



A dinâmica dos herbicidas
no ambiente e a
sustentabilidade agrícola

Núbia Maria Correia

A dinâmica dos herbicidas no ambiente e a sustentabilidade agrícola

Resumo

A sustentabilidade agrícola baseia-se em três objetivos: respeito ao meio ambiente, viabilidade econômica e justiça social e trabalhista. Nessa agricultura moderna e sustentável, fortemente orientada para cultivos rentáveis, os produtos químicos, como os herbicidas, podem ser usados, desde que de forma racional. Deve-se preocupar não apenas com a contaminação do produto colhido ou com a saúde humana, mas também com a preservação do agroecossistema. Grande parte do total dos herbicidas aplicados nos campos agrícolas não atinge a superfície-alvo (solo ou planta) e acaba alcançando, direta ou indiretamente, o solo. Assim, mesmo em uma aplicação em pós-emergência (sobre as plantas), parte do herbicida atingirá o solo. No solo, inicia-se o processo de redistribuição e degradação dos produtos aplicados, que pode ser extremamente curto ou durar meses ou anos. O comportamento de herbicidas no ambiente é regulado por processos de transporte, retenção e/ou transformação, que interagem entre si, embora sejam descritos de forma isolada. Perdas por volatilização, deriva, lixiviação e escoamento superficial e subsuperficial são exemplos de transporte. Nesse caso, o produto poderá se acumular em culturas vizinhas sensíveis, na atmosfera e/ou em recursos hídricos subsuperficiais e superficiais. A absorção do herbicida pelas plantas e microrganismos ou a sua adsorção ao solo são entendidos como processos de retenção. A transformação da molécula do herbicida inclui reações químicas de natureza abiótica (degradação química), biológica (biodegradação) ou promovida pela radiação solar (fotodegradação). De forma geral, a biodegradação dos herbicidas é a principal forma de dissipação dos herbicidas no ambiente. É importante promover a conscientização dos produtores rurais e profissionais da área sobre o uso racional dos herbicidas nas lavouras, que é um dos princípios da sustentabilidade agrícola. Entender a dinâmica desses produtos no sistema solo-água-atmosfera é essencial para prevenir perdas e a contaminação ambiental, em busca de uma desejada produção sustentável, em todas as suas dimensões.

Termos para indexação: agroecossistema, planta daninha, produto fitossanitário.

Dynamics of herbicides in the environment and agricultural sustainability

Abstract

Agricultural sustainability is based on three main pillars: environmental respect, social and labor fair and economically viable. In modern and sustainable agriculture, which is strongly oriented towards cash cropping, chemical products as herbicides may be used, but rationally. As well as the contamination of harvested products or the human health, the agroecosystem preservation should also be under concerned. Most of the herbicides applied does not reach the target surface (soil or plant) and ends up reaching the soil either directly or indirectly. Thus, even in the case of post-emergence spray (over the plants), part of the herbicide will reach the soil. In the soil, the redistribution and degradation of sprayed products can be extremely short, or takes months or years. The behavior of herbicides in the environment depends on transportation, retention and/or transformation processes that interact with each other, although they are described individually. Volatilization, drift, leaching and surface and subsurface runoff losses are examples of transportation. In these cases, the product can accumulate in sensitive neighbor crops, in the atmosphere and/or in surface and subsurface water resources. Herbicide absorption by plants and microorganisms or its adsorption to the soil are retention processes. The herbicide molecule can be transformed by chemical reactions such as abiotic (chemical degradation) and biological (biodegradation) processes or by solar radiation (photodegradation). Generally, herbicide biodegradation is the main form of its dissipation to the environment. It is important to raise the farmers' and technical professionals' awareness on the rational use of herbicides, one of the principles of agricultural sustainability. Understanding the dynamics of these products in the soil-water-atmosphere system is essential to prevent losses and environmental contamination, aiming at the sustainable production in all dimensions.

Index terms: agroecosystem, weed, phytosanitary product.

Introdução



sustentabilidade agrícola baseia-se em três objetivos principais: respeito ao meio ambiente, viabilidade econômica e justiça social e trabalhista. Na agricultura moderna e sustentável, produtos químicos, como os herbicidas, podem ser usados, desde que seja de forma racional. Deve-se preocupar não apenas com a contaminação do produto colhido ou com a saúde humana, mas também com a preservação do agroecossistema. Afinal, esses produtos não podem ser agentes poluidores do solo, do ar ou da água.

