

# O Futuro da Agricultura e do Manejo de Plantas daninhas

Edivaldo Domingues Velini<sup>1</sup>; Maria Lucia Bueno Trindade<sup>1</sup>;  
Caio Antonio Carbonari<sup>1</sup>

**1: Faculdade de Ciências Agrônômicas / UNESP – Botucatu. Departamento de Produção Vegetal – Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia.**

## Introdução

Tratar do futuro do manejo das plantas daninhas é um trabalho extremamente complexo e sujeito a erros. Se o estudo e compreensão das plantas daninhas e seu manejo já é complexo por si, estabelecer projeções para estes assuntos em um futuro de médio e longo prazo é um grande desafio. Os dias atuais são marcados pela rápida produção de informações e conhecimentos. O conhecimento e a informação são produzidos, armazenados e disponibilizados em ritmos jamais observados ou mesmo imaginados em outras épocas. Em algumas áreas do conhecimento, as informações se tornam ultrapassadas em menos de um ano.

A atualidade também é marcada por eventos e tecnologias pouco previsíveis e de alto impacto em vários setores da economia e do nosso cotidiano. São exemplos: o sistema de posicionamento global (GPS), a Internet e o conjunto de novas ferramentas fundamentadas na genética molecular. Assim como varias outras atividades humanas, o manejo de plantas daninhas foi profundamente alterado pelos três exemplos citados. O uso do GPS está diretamente relacionado ao uso da agricultura de precisão. A Internet permitiu difundir e acessar a informação em níveis jamais vistos anteriormente. As ferramentas genômicas permitiram a criação de culturas geneticamente modificadas com capacidade de resistir aos herbicidas, iniciando uma nova fase no manejo das plantas daninhas.

Estes são apenas três exemplos de eventos de alto impacto que ocorreram nos últimos 30 anos e que estão associados a novas tecnologias e novos conhecimentos. Há vários outros eventos de importância similar, como a fotografia digital, a evolução em todos os ramos da química (ambiental, analítica e de síntese, por exemplo) e a compreensão de que o nosso planeta é finito e não tem como suportar indefinidamente os impactos promovidos pela humanidade. De fato as transformações relacionadas aos eventos de alto impacto ligados à evolução da ciência e da tecnologia (citados ou não neste texto) ainda estão acontecendo e se aprofundando. Apenas como exemplos, as inovações relacionadas à Internet, à genética molecular e em química ocorrem de modo praticamente contínuo. No futuro, seremos afetados pelos impactos associados à consolidação destas revoluções que estão em curso e por aqueles associados a novas tecnologias de ruptura que ainda serão produzidas.

Se há muitas dúvidas sobre o futuro, também há várias certezas e talvez a maior delas é a de que a população mundial continuará crescendo e se alimentando. A demanda mundial por alimentos crescerá continuamente (em quantidade e qualidade) pelo menos nos próximos 40 anos. Temos um grande desafio pela frente que é manter ou reduzir os preços e aumentar a qualidade, a diversidade, a sustentabilidade da produção e a quantidade de alimentos produzidos.

A demanda por fibras e energia crescerá praticamente no mesmo ritmo da demanda por alimentos. Em termos de energia, a busca da renovação das fontes e da sustentabilidade da produção tem feito com que a bioenergia tenha importância cada vez maior em vários países. Ainda há um quarto mercado relevante e que poderá, também, ser atendido pela agricultura, que é o de produtos ecossistêmicos, incluindo créditos de carbono e de água.

Haverá a necessidade de aumentar a produção atual das principais commodities agrícolas entre 60% a 100% até 2050. Os estoques mundiais já se encontram em níveis críticos, desencadeando uma forte elevação de preços. Os preços atuais já são próximos ou superiores aos de 2008 quando a inflação dos alimentos era uma das principais preocupações nacionais e mundiais. Muitas das commodities agrícolas têm mais de uma aptidão podendo ser utilizadas no atendimento simultâneo de demandas por alimentos, fibras, energia e serviços ecossistêmicos o que acrescenta uma importante dose de incerteza aos seus mercados internacionais e preços.

Está claro que o nosso planeta tem limites e estamos próximos a alcançar ou ultrapassar vários deles como a disponibilidade de recursos naturais; a capacidade de assimilar os efeitos das atividades humanas e a disponibilidade de novas áreas para a agricultura, por exemplo.

A expansão da produção precisará ocorrer de modo sustentável e, para isso, precisará se apoiar cada vez mais nas novas tecnologias. A busca da sustentabilidade da produção agrícola passa obrigatoriamente pela sustentabilidade do manejo de plantas daninhas.

