o químico e o cultural, sendo o químico o mais empregado. O controle químico tornou-se indispensável como ferramenta no manejo de plantas daninhas, pois possibilita o controle em extensas áreas de produção, é altamente eficiente, possui baixo custo, permite o controle de plantas daninhas perenes bem como aquelas que ocorrem na linha do plantio (BUENO et al., 2013). Além disso, a maioria das moléculas químicas registradas para uso como herbicida são seletivas, ou seja, permitem o controle de plantas indesejáveis sem ocasionar danos à cultura de interesse econômico. Diversos são os herbicidas registrados para uso agrícola, no entanto, é comum a utilização de uma única molécula de forma consecutiva nas áreas de produção. Essa prática compromete o sistema, pois o uso repetido de um mesmo mecanismo de ação por anos consecutivos pode levar a seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes (POWLES & YU, 2010; DÉLYE et al.; 2013).

A resistência de plantas daninhas a herbicidas é comumente confundida com o conceito de tolerância. No entanto, faz-se necessário a distinção entre os termos,

visto que são características diferentes do ponto de vista evolutivo. Dessa forma, a resistência pode ser conceituada como a capacidade adquirida de uma planta em sobreviver e multiplicar após ser exposta determinada dose de um herbicida que, em condições normais, controla os demais integrantes da população (WSSA, 1998). A resistência pode ocorrer naturalmente (seleção natural) ou ser induzida com o uso de biotecnologia, podendo ainda ser classificada em cruzada ou múltipla. A resistência cruzada ocorre quando um biótipo é resistente a dois ou mais grupos químicos diferentes pertencentes ao mesmo mecanismo de ação. No entanto, quando um biótipo possui a capacidade de sobreviver a dois ou mais herbicidas, de diferentes mecanismos de ação, a resistência é do tipo múltipla.

Por outro lado, a tolerância pode ser definida como a característica inata de algumas espécies em sobreviver e se reproduzir após o tratamento com herbicida, mesmo sofrendo injúrias. É uma característica da espécie e nesse caso, não são encontrados biótipos sensíveis dentro da população (CHRISTOFFOLETI, 2008). Exemplos de plantas tolerantes ao glifosato são trapoeraba, poaia-branca, corda-de-violão, entre outras. Essas espécies nunca foram controladas eficientemente por esse herbicida, desde a época do seu lançamento comercial. Essas características relacionam-se com a variabilidade genética natural da espécie. Em contrapartida, biótipos resistentes eram eficientemente controlados pelos herbicidas, mas como o passar do tempo, devido a questões evolutivas, passaram a não ser mais controlados devido a diversos mecanismos que impedem o herbicida de alcançar o local de ação ou ainda a fatores relacionados a sua metabolização.

A resistência de planta daninhas onera ainda mais o custo de produção. Estima-se que, em lavouras de soja com plantas daninhas resistentes ao glifosato, os custos podem subir, em média, de 42% a 222%, principalmente pelo aumento de gastos com herbicidas e pela perda de produtividade da soja. Em áreas com infestações isoladas de buva e de azevém os valores sobem, em média, entre 42% e 48% respectivamente, e até 165% se houver capim-amargoso resistente. O cenário é ainda pior em casos de infestações de buva e capim-amargoso na mesma área de produção, com aumento médio de 222% (ADEGAS et al., 2017).

2 | MECANISMOS DE RESISTÊNCIA

As plantas daninhas podem sobreviver a aplicação de herbicidas devido a um ou mais mecanismos de resistência. Esses mecanismos podem ou não estar relacionados ao local de ação do herbicida. Os mecanismos ligados ao local de ação são denominados TSR (do inglês Target Site Resistance) enquanto os não relacionados ao local de ação são chamados de NTSR (do inglês Non-Target Site Resistance). Dentre os mecanismos TSR, podemos citar a alteração no local de ação, a qual pode ser conferida por mutações no código genético ou pela superexpressão da enzima alvo.

Por outro lado, a redução na absorção e translocação do herbicida, metabolização, compartimentalização, sequestro no vacúolo, resposta rápida a necrose e recuperação de efeito fitotóxico são mecanismos do tipo NTSR.