Na agricultura orgânica, na qual não são utilizados fertilizantes sintéticos solúveis, agrotóxicos e plantas transgênicas, o controle de plantas daninhas é feito, principalmente, por métodos mecânicos (capina, uso de cultivador ou roçadora) ou físicos (cobertura do solo, seja com resíduos vegetais como palha ou palhada, seja com lâmina de polietileno – *mulching*). O *mulching* é comum no cultivo de algumas hortaliças, como tomate estaqueado e morango. No entanto, mesmo na agricultura tradicional (não orgânica), preconiza-se o manejo integrado de plantas daninhas, no qual estratégias preventivas (uso de sementes puras, isentas de disseminulos¹ de plantas daninhas), culturais (escolha da cultivar e da população de plantas por hectare adequadas), físicas (palha ou *mulching*) e químicas (herbicidas) devem ser associadas, buscando-se o desenvolvimento pleno da cultura.

¹ Semente ou fruto de planta daninha.

Depois da pulverização, os herbicidas estão sujeitos a uma série de processos ou fenômenos que podem levar a perdas, intoxicação ou poluição ambiental. É óbvio que esses produtos não foram desenvolvidos para intoxicar ou poluir o ambiente. Assim, se isso ocorre no campo é porque os produtos não foram adequadamente manejados. Para exercer a sua função, que é a de controlar as plantas daninhas, o herbicida deve atingir o alvo da pulverização, e não ficar fora dele. Mas, antes de tudo, é preciso definir certos termos, como planta daninha, herbicida e alvo da pulverização.

Planta daninha, uma expressão agronômica, está associada a danos (diretos e indiretos) causados às culturas agrícolas ou a qualquer outra atividade econômica. Trata-se de uma planta que, em determinado momento, interfere, direta ou indiretamente, nos interesses do homem. As plantas daninhas interferem nas culturas agrícolas tanto pela competição por água, nutrientes, luz e espaço, quanto pela eliminação de substâncias químicas, os aleloquímicos, que podem comprometer o desenvolvimento das plantas. Além dos danos diretos causados às culturas, como perdas na produção e na qualidade do produto colhido, as plantas daninhas servem como hospedeiras alternativas de pragas e doenças.

Qualquer espécie pode ser uma planta daninha, dependendo do momento e do local de ocorrência. Assim, plantas de milho (do cultivo anterior) que infestem a cultura da soja são consideradas daninhas, conhecidas pelos populares como planta voluntária, tiguera, resteva, inço, entre outros termos. E há

também as plantas daninhas verdadeiras, ou seja, aquelas que não foram melhoradas geneticamente e sobrevivem em condições adversas, como a tiririca (*Cyperus rotundus*), o picão-preto (*Bidens pilosa*) e a maria-pretinha (*Solanum americanum*). Ecologicamente, essas plantas são consideradas espécies pioneiras, porque são as primeiras a crescer e a fechar o dossel na sucessão florestal².

Herbicida é um produto químico que, em concentrações convenientes, inibe o desenvolvimento ou provoca a morte das plantas daninhas. Esses produtos exigem cuidados especiais na manipulação e na aplicação. Para muitos, trata-se de mais um defensivo agrícola, agrotóxico ou veneno a ser colocado no tanque do pulverizador. Porém, não é tão simples assim. Os herbicidas, em doses adequadas, controlam um grupo de espécies, preservando a cultura de interesse. No entanto, se não forem respeitados os limites de dose ou as épocas de aplicação recomendados, poderão matar ou causar danos irreversíveis à produção da cultura de interesse comercial. A etimologia da palavra é clara: *herbi-* significa planta, *cida-* significa mata, ou seja, “mata planta”.