### ***Características de plantas daninhas.***

Há um amplo conjunto de conceitos de plantas daninhas criados em diferentes momentos e com diferentes propósitos, mas todos eles consideram que estas plantas interferem negativamente nas atividades humanas. A grande diversidade de espécies e características desenvolvidas pelas plantas daninhas impossibilita a criação de um conceito objetivo assim como a seleção de um conjunto único de características que as tornam aptas a ocorrerem como daninhas, mas procuraremos apresentar e discutir o que entendemos como as principais características gerais de plantas daninhas:

- a) São plantas com grande habilidade em se reproduzir. As características dos propágulos (grandes ou pequenos; diferentes tipos de dormência; longevidade) se ajustam às diferentes condições e pressões ambientais;
- b) Distribuem sua germinação e sua prole no espaço (dispersão) e no tempo (dormência, longevidade e controle da germinação);
- c) São pouco exigentes para crescerem e se reproduzirem;
- d) Utilizam várias táticas para ocupar os ambientes disponíveis (exemplo: produção de compostos alelopáticos ou o parasitismo de plantas cultivadas);
- e) As populações e comunidades de plantas daninhas apresentam elevada diversidade genética e se adaptam ao ambiente e a modificações nos sistemas de produção (exemplos: presença de palha; preparo ou não do solo). A diversidade genética pode ser associada à ocorrência de diferentes gêneros e espécies ou à ocorrência de diferentes genótipos de uma mesma espécie;
- f) Resistem ao controle. Não apenas aos herbicidas, mas a qualquer prática de controle que seja desenvolvida e utilizada.

### ***Prejuízos provocados e métodos de controle de plantas daninhas.***

Não podemos esquecer-nos de algo muito simples e fundamental: plantas daninhas são plantas. É extremamente complexo desenvolver programas de controle de plantas daninhas com elevado nível de eficácia para um amplo conjunto de espécies daninhas, sem que ocorra qualquer tipo de efeito sobre as plantas cultivadas. O controle de plantas daninhas deve garantir e não colocar em risco a produção. Há ainda, outras preocupações como a contaminação do ambiente, dos produtos obtidos, dos consumidores e dos produtores. Quem lida com o controle de plantas daninhas precisa sempre considerar que um método altamente eficaz pode não ser a melhor alternativa se comprometer qualquer uma das características citadas.

Temos que ajustar a intensidade das práticas de controle (relacionada à eficácia, dose, persistência e uso de misturas de herbicidas, por exemplo) avaliando todos estes aspectos. Considerando essas preocupações, podemos afirmar que plantas daninhas:

- a) Competem pelos vários fatores de crescimento e podem produzir compostos alelopáticos, reduzindo a produção agrícola;
- b) Podem ser tóxicas para animais de interesse ou humanos;
- c) Podem hospedar / multiplicar organismos prejudiciais às plantas cultivadas (pragas, nematoides e causadores de doenças, por exemplo);
- d) Podem facilitar a ocorrência de incêndios e dificultar tratos culturais e a colheita.
- f) Interferem sobre as plantas cultivadas, entendendo-se por interferência todo o conjunto de efeitos das plantas daninhas sobre as plantas cultivadas;
- g) Tornam necessários os métodos de controle. Em praticamente todas as situações em que se cultivam plantas, o uso de métodos do controle é fundamental para garantir a produção; Indiretamente, são responsáveis por todos os efeitos econômicos, ambientais e sociais dos métodos de controle.

Mesmo quando as práticas de controle são eficazes e evitam todos os possíveis efeitos das plantas daninhas discutidos, há um importante prejuízo ao sistema de produção, pois o controle foi necessário e utilizado, promovendo todos os benefícios e prejuízos a ele associados. Dentre os principais riscos e prejuízos das práticas de controle de plantas daninhas, podemos citar:

- a) Aumento do custo de produção. Está sempre presente, mesmo que o controle seja eficaz e seguro, há a necessidade de recursos financeiros para utilizá-lo;
- b) Possíveis intoxicações da cultura e reduções de produtividade;
- c) Possível ocorrência de contaminações do produto, do ambiente e dos produtores.

Considerando que o controle das plantas daninhas é feito na quase totalidade das áreas de produção agrícola, é fundamental estudar os efeitos dos métodos de controle sobre as plantas cultivadas, nas cadeias de produção e consumo e sobre o meio ambiente.

Quanto ao uso e características dos métodos de controle das plantas daninhas, também há considerações a serem apresentadas. A primeira refere-se à importância relativa dos vários métodos. O principal método de controle de plantas daninhas em áreas agrícolas é sempre a própria cultura. O segundo método mais importante é a cobertura do solo pela palhada (quando presente e não ocorre o preparo do solo). Os demais métodos de controle devem ser utilizados onde e quando o controle exercido pela cultura e pela cobertura do solo não é suficiente para controlar as plantas daninhas. Em geral, a necessidade dos demais métodos de controle é maior quando é baixa a ocupação do ambiente pela cultura com destaque para o início do ciclo. Considerando as limitações econômicas, ambientais e a segurança para a cultura, seria impossível controlar quimicamente (apenas como exemplo) as plantas daninhas ao longo de todo ciclo das culturas, se não pudessemos contar com a valiosa contribuição da própria cultura e da palhada (quando presente).