Mutações são alterações no código genético que ocorrem espontaneamente a todo tempo na natureza. Algumas mutações são deletérias, comprometendo a sobrevivência dos organismos. No entanto, a maioria delas podem ser do tipo silenciosas ou que não provocam a morte dos indivíduos, sendo repassadas para próxima geração. Biótipos resistentes podem ocorrer em uma população de plantas daninhas como resultado de mutações que provocam alterações no local de ação do herbicida. Para que ocorra mutação é necessária a alteração de bases nitrogenadas ao longo da cadeia de DNA. Essas alterações podem ser devido a deleção, inserção ou substituição de uma ou mais bases nitrogenadas. Quando a base nitrogenada mutada faz parte de um aminoácido presente na composição da enzima alvo do herbicida ocorrem alterações na conformação dessa enzima, impedindo que o herbicida se ligue eficientemente e efetue seu papel (WANG et al., 2009; DAYAN et al., 2010; YU et al., 2010).

Evidências sugerem que o número de cópias dos genes que codificam as enzimas alvo dos herbicidas também tem efeito na evolução da resistência. Se a proteína alvo no qual o herbicida se liga for produzida em grande quantidade, o efeito do herbicida pode se tornar insignificante. Por exemplo, em um indivíduo poliplóide, uma simples mutação em um dos homólogos que codificam a enzima alvo, tende a conferir menor nível de resistência quando comparada a indivíduos diplóides com a mesma mutação (YU et al., 2013). Esse mecanismo já foi identificado e associado, por exemplo, com a resistência de plantas daninhas ao glifosato, para o qual um maior número de cópias do gene que codifica a EPSPS foi observado (SAMMONS & GAINES, 2014). Além disso, a superexpressão da acetil-CoA carboxilase (ACCCase) confere resistência em *Digitaria sanguinalis* ao herbicida fluazifop-P-butyl (LAFORREST et al., 2017).

Atualmente, o NTSR é considerado o tipo predominante de resistência ao glifosato e aos inibidores da ACCCase. O NTSR é também o tipo predominante de resistência aos inibidores da acetolactato sintase (ALS) em gramíneas (POWLES & YU, 2010; BECKIE & TARDIF, 2012; SHANER et al., 2012; DÉLYE, 2013). O aspecto negativo do NTSR é que a resistência múltipla associada a esse mecanismo permanece imprevisível já que não é específica para o modo de ação do herbicida.

O NTSR é um subconjunto de respostas de plantas a estresses abióticos (DÉLYE, 2013; YUAN et al., 2007), podendo ser constitutivo, induzido por estresse, ou ambos (CUMMINS et al., 2009). Quando se fala em NTSR constitutivo, há evidências que esse pode estar associado ao metabolismo secundário em plantas (CUMMINS et al., 2009). Por outro lado, a hipótese atual para NTSR induzido é que a aplicação de herbicida é um estresse que desencadeia vias de resposta em todos os indivíduos, independentemente de sua sensibilidade ao herbicida (DÉLYE, 2013).

Dentre os mecanismos NTSR, um dos mais importantes e de ampla ocorrência

é a redução na absorção e translocação. Dessa forma, a quantidade de herbicida que atinge o local de ação é bastante reduzida, não chegando a ser suficiente para controlar a planta. Para detectar a quantidade de herbicida que é absorvido e translocado na planta, utiliza-se a técnica de radioisótopos, com herbicida marcado com ^{14}C . Dessa forma é possível saber quanto do total inicial aplicado foi absorvido pelas plantas e identificar para quais segmentos da planta o mesmo está sendo translocado.

A seletividade de herbicidas sobre plantas cultivadas muitas vezes é dada pela capacidade dessas de metabolizar a molécula e inativá-la de forma que seu crescimento e desenvolvimento não sejam comprometidos. Essa característica é comum de ser observada nas plantas cultivadas, mas pode também ser considerada um mecanismo de resistência quando presente em biótipos de plantas daninhas. Neste caso, a planta resistente possui a capacidade de decompor mais rapidamente do que plantas sensíveis, a molécula herbicida, tornando-a não-tóxica. Estudos mostram que a resistência causada por mecanismos não relacionados ao local de ação, principalmente causada pelo incremento de metabolização, é altamente problemática devido à ocorrência de biótipos com resistência múltipla, sendo um novo desafio para o manejo de plantas daninhas e utilização de herbicidas. As principais enzimas envolvidas nesse processo são citocromo P450 monooxigenases (CytP450) e glutathione S-transferase (GST) (POWLES & YU, 2010).

Como forma de reduzir a quantidade de herbicida que chega ao local de ação, o sequestro no vacúolo também tem sido sugerido como um mecanismo de resistência em plantas resistentes ao paraquat (CONTE & LLOYD, 2011), sendo também documentado recentemente que os transportadores ABC poderiam atuar no sequestro do glifosato em vacúolos tornando-o não tóxico para as plantas e podendo assim conferir resistência a esse herbicida (GE et al., 2010). Os transportadores ABC abrangem proteínas transmembranas, que utilizam a energia resultante da hidrólise de ATP, para transportar uma variedade de moléculas através de membranas biológicas. Essas proteínas desempenham um papel importante não só no transporte de hormônios, lipídeos, metais, metabolitos secundários e xenobióticos, mas também contribuem nas interações planta-patógeno, modulação de canais de íons e bombeamento das moléculas, tais como xenobióticos e outros compostos tóxicos, para fora das células (KANG et al., 2011). Para apoiar a associação dos transportadores ABC com resistência a herbicidas, Peng et al. (2010) relataram que a exposição de biótipo resistentes de *Conyza* spp. ao glifosato levou à regulação de vários genes envolvidos na transcrição de transportadores ABC.

3 | EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA

As plantas daninhas, apresentam ampla variabilidade genética, o que permite a sobrevivência em uma diversidade de condições ambientais. Qualquer população,

cujos indivíduos possuem uma base genética variável quanto à tolerância a uma medida de controle, irá, com o passar do tempo, mudar sua composição populacional como mecanismo de fuga para sobrevivência (CHRISTOFFOLETI, 2008). A resistência a herbicidas é amplamente conhecida como resultado da evolução de populações de plantas daninhas a intensa pressão de seleção exercida pelos herbicidas (NEVE et al., 2009).

Quando se toma por base uma população de plantas, sabe-se que independentemente da aplicação ou não de herbicidas, estão contidos nessa população biótipos que possuem característica de resistência (KISSMANN, 1996). A resistência pode ser conferida por dois processos: mutação e ou seleção natural baseada em genes pré-existentes (CHRISTOFFOLETI, 2008). As mutações ocorrem ao acaso e são pouco frequentes. Não existem evidências até hoje de que os herbicidas possam ser a causa das mutações, visto que no processo de desenvolvimento e registro dos produtos é preciso comprovar que os mesmos não possuem capacidade mutagênica. Já a seleção natural é amplamente aceita como explicação para esse processo evolutivo. Dessa forma, biótipos resistentes sempre estão presentes em baixa frequência no ambiente, podendo ser selecionados por meio do uso contínuo de herbicidas. Quando o herbicida é aplicado, ocorre aumento na pressão de seleção, sendo que os biótipos suscetíveis são controlados, enquanto os resistentes sobrevivem e se reproduzem na ausência de competição (CHRISTOFFOLETI, 2008).

4 | FATORES QUE AFETAM A EVOLUÇÃO

Diversos são os fatores que contribuem para seleção e evolução da resistência a herbicidas e têm sido agrupados em fatores relacionados a genética, biologia das plantas daninhas, aos herbicidas e operacionais (Figura 1).

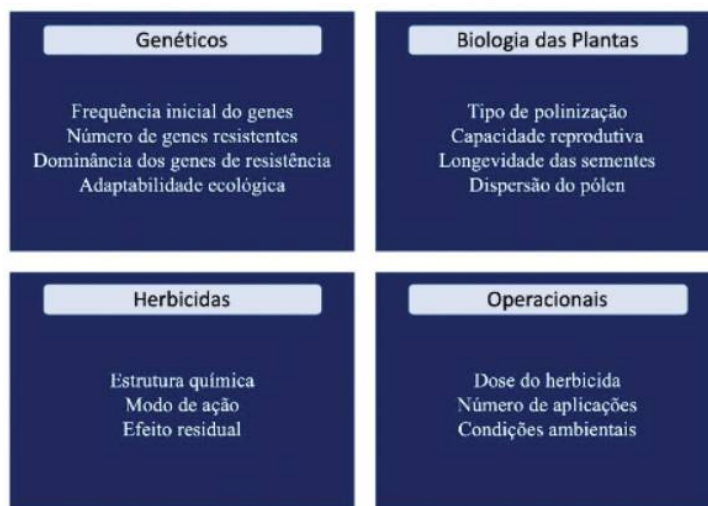


Figura 1. Fatores que influenciam na evolução da resistência a herbicidas em populações de plantas daninhas. Adaptado de POWLES & YU, 2010.