Muitos ainda não se deram conta deste fato, mas utilizamos a integração de métodos de controle de plantas daninhas em praticamente todas as culturas anuais ou perenes. Mesmo quando desenvolvemos um programa de controle de plantas daninhas que aparentemente considera apenas o uso de herbicidas, estamos praticando o manejo integrado de plantas daninhas. Mesmo nesta condição, o papel do controle químico será secundário, cabendo à cultura e à palhada (quando presente) a maior parte da ação sobre a comunidade de plantas daninhas. Melhorar o crescimento da cultura é o único modo de intensificar o controle de plantas daninhas sem elevar os riscos para a mesma.

### ***Contribuição dos estudos de biologia e ecologia de plantas daninhas.***

Embora o estudo de características de espécies habitualmente daninhas tenha sido sempre apregoadado como fundamental para o desenvolvimento de sistemas sustentáveis de manejo de plantas daninhas, a realidade nem sempre era esta. Muito esforço era feito no sentido de desenvolver as práticas de controle, principalmente os herbicidas, e pouco era feito em termos de ciência básica. Este panorama foi profundamente alterado com a ocorrência de plantas daninhas resistentes aos herbicidas.

Tornou-se fundamental aprofundar o conhecimento das plantas daninhas, para que fossem desenvolvidas novas estratégias de controle. Destacam-se os trabalhos nas áreas de fisiologia, bioquímica e genética molecular, relacionados à ação de herbicidas. Mas ainda são escassas as informações sobre autoecologia, estrutura genética das populações e estratégias reprodutivas das principais espécies de plantas daninhas.

Informações sobre os principais herbicidas de amplo uso e associados a culturas transgênicas.

## ***Glyphosate***

O glyphosate é o herbicida de maior uso em todo o mundo e o seu mercado tem crescido continuamente nas últimas décadas. Em 2011-2012 o mercado mundial de glyphosate deverá superar um bilhão de kg do ácido glyphosate correspondendo, aproximadamente, a um bilhão de hectares tratados com o herbicida ao ano. Inicialmente foi desenvolvido como um herbicida de alto custo destinado ao controle de plantas perenes em função do seu amplo espectro de controle e capacidade de translocação. A redução do preço do glyphosate criou uma segunda onda de consumo e este herbicida se tornou a principal opção para as aplicações de manejo em plantio direto ou em cultivo mínimo em culturas anuais ou perenes, para o manejo de plantas daninhas em culturas perenes e em áreas não agrícolas. Uma terceira onda de consumo sustenta-se no uso de culturas geneticamente modificadas que são resistentes ao glyphosate.

O mercado de glyphosate tem crescido continuamente desde o seu lançamento, o que é uma boa notícia por tratar-se de um herbicida pouco tóxico com rápida dissipação no ambiente e associado ao uso de práticas conservacionistas. Mas este crescimento também gera preocupação na medida em que esta ferramenta se torna cada dia mais indispensável na maioria dos sistemas de produção agrícola e também em áreas não agrícolas. A hegemonia do glyphosate no controle de plantas daninhas precisa ser urgentemente associada a ações voltadas à sustentabilidade do seu uso. A redução da diversidade, associada ao uso contínuo de uma única prática de controle, cria condições altamente favoráveis para o desenvolvimento de plantas daninhas resistentes à mesma ou à seleção de espécies tolerantes. Para evitar ou minimizar a seleção de flora e a resistência é fundamental ampliar a diversidade das práticas de controle.

O glyphosate é tão importante para os sistemas de produção agrícola que a sustentabilidade do seu uso está relacionada à própria sustentabilidade destes sistemas. São exemplos de situações em que o glyphosate é indispensável: o cultivo mínimo em florestas de eucalipto, o plantio direto em soja ou milho, a integração lavoura-pecuária, a eliminação química de soqueiras de cana-de-açúcar. Além destes exemplos, é fundamental para o manejo de plantas daninhas em lagos, reservatórios, rodovias, ferrovias e em áreas urbanas ou industriais.

O desenvolvimento de resistência de plantas daninhas ao glyphosate é um evento que ocorre rapidamente e em escala mundial. Se os sistemas de produção não forem alterados para se contrapor a este efeito, há o risco real de que o uso deste herbicida sofra severas restrições nos próximos anos, com impactos altamente negativos para vários dos sistemas de produção conservacionistas.