Dentre os fatores genéticos que influenciam na evolução da resistência a herbicidas, podemos citar a frequência inicial do alelo de resistência, o grau de dominância dos genes resistente e ainda a adaptabilidade ecológica. Sabe-se que a frequência inicial varia de acordo com a população e o mecanismo de ação do herbicida. A frequência inicial do genoma herdado com relação à resistência às triazinas em populações não selecionadas está entre 10^{-10} e 10^{-20} plantas por hectare (GRESSEL, 1991), enquanto que a frequência inicial mais alta, de 10^6 plantas por hectare, ocorre nos biótipos resistentes aos herbicidas inibidores da enzima ALS (STANNARD & FAY, 1987).

O tipo de polinização, capacidade de produção de sementes, a longevidade das sementes no banco dos propágulos do solo, bem como a capacidade de dispersão do grão de pólen também são fatores que possuem influência no processo evolutivo. Populações formadas por espécies alógamas, com elevada capacidade de deixar descendentes e que apresentam dormência como característica das sementes produzidas possuem maiores chances de apresentar em sua composição biótipos resistentes.

Algumas características relacionadas aos herbicidas alteram a pressão de seleção sobre as populações de plantas daninhas. A pressão de seleção depende da estrutura química do herbicida, sendo que herbicidas que possuem como mecanismo de ação a inibição de uma única enzima envolvida na rota de biossíntese possuem maior capacidade de selecionar biótipos resistentes. Além disso, herbicidas altamente efetivos ou que possuem efeito residual exercem maior pressão de seleção sobre as plantas, visto que permanecem exercendo a função de controle sobre sementes do solo mesmo após dias ou semanas da sua aplicação.

Por último, pode-se citar os fatores operacionais, ou ainda ligados à atividade antrópica. Esse grupo é o único que o ser humano possui controle e capacidade de alterar como forma de evitar ou retardar o surgimento da resistência. Estão inclusos nesse grupo de fatores a dose do herbicida utilizada, o número de aplicações, a repetitividade do mesmo mecanismo de ação, o sistema de monocultivo, entre outras práticas de manejo.

5 | SITUAÇÃO ATUAL NO BRASIL E NO MUNDO

O primeiro caso de resistência a herbicidas reportado ocorreu em 1957, quando biótipos de *Daucus carota*, no Canadá, e *Commelina diffusa*, nos Estados Unidos, passaram a não ser efetivamente controlados pelo 2,4-D (HILTON, 1957). Atualmente, já foram reportados 498 casos de resistência a herbicidas, incluindo 255 espécies, sendo 148 monocotiledôneas e 107 eudicotiledoneas. Esse número vem crescendo rapidamente nos últimos anos, sendo observado aumento de 107% em relação ao ano de 2010 (Figura 2) (HEAP, 2019). Já foram reportados casos de resistência a maioria

dos mecanismos de ação conhecidos e isso torna-se um problema devido ao fato de que nenhum mecanismo de ação novo tem sido relatado desde 1991 (DUKE, 2012).

No Brasil, os primeiros casos foram reportados em 1992, quando biótipos de *Euphorbia heterophylla* e *Bidens pilosa* foram identificados como resistentes aos inibidores da ALS. Atualmente, foram registrados 50 casos de biótipos resistentes, sendo a maioria deles resistentes aos inibidores da ALS (29 casos) e aos inibidores da EPSPs (15 casos). Um fato preocupante é que dos 50 casos relatados, 16 apresentam resistência múltipla a dois ou mais mecanismos de ação (HEAP, 2019).

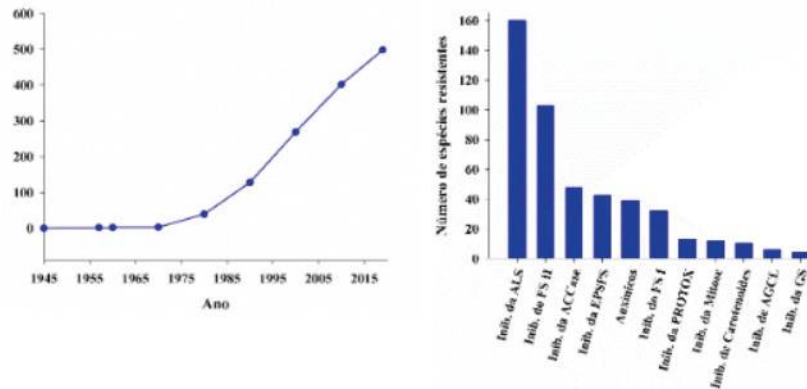


Figura 2. Número de biótipos de plantas daninhas resistentes a herbicidas reportados ao longo dos anos. Fonte: HEAP, 2019.

6 | *Conyza sumatrensis*: UM NOVO CASO DE RESISTÊNCIA NO BRASIL

No Brasil, o primeiro relato de *Conyza* spp resistente ao glifosato foi no Rio Grande do Sul em 2005 (LAMEGO & VIDAL, 2008). Após a resistência de buva ao glifosato, o uso de herbicidas inibidores da ALS (inibidor acetolactato sintase) passou a ser empregados amplamente para controle dessa espécie em soja. Como resultado da alta pressão de seleção exercida pelos herbicidas inibidores da ALS, em 2011, foram identificados biótipos de buva com resistência múltipla ao glifosato e aos inibidores da ALS (SANTOS et al., 2014). O caso se agravou em 2016 e 2017, onde foi registrado resistência da buva ao herbicida paraquat (inibidor do fotossistema I - FSI) e saflufenacil (inibidor da protoporfirinogênio oxidase - Protox) e resistência múltipla aos herbicidas clorimurrom (ALS), glifosato (EPSPs) e paraquat (FSI). O último caso alarmante foi diagnosticado pelo grupo de pesquisa Plantas Daninhas e Pesticidas no Ambiente-UFRRJ, onde se detectou um biótipo de buva com resistência a cinco mecanismo de ação: FSI, Protox, FSII (fotossistema II), Mimetizador de auxina e EPSPs (HEAP, 2019).

Atualmente no Brasil a buva é uma das principais plantas daninhas nos sistemas produtivos, podendo reduzir a produtividade da soja em até 48% dependendo da densidade por metro quadrado (GAZZIERO et al., 2010; BLAINSKI et al., 2015). Para

Trezzi (2015) plantas de *Conyza bonariensis* podem reduzir o rendimento de soja em 36%, 12% e 1,0%, quando estabelecidas em 81, 38 e 0 dias antes da semeadura da soja, respectivamente.

7 | DIAGNÓSTICO E CONFIRMAÇÃO DA RESISTÊNCIA

Como a resistência de plantas daninhas é um processo evolutivo, é possível que nos primeiros anos não seja possível diagnosticá-la. Estima-se que o fenômeno se torna perceptível quando 20% da população de plantas possui a característica de resistência (KISSMANN, 1996).

A ineficiência no controle de plantas daninhas não implica necessariamente em resistência. O mesmo pode ser resultado do emprego de técnicas de controle inadequadas. Dessa forma, para diagnosticar a resistência alguns passos devem ser levados em conta (Figura 3).