## ***Glufosinate***

O uso deste herbicida também cresce rapidamente em função de suas características técnicas (espectro de controle e modalidades de uso), ambientais, toxicológicas e do desenvolvimento de culturas resistentes. O glufosinate distingue-se dos demais herbicidas utilizados em larga escala por ser produzido por fermentação e não por processos convencionais de síntese.

## ***2,4-D e dicamba***

Culturas resistentes a estes herbicidas estão sendo desenvolvidas e poderão se tornar importantes ferramentas no manejo de plantas daninhas resistentes a outros herbicidas, sobretudo do glyphosate. São herbicidas com perfis toxicológicos e ambientais bastante favoráveis.

No caso do 2,4-D há outro aspecto bastante favorável e relevante: apesar de amplamente utilizado nos últimos 65 anos, ainda são escassos os relatos de resistência, possivelmente em função da complexidade do seu mecanismo de ação.

### **Breve histórico do controle de plantas daninhas.**

As informações apresentadas foram compiladas a partir de várias publicações e textos em jornais e revistas destacando-se os trabalhos de Anderson (1977), Klingman e Ashton (1975), Appleby (2005) e Timmons (2005). Infelizmente não há trabalhos procurando levantar informações históricas sobre o controle de plantas daninhas na América Latina. Apresentamos, a seguir, um cronograma simplificado dos principais fatos relacionados ao tema. As datas são aproximadas e não há unanimidade entre as fontes citadas e outras disponíveis, sobre as mesmas.

- a) Início da agricultura (6.500 a.c.) até os anos 1600-1650: o controle era feito manualmente.
- b) 1600 a 1890: grande avanço e uso do controle mecânico com tração animal. A partir deste período houve grande evolução do cultivo mecânico com uso de tratores.
- c) Final do século 19: além do controle mecânico já havia o uso de calda bordaleza.
- d) 1900 a 1945: expansão do controle químico com uso de ácidos e sais inorgânicos com destaque para o ácido sulfúrico, o arseniato de sódio, o nitrato de cobre, o sulfato de ferro e diversos sais de amônio, sódio e de potássio. O acetato de dinoseb foi introduzido em 1932.
- e) 1925: início do programa de controle biológico clássico de *Opuntia* spp utilizando insetos desenvolvido na Austrália. Vários outros exemplos de grande sucesso foram desenvolvidos até os dias atuais. A partir de 1980 foi intensificado o uso do controle biológico utilizando a estratégia inoculativa, fundamentado em patógenos, principalmente.
- f) 1944 a 1955: desenvolvimento de vários herbicidas que são ácidos fenólicos: 2,4-D; MCPA; 2,4,5-T. Destaca-se o 2,4-D com amplo uso até os dias atuais e o primeiro exemplo de herbicida seletivo (controla preferencialmente dicotiledôneas).
- g) Entre 1950 e 1960: desenvolvimento do conceito de controle em pré-emergência. O primeiro herbicida registrado para uso em pré-emergência foi o monuron, em 1952. Alguns herbicidas de grande destaque mundial, como o diuron e a atrazina, foram sintetizados e registrados nesta década.
- h) De 1960 aos dias atuais: registro de um amplo conjunto de herbicidas, com diferentes características e modos de utilização.
- i) 1971: registro do glyphosate. Este foi o primeiro composto a proporcionar efetivo controle de plantas perenes com reprodução vegetativa como *Cyperus rotundus*.
- j) De 1990 aos dias atuais: grande redução do preço médio do glyphosate viabilizando o uso em larga escala do plantio direto / cultivo mínimo.
- k) 1996: introdução das variedades de soja transgênicas resistentes ao glyphosate. Atualmente são várias as culturas que dispõem de variedades transgênicas resistentes a outros herbicidas como glufosinate, 2,4-D (em desenvolvimento) e dicamba (em desenvolvimento). Em 2011 a área total acumulada cultivada com culturas transgênicas alcançou um bilhão de hectares sendo que culturas resistentes a herbicidas foram utilizadas em 70% deste total. Em 15 anos (1996 a 2011) houve um aumento de 87 vezes na área cultivada com culturas transgênicas indicando que esta foi a tecnologia com mais rápida aceitação pelos produtores em toda a história da agricultura.
- l) De 1995 aos dias atuais: desenvolvimento da agricultura de precisão a partir da evolução da eletrônica embarcada (nos equipamentos agrícolas) e dos sistemas de posicionamento globais (GPS).
- m) Meados da década dos 60: observada a resistência de *Senecio vulgaris* a triazinas. Este é primeiro caso de resistência de plantas daninhas a herbicidas. Atualmente, há mais de 700 relatos de resistência e 300 combinações entre espécies e mecanismos de ação para as quais já se observou resistência em um ou mais locais.
- n) 1996: primeiro relato de resistência ao glyphosate, observada em *Lolium rigidum*. Atualmente há mais de 20 espécies de plantas daninhas resistentes a este herbicida, colocando em risco a continuidade do seu uso.

- o) 1962 até os dias atuais: a preocupação com a preservação e recuperação ambiental evolui continuamente, passando a permear todas as atividades humanas. O ano de 1962 foi selecionado como demarcador por corresponder ao ano em que Rachel Carson publicou o livro "Silent Spring" (Primavera Silenciosa), um importante marco inicial dos movimentos ambientalistas mundiais.

### ***Futuro do manejo das plantas daninhas.***

Considerando o panorama apresentado, são feitas algumas projeções sobre o manejo de plantas daninhas no futuro. Para simplificar o entendimento, estas projeções foram agrupadas por tópicos e são apresentadas a seguir:

#### ***Desenvolvimento de Novos Herbicidas:***

O lançamento de novos produtos teve seu auge entre os anos de 1980 e 2000 com uma taxa média anual próxima de 6. Após este período a média global anual foi reduzida a 2,66. É bastante provável que esta tendência de redução do número de novos registros se mantenha no futuro. As prováveis justificativas para este comportamento são: a) a difusão das culturas transgênicas resistentes a herbicidas como glyphosate e glufosinate permitindo a estes herbicidas ocupar mercados de outros produtos que já eram comercializados ou que nem chegaram a ser desenvolvidos; b) aumento dos custos de registro de novas moléculas; c) elevação dos patamares de qualidade e segurança (para o ambiente e aplicadores) para os novos produtos; d) a redução dos custos para desenvolver e registrar novas linhagens transgênicas resistentes a herbicidas (atualmente é da ordem de 1/3 do custo de registro de um novo produto).

Conforme já citado nesse texto, as enzimas envolvidas na degradação de glufosinate, 2,4-D, dicamba e aryloxyphenoxy-propionatos (haloxyfop e outros) podem constituir novos sítios para a ação de compostos com capacidade de bloqueá-las. Seriam herbicidas especificamente desenvolvidos para a eliminação da resistência nas culturas geneticamente modificadas para suportar a aplicação dos mesmos.

#### ***Desenvolvimento de Tecnologias de Controle Fundamentadas na Expressão de Genes***

O rápido avanço da genética molecular pode viabilizar, no futuro, tecnologias inimagináveis nos dias atuais. Em termos de controle de plantas daninhas, o avanço das várias tecnologias para interferir na expressão de genes são as mais promissoras.

Todos os herbicidas desenvolvidos até o momento têm sua ação relacionada à ligação a proteínas (enzimas em sua maioria). Quando ocorre a ligação a enzimas, o efeito normalmente observado é a redução da atividade ou o completo bloqueio da atividade das mesmas.

Resultado similar poderia ser alcançado se o bloqueio ocorresse ao nível da expressão do gene responsável pela produção da enzima. Seria possível evitar a atividade de uma determinada enzima, tanto a inibindo diretamente (o que já é feito por muitos dos herbicidas) quanto evitando que houvesse a produção de unidades efetivas da mesma. Quais seriam as vantagens do uso de tecnologias que interferissem ao nível dos ácidos nucleicos alterando a expressão de genes a síntese de proteínas / enzimas?

A principal vantagem refere-se a um possível aumento dos níveis de seletividade. A cada três nucleotídeos (com quatro opções em termos de bases nitrogenadas), é codificado um aminoácido na sequência proteica. Há um total de  $4^3 = 64$  possibilidades em termos de nucleotídeos (ou bases nitrogenadas) para um conjunto de 20 aminoácidos. Muitas vezes um aminoácido corresponde a mais de uma trinca de bases. Em geral, alterações na última base da trinca não implicam em alteração do aminoácido na sequência proteica. Como consequência, duas enzimas idênticas poderiam ser produzidas, mesmo que os RNAs que as originaram fossem distintos.

Também seria muito maior o número possível de combinações diferentes que poderiam suportar a atuação diferencial de novos “herbicidas” que teriam este tipo de ação. A cada quatro aminoácidos (ou uma sequência de 12 nucleotídeos ou bases) o número de possibilidades seria ampliado em aproximadamente 105 vezes. Ainda, considerando quatro opções em termos de nucleotídeos ou bases nitrogenadas, há a possibilidade de constituir um total de 16.777.216 diferentes sequências de apenas 12 unidades.

A interferência ao nível de ácidos nucleicos, sobretudo RNA, já vem sendo utilizada para fins médicos. As dificuldades para viabilizar o uso destas tecnologias no controle de plantas em condições comerciais são enormes, mas há a possibilidade de que venham a ser empregadas no futuro, o que certamente traria grandes benefícios para o manejo de plantas daninhas.