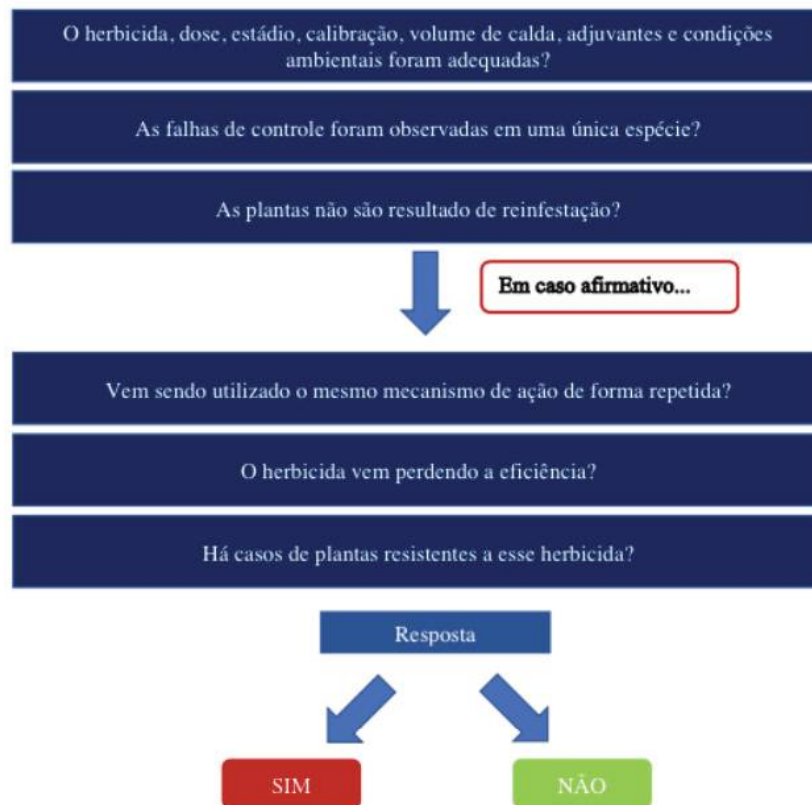


Figura 3. Fluxograma indicando os primeiros passos para diagnóstico de novos casos de resistência a herbicidas. Adaptado de HRAC, 1998.

O fluxograma acima representa uma série de questionamentos que devem ser feitos para iniciar o diagnóstico da resistência. Se ao final dos questionamentos as respostas forem afirmativas é possível que esteja ocorrendo a seleção de biótipos resistentes. Em caso de resposta negativas, as causas do insucesso no controle devem ser investigadas. Após diagnosticada a resistência, a mesma deve ser confirmada. Para isso, é necessário seguir alguns critérios pré-estabelecidos.

A confirmação científica da resistência de plantas daninhas a herbicidas pode ser realizada por meio de ensaios de campo, casa de vegetação e laboratório. O método mais comum se dá por meio da condução de curvas de dose-reposta. Através da curva de dose-resposta é determinado o C_{50} , ou seja, a dose necessária para controlar 50% da população. Baseado na curva de dose-resposta é possível também determinar o GR_{50} , o qual determina a dose necessária para reduzir em 50% o acúmulo de biomassa das plantas. Este índice é usado para calcular o fator de resistência. Para isso, divide-se o valor de C_{50} ou GR_{50} do biótipo resistente pelo suscetível.

O uso da regressão não linear descrito por Streibig et al. (1993) é o método mais adequado para elaboração da curva de dose-resposta. Uma adaptação desse modelo foi proposta por Seefeldt et al. (1995) e é utilizada até hoje. Os autores sugerem que esse modelo apresenta inúmeras vantagens em relação aos demais, como por exemplo, a estimativa do parâmetro C_{50} ou GR_{50} pela própria equação, facilitando a comparação entre os biótipos em estudo.

8 | MEDIDAS PARA EVITAR A SELEÇÃO DE BIÓTIPOS RESISTENTES

O diagnóstico precoce da resistência e a adoção de medidas preventivas que visam evitar a seleção de novos biótipos resistentes são medidas essenciais que devem estar contidas em um programa de manejo. O objetivo geral consiste em reduzir a pressão de seleção sobre a população de plantas daninhas e controlar os indivíduos resistentes antes que os mesmos produzam sementes.

Dentre as medidas que devem ser adotadas para evitar a resistência, podemos citar:

1. Utilização de herbicidas com diferentes mecanismos de ação;
2. Realizar aplicações em mistura ou sequencial;
3. Rotação de mecanismo de ação;
4. Rotação de culturas;
5. Utilizar cobertura de inverno;
6. Rotação de métodos de controle;
7. Utilizar sementes certificadas;
8. Evitar que indivíduos resistentes produzam sementes.

REFERÊNCIAS

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

AVILA-GARCIA, W. V.; SANCHEZ-OLGUIN, E.; HULTING, A. G.; MALLORY-SMITH, C. **Target-site mutation associated with glufosinate resistance in Italian ryegrass (*Lolium perenne* L. ssp. *multiflorum*)**. Pest Management Science, v. 68, n. 9, p. 1248–1254, 2012.

BECKIE, H.; TARDIF, F.J. **Herbicide cross resistance in weeds**. Crop Protection, v. 35, p. 15–28, 2012.