### ***Uso de Compostos Naturais como Herbicidas:***

Compostos naturalmente produzidos têm sido a inspiração para a produção de novos inseticidas, fungicidas, herbicidas e fármacos. Em geral os compostos de ocorrência natural precisam sofrer algumas alterações para que possam alcançar os elevados padrões de eficácia, seletividade e segurança para que um novo defensivo possa ser desenvolvido e disponibilizado comercialmente. O mesotrione e o glufosinate são exemplos de herbicidas que derivam de compostos de ocorrência natural.

O uso de compostos exatamente como ocorrem naturalmente torna-se um desafio ainda maior se o objetivo for produzi-los também naturalmente. O composto natural mais bem estudado até o momento é o sorgoleone, produzido e excretado em pelos radiculares de sorgo. Existem projetos em andamento para aumentar a sua produção em condições de campo, com possível intensificação do controle de plantas daninhas. O uso comercial da tecnologia dependerá, também, de avaliações toxicológicas e ambientais.

### ***Desenvolvimento de Novos Agentes de Controle Biológico:***

Em futuro próximo, há um grande potencial de uso do controle biológico fundamentado na técnica inoculativa. Os avanços recentes indicam que a produção de novos bioherbicidas fundamentados no uso de patógenos, principalmente, será algo muito importante no futuro graças à difusão e uso de técnicas de melhoramento genético de microrganismos, cada dia mais amparadas na genética molecular. As grandes limitações ao uso do controle biológico com bioherbicidas fundamentados em patógenos continuarão sendo as mesmas atuais: a) a necessidade de desenvolver formulações seguras para o agente de controle e que garantam a ação do bioherbicida em diferentes condições ambientais; b) o fato dos bioherbicidas fundamentados em fitopatógenos serem praticamente específicos tornando necessário o uso de vários produtos quando a comunidade de plantas daninhas for composta por diferentes espécies; c) dificuldade em garantir que os fitopatógenos empregados serão seguros para a própria cultura e para outras espécies vegetais; d) elevados custos envolvidos na obtenção das informações necessárias ao registro de novos produtos.

### ***Desenvolvimento de Novas Variedades Resistentes a Herbicidas:***

Embora o uso de transgenia não seja obrigatório, os exemplos de maior sucesso em escala mundial utilizam esta abordagem (a produção de transgênicos). Destacam-se a resistência ao glyphosate e ao glufosinate, rapidamente incorporados à base genética de diversas culturas. Atualmente há vários projetos procurando expandir o uso dos genes de resistência já conhecidos em diferentes culturas e o desenvolvimento de novos genes de resistência. A principal alteração prevista para os próximos cinco anos é a combinação de genes de resistência a mais de um herbicida em uma mesma variedade. São exemplos de combinações que estarão em breve no mercado: resistência simultânea a glyphosate e glufosinate; resistência simultânea a dicamba e glyphosate; resistência simultânea a 2,4-D, haloxyfop (e outros aryloxyphenoxy-propionatos) e glyphosate. Inicialmente, as culturas beneficiadas pela incorporação da resistência a mais de um herbicida serão a soja, o milho e o algodão.

O desenvolvimento de culturas simultaneamente resistentes a mais de um herbicida (com espectros de controle complementares) é um grande avanço que em muito contribuirá para o manejo de plantas daninhas, sobretudo em áreas em que há a presença de biótipos resistentes a um dos herbicidas considerados. Contudo, se não for empregada da maneira correta, esta tecnologia poderá contribuir para intensificar o desenvolvimento de plantas daninhas simultaneamente resistentes a mais de um herbicida. É um grande desafio, para quem lida com o manejo de plantas daninhas, estabelecer os cuidados e estratégias para que as variedades resistentes a mais de um herbicida possam ser sustentavelmente utilizadas no futuro.

Também causa grande preocupação, a necessidade de contar com alternativas para o controle destas culturas, quando ocorrem como daninhas em culturas sucessão ou quando há a necessidade de manter o vazio sanitário para o manejo de pragas ou doenças. Neste aspecto, há uma nova oportunidade para as empresas que se dedicam ao desenvolvimento de herbicidas: seria muito relevante dispor de compostos que pudessem inibir a ação das enzimas envolvidas na degradação de herbicidas como o glufosinate, dicamba, 2,4-D e haloxyfop nas variedades transgênicas tolerantes aos mesmos. A resistência da cultura poderia ser quimicamente removida, facilitando o seu controle. No caso do glyphosate esta possibilidade não existe, pois a resistência está associada à modificação do sítio de ação e não à degradação do herbicida.