BLAINSKI, É.; MACIEL, C.; ZOBIOLE, L.; RUBIN, R.; SILVA, A.; KARPINSKI, R.; HELVIG, E. **Eficiência do cloransulam-metílico no controle em pós-emergência de *Conyza bonariensis* na cultura da soja RR[®]**. Revista Brasileira de Herbicidas, v. 14, n. 3, p. 235-242, 2015.

BUENO, M. R.; ALVES, G. S.; PAULA, A. D. M.; CUNHA, J. P. A. R. **Volume de calda e adjuvantes no controle de plantas daninhas com glyphosate**. Planta Daninha, v. 31, n. 3, p. 705-713, 2013.

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 à Resistência de Plantas aos Herbicidas - HRAC-BR, 2008, p. 9–34.

CONTE, S.S.; LLOYD, A.M. **Exploring multiple drug and herbicide resistance in plants—spotlight on transporter proteins**. Plant Science, v. 180, n. 2, p. 196–203, 2011.

CUMMINS, I.; BRYANT, D. N.; EDWARDS, R. **Safener responsiveness and multiple herbicide resistance in the weed black-grass (*Alopecurus myosuroides*)**. Plant Biotechnology, v. 7, n. 8, p. 807–820, 2009.

DAYAN, F. E.; DAGA, P. R.; DUKE, S. O.; LEE, R. M.; TRANEL, P. J.; DOERKSEN, R. J. **Biochemical and structural consequences of a glycine deletion in the α -8 helix of protoporphyrinogen oxidase**. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Proteins and Proteomics, v. 1804, n. 7, p. 1548–1556, 2010.

DÉLYE, C. **Unravelling the genetic bases of non-target-site based resistance (NTSR) to herbicides: a major challenge for weed science in the forthcoming decade**. Pest Management Science, v. 69, n. 2, p. 176–187, 2013.

DÉLYE, C.; JASIENIUK, M.; LECORRE, V. **Deciphering the evolution of herbicide resistance in weeds**. Trends Genet, v. 29, p. 649–658, 2013.

DUKE, S. O. **Why have no new herbicide modes of action appeared in recent years?** Pest Management Science, v. 68, p. 505–512, 2012.

GAZZIERO, D. L. P.; ADEGAS, F. S.; VOLL, E.; VARGAS, L.; KARAM, D.; MATALLO, M. B.; CERDEIRA, A. L.; FORNAROLI, D. A.; OSIPE, R.; SPENGLER, A. N.; ZOIA, L. **Interferência da buva em áreas cultivadas com soja**. In: XXVII Congresso brasileiro da ciência das plantas daninhas. Ribeirão Preto, SP. Anais, 2010, p.1555–1558.

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

G HARDE, Y.; SINGH, P. K.; DUBEY, R. P.; GUPTA, P. K. **Assessment of yield and economic losses in agriculture due to weeds in India**. Crop Protection, v. 107, p. 12–18, 2018.

GRESSEL, J. **Why get resistance? It can be prevented or delayed**. In: CASELEY, J.C.; CUSSANS, G.W.; ATKIN, R.K. Herbicide resistance in weeds and crops. Oxford: Butterworth-Heinemann, p. 1–25, 1991.

HEAP I. 2019. **International survey of herbicide resistant weeds [online]**. Disponível em: <http://www.weedscience.org>. Acesso em: 23 de fevereiro de 2019.

HILTON, H.W. **Herbicide tolerant strains of weeds**. In Hawaiian Sugar Planters Association Annual Report (Hawaiian Sugar Planters Association ed), 1957, p. 69–72.

KANG, J.; PARK, J.; CHOI, H.; BURLA, B.; KRETZSCHMAR, T.; LEE, Y.; MARTINOIA, E. **Plant ABC transporters**. Arabidopsis Book 9:e0153, 2011.

KISSMANN, K. G. **Resistência de plantas a herbicidas**. São Paulo: Basf Brasileira, 1996, 33 p.

LAFOREST, M.; SOUFIANE, B.; SIMARD, M.-J.; OBEID, K.; PAGE, E.; NURSE, R. E. **Acetyl-CoA carboxylase overexpression in herbicide-resistant large crabgrass (*Digitaria sanguinalis*)**. Pest management science, v. 73, n. 11, p. 2227-2235, 2017.

LAMEGO, F. P.; VIDAL, R. A. **Resistência ao glyphosate em biótipos de *Conyza bonariensis* e *Conyza canadensis* no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil**. Planta Daninha, v. 26, n. 2, p. 467-471, 2008.