### ***Desenvolvimento de Variedades Transgênicas Adaptadas ao Ambiente e Tolerantes a Estresses Bióticos e Abióticos:***

Nos próximos dez anos, estão previstos lançamentos de variedades transgênicas mais tolerantes ao estresse hídrico, com maior tolerância a temperaturas altas ou baixas, com maior absorção ou menor necessidade de nutrientes, menos sensíveis a pragas e doenças, com maior velocidade de crescimento e mais produtivas, por exemplo. Certamente estas características permitirão o menor uso de insumos que podem beneficiar também as plantas daninhas (exemplos: fertilizantes, inseticidas e fungicidas) e aumentarão a velocidade de ocupação do ambiente por parte da cultura, limitando, de modo mais precoce, o crescimento das plantas daninhas. Este aspecto é altamente relevante se considerarmos que o principal agente de controle de plantas daninhas em áreas agrícolas é a própria cultura.

### ***Melhor Uso das Coberturas de Solo***

A cobertura do solo com resíduos de culturas anteriores tem contribuído muito para o manejo de plantas daninhas em culturas anuais e perenes. Esta prática promove grandes benefícios ambientais por reduzir a erosão. O controle da erosão é fundamental para reduzir a contaminação, de origem agrícola, de coleções superficiais de águas (rios e lagos). O processo erosivo pode carregar grandes quantidades de solo com altos teores de nutrientes e contaminados com defensivos para dentro de rios e lagos. Muito pouco tem sido feito para compreender a interferência das palhadas na dinâmica de herbicidas e de populações de plantas daninhas. Provavelmente estarão disponíveis, em médio e longo prazo, tecnologias de várias naturezas que permitirão estender o período de permanência de palhadas sobre o solo, aumentando o potencial de controle de plantas daninhas e facilitando o uso do plantio direto em regiões tropicais.

### ***Evolução das Tecnologias Fundamentadas na Agricultura de Precisão:***

Um grande avanço já ocorreu nos últimos 15 anos, mas em futuro próximo, serão incorporados todos os avanços referentes a sistemas sensores, sobretudo o imageamento de alta resolução espacial, espectral e temporal, de baixo custo. Atualmente, os sistemas de imageamento apresentam uma ou outra destas quatro características e raramente combinam duas delas. Nos próximos 10 a 15 anos provavelmente estarão disponíveis sistemas sensores que combinem estes quatro atributos permitindo, efetivamente, a criação de mapas de infestação de alta precisão e atualidade. Possivelmente as imagens e mapas poderão ser obtidos em fluxo contínuo até mesmo utilizando os próprios sistemas de aplicação (no caso de herbicidas) ou de controle (quando forem utilizadas outras técnicas).

O uso de sistemas mais eficazes para distribuir sementes, fertilizantes e outros insumos também pode levar ao crescimento mais rápido e uniforme da cultura, reduzindo a dependência do uso de herbicidas e outras práticas de controle de plantas daninhas.

Em termos de equipamentos de aplicação, pode-se dizer que o futuro já chegou. Já dispomos de equipamentos que, por exemplo, aplicam em taxas variáveis; que promovem a injeção dos herbicidas apenas na barra de aplicação; que permitem alterar as características da aplicação em função das condições ambientais ou que avaliam o nível de infestação e decidem pela aplicação ou não do herbicida. Hoje, esta avaliação é feita de modo global em função da reflexão de luz pela clorofila; em prazo médio a longo, será possível identificar as espécies pontualmente presentes e determinar sobre qual produto ou dose aplicar.

### ***Evolução da Tecnologia de Aplicação e Segurança Ambiental:***

Houve avanços notáveis em termos de qualidade de aplicação nas últimas décadas, mas ainda há alguns avanços fundamentais para que as aplicações de herbicidas possam ser efetivamente consideradas seguras do ponto de vista ambiental: a) reduzir o uso de herbicidas e adjuvantes de alta toxicidade, alta volatilidade, alta persistência, tóxicos para espécies não alvo e com elevada probabilidade de contaminar coleções de água superficiais ou subterrâneas; b) tornar as aplicações mais eficazes reduzindo o consumo de herbicidas; c) reduzir as perdas por deriva, que podem chegar a 52% em aplicações comerciais de herbicidas; d) reduzir o consumo de água nas aplicações. Em grande parte, todos estes objetivos já podem ser alcançados apenas pela aplicação do conhecimento e das tecnologias já disponíveis. O aumento das pressões para o uso de sistemas de produção sustentáveis certamente tornará obrigatório alcançá-los em futuro bastante próximo.

### ***Outras Práticas de Controle:***

O controle de plantas daninhas pode ser feito também com o uso de eletricidade, fogo (gerado pela queima de gases inflamáveis), solarização (uso de plásticos transparentes para aquecer o solo), aplicação de vapor, revestimento do solo com materiais impermeáveis ou semipermeáveis, uso de luz ultravioleta, aquecimento do solo ou das plantas com microondas (promovendo a morte de sementes ou plantas). Algumas destas técnicas podem alcançar elevados níveis de eficácia, mas, em geral, demandam elevadas quantidades de energia, combustíveis e outras matérias primas utilizadas na obtenção dos materiais necessários (plásticos, por exemplo). Algumas destas técnicas de controle são até mais antigas do que os próprios herbicidas sendo possível prever, a partir do uso limitado na atualidade, que a evolução do uso das mesmas será pouco expressiva no futuro próximo.