NEVE, P.; VILA-AIUB, M; ROUX, F. **Evolutionary-thinking in agricultural weed management**. New Phytologist. v. 184, n. 4, p. 783–793, 2009.

PENG, Y.; ABERCROMBIE, L. L. G.; YUAN, J. S.; RIGGINS, C. W.; SAMMONS, R. D.; TRANEL, P. J.; STEWART, C. N. JR. **Characterization of the horseweed (*Conyza canadensis*) transcriptome using GS-FLX 454 pyrosequencing and its application for expression analysis of candidate non-target herbicide resistance genes**. Pest Management Science, v. 66, p. 1053–1062, 2010.

POWLES, S. B.; YU, Q. **Evolution in action: plants resistant to herbicides**. Annual Review of Plant Biology, Palo Alto, v. 61, n. 1, p. 317–347, 2010.

SAMMONS, R. D.; GAINES, T. A. **Glyphosate resistance: state of knowledge**. Pest Management Science. v.70, p.1367–1377, 2014.

SANTOS, G.; OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; FRANCISCHINI, A. C.; OSIPE, J. B. **Multiple resistance of *Conyza sumatrensis* to Chlorimuronethyl and to Glyphosate**. Planta Daninha, v. 32, n. 2, p. 409–416, 2014

SEEFELDT, S.S.; JENSEN, J.E.; FUERST, E.P. **Loglogistic analysis of herbicide dose-response relationships**. Weed Technology, v.9, n.2, p.218–227, 1995.

SHANER, D. L.; LINDENMEYER, R. B.; OSTLIE, M. H. **What have the mechanisms of resistance to glyphosate taught us?** Pest Management Science, v. 68, n. 1, p. 3–9, 2011.

STREIBIG J.C. **Herbicide bioassay**. Weed Research, v. 28, p. 479–84, 1998.

SWANTON, C. J.; NKOA, R.; BLACKSHAW, R. E. **Experimental methods for crop–weed competition studies**. Weed Science, v. 63, n. SP1, p. 2–11, 2015.

STANNARD, M.E.; FAY, P.K. **Selection of alfalfa seedlings for tolerance to chlorsulfuron**. In: Weed Science Society of America Meeting, 61. Proceedings, 1987, 45 p.

TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A.; PATEL, F.; MIOTTO JR, E.; DEBASTIANI, F.; BALBINOT JR, A. A.; MOSQUEN, R. **Impact of *Conyza bonariensis* density and establishment period on soyabean grain yield, yield components and economic threshold**. Weed research, v. 55, n.1, p. 34–41, 2015.

WANG, J.-G.; LEE, P. K.-M.; DONG, Y.-H.; PANG, S. S.; DUGGLEBY, R. G.; LI, Z.-M.; GUDDAT, L. W. **Crystal structures of two novel sulfonylurea herbicides in complex with *Arabidopsis thaliana***

acetohydroxyacid synthase. FEBS Journal, v. 276, n. 5, p.1282–1290, 2009.

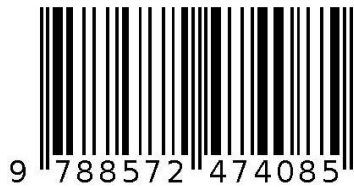
WSSA-Weed Science Society of America. **Resistance and tolerance definitions**. Weed Technology, v.12, p.789, 1998.

YU L. P. C.; KIM, Y. S.; Tong, L. **Mechanism for the inhibition of the carboxyltransferase domain of acetyl-coenzyme A carboxylase by pinoxaden**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 107, n. 51, p. 22072–22077, 2010.

YU, Q.; AHMAD-HAMDANI, M. S.; HAN, H.; CHRISTOFFERS, M. J.; POWLES, S. B. **Herbicide resistance-endowing ACCase gene mutations in hexaploid wild oat (*Avena fatua*): insights into resistance evolution ALS Genes in *A. aequalis* in a hexaploid species**. Heredity, v. 110, p. 220–231, 2013.

YUAN, J. S.; TRANEL, P. J.; STEWART, C. N. **Non-target-site herbicide resistance: a family business**. Trends in Plant Science, v. 12, n. 1, p. 6–13, 2007.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-408-5



9 788572 474085