### ***Efeitos das Mudanças Climáticas Globais***

O aumento das concentrações de  $\text{CO}_2$ , a elevação da temperatura e a alteração dos regimes hídricos alterará significativamente o potencial de crescimento das plantas cultivadas e também das plantas daninhas. O aumento das concentrações de  $\text{CO}_2$  pode aumentar drasticamente a eficiência fotossintética e a eficiência no uso de água de plantas  $\text{C}_3$ ; os efeitos em plantas  $\text{C}_4$  são menos evidentes. Por outro lado, a elevação das temperaturas nos locais em que se pratica a agricultura tende a beneficiar mais intensamente as plantas  $\text{C}_4$ .

Ainda é cedo para prever, com um mínimo de precisão, como as alterações climáticas e as mudanças nas concentrações de gases na atmosfera afetarão as relações plantas daninhas / culturas. Mas é certo que mudanças importantes ocorrerão.

### ***Intensificação do Uso e Maior Compreensão do Manejo Integrado de Plantas Daninhas***

O manejo integrado consiste em adotar e integrar os vários métodos de controle, de maneira segura para a cultura e para o ambiente, com o objetivo de manter as populações alvo, abaixo do nível de dano econômico.

No caso de plantas daninhas o nível de dano econômico normalmente está associado à quantidade de biomassa acumulada por unidade de área e não ao número de indivíduos. Destacamos, a seguir, uma série de técnicas que são fundamentais para o manejo integrado de plantas daninhas que serão beneficiadas pelo desenvolvimento e aprimoramento de novas tecnologias no futuro:

- a) Correta identificação das “espécies” alvo. A identificação poderá ser feita ao nível de biótipos, com o desenvolvimento de novos procedimentos fundamentados em genética molecular, por exemplo.
- b) Planejamento das ações, a realização do que foi planejado e a avaliação dos resultados. Tem se intensificado a obtenção, articulação e aplicação das informações e do conhecimento de caráter local na elaboração de programas de manejo integrado de plantas daninhas. Desafio maior do que a obtenção das informações é criar os procedimentos que permitam o seu uso, principalmente em grandes unidades de produção. A evolução das tecnologias voltadas ao tratamento de banco de dados promoverá avanços significativos neste aspecto.
- c) Tomada de decisões fundamentadas em informações e no conhecimento.
- d) Aumento e preservação da capacidade de controle da cultura e do meio (incluindo a cobertura do solo), conforme já foi discutido.
- e) Desenvolvimento de novas ferramentas de controle (exemplos: controle biológico e herbicidas naturais).
- f) Uso de métodos de controle seguros para a cultura e para o ambiente;
- g) Combinação de diferentes práticas de controle, com níveis de eficácia individualmente maximizados, reduzindo a dependência em relação a cada uma delas e evitando (ou retardando) o desenvolvimento de biótipos resistentes.
- h) Manutenção das densidades populacionais em níveis manejáveis. Este cuidado será simplificado com o uso de novas técnicas para o mapeamento da ocorrência de plantas daninhas (possivelmente ao nível e espécie ou de biótipos).
- i) Evitar o aumento da diversidade genética das comunidades de plantas daninhas evitando a seleção ou introdução de espécies ou genótipos de difícil controle, com destaque para os biótipos resistentes a herbicidas.
- j) Considerar os efeitos imediatos dos métodos de controle e, também, os seus efeitos ao longo de ciclos de produção.
- k) Melhorar as técnicas de aplicação de herbicidas, aumentando a eficácia e a segurança destes produtos.

O manejo de plantas daninhas é uma atividade altamente complexa, sem espaço para o improviso. Demanda pessoal qualificado tanto para a tomada de decisões quanto para a realização das operações, sob o risco de ocorrerem problemas ambientais e contaminação de produtores e consumidores, além de possíveis reduções de crescimento, produtividade e lucratividade das culturas. O desenvolvimento de novas tecnologias certamente contribuirá para que estes problemas sejam evitados.

---

## Bibliografia

Anderson, W. P. *Weed science: principles*. New York: West Publishing, 1977. 598 p .

Appleby, A.P. (2005) *A History of Weed Control in the United States and Canada – a Sequel*. *Weed Science: November 2005, Vol. 53, No. 6, pp. 762-768.*

Klingman, G.C. and Ashton, F.M., 1975. *Weed Science: Principles and Practices*. Wiley, New York, 431 pp.

Timmons, F.L. (2005) *A History of Weed Control in the United States and Canada*. *Weed Science: November 2005, Vol. 53, No. 6, pp. 748-761.*