Entre o grupo de herbicidas, têm-se: a) os seletivos (exemplo, atrazine para o milho, ou metribuzin para o tomate), que podem ser pulverizados nas culturas sem causar danos à produção, desde que respeitado o limite de doses indicado na bula e a época de aplicação; e b) os não seletivos (exemplos, glyphosate

² Processo de ocupação do solo por plantas, de ervas a árvores, depois que a vegetação original foi retirada. Em áreas de floresta, as primeiras espécies da capoeira são as pioneiras, e as do capoeirão são as secundárias, enquanto as da floresta madura, que geralmente necessitam de sombra na fase jovem, são as climácicas ou do clímax.

e paraquat), que não podem ser aplicados diretamente em nenhuma cultura, tanto antes quanto depois da emergência das plantas no campo, pois ocasionarão a morte das plantas.

Nas culturas transgênicas tolerantes ao herbicida glyphosate (como soja, milho e algodão), foi introduzido um gene que confere à planta a capacidade de sobreviver após a exposição ao glyphosate. As plantas que não passaram pelo processo de modificação genética são totalmente sensíveis ao herbicida e morrem após o tratamento com o produto.

Similar aos demais produtos fitossanitários (acaricida, fungicida, inseticida, nematicida, bactericida, etc.), os herbicidas também são classificados quanto ao seu grau de toxicidade ao homem e aos animais. Na classe I estão os produtos altamente tóxicos (exemplos, paraquat e fomesafen); na classe II, os medianamente tóxicos (exemplos, fluazifop-p-butyl e sethoxydim); na classe III, os pouco tóxicos (exemplos, imazaquin e ametryn); e na classe IV, os praticamente não tóxicos (exemplos, glyphosate e metribuzin). Essa informação consta na bula do produto comercial e, com base nela, deve-se usar o equipamento individual de proteção (EPI) apropriado para cada situação. Ultimamente, preconiza-se, para o manejo racional de plantas daninhas, o desenvolvimento de produtos medianamente tóxicos a praticamente não tóxicos.

Alvo é aquilo que o produto fitossanitário deve atingir no momento da pulverização. No caso dos herbicidas, o alvo pode ser uma planta indesejável ou o solo. Nas aplicações em pós-emergência, a planta

daninha já emergiu na superfície do solo (consegue-se visualizá-la no campo); então, o alvo é a planta. Quando isso ainda não ocorreu, o alvo é o solo, e a aplicação é feita em pré-emergência, ou seja, antes da emergência da planta no solo. Quando a semente da planta daninha iniciar o processo de germinação, serão emitidos a radícula e o caulículo. Essas estruturas é que absorverão o herbicida que atingiu o solo.

Nas aplicações em pós-emergência, parte do produto fica retida nas plantas, enquanto o restante atinge o solo. Assim, seja em pré ou em pós-emergência, o reservatório final dos herbicidas no ambiente é o solo. Esse fato é importante, pois é no solo que a molécula do herbicida será degradada até atingir uma forma não tóxica. Essa degradação é um processo natural, comum a todos os produtos, e não apenas aos mais modernos. O que existe é uma variação (de herbicida para herbicida) no tempo despendido para a transformação no solo, que pode ser mais ou menos longo, conforme o herbicida. Se o herbicida não tiver sido aplicado diretamente na água, o produto somente atingirá um manancial hídrico em superfície (como lagos, represas, córregos e rios) se houver algum erro na aplicação ou erosão hídrica (enxurrada). Na água, o herbicida também será degradado, rápida ou lentamente. Da mesma forma que no solo, o tempo despendido varia conforme a molécula.

É um erro comum afirmar que herbicidas são produtos químicos muito tóxicos, que permanecem indefinidamente no solo ou na água, contaminando, dessa maneira, áreas de cultivo e mananciais hídricos, com consequentes danos irreversíveis ao meio ambiente.

O resumo esquemático da dinâmica dos herbicidas no ambiente (sistema solo-água-atmosfera) está apresentado na Figura 1. Depois (ou no momento) da aplicação no campo, a molécula do herbicida pode ser transportada, transformada ou retida. No transporte, a molécula é desviada do alvo da aplicação, mas continua ativa (tóxica). A transformação é a degradação da molécula, que perde a atividade biológica, ou seja, a capacidade de matar a planta daninha. E, na retenção, o herbicida é adsorvido³ (retido, aderido) à fração sólida do solo (argila ou matéria orgânica) ou absorvido pelas plantas ou outros organismos vivos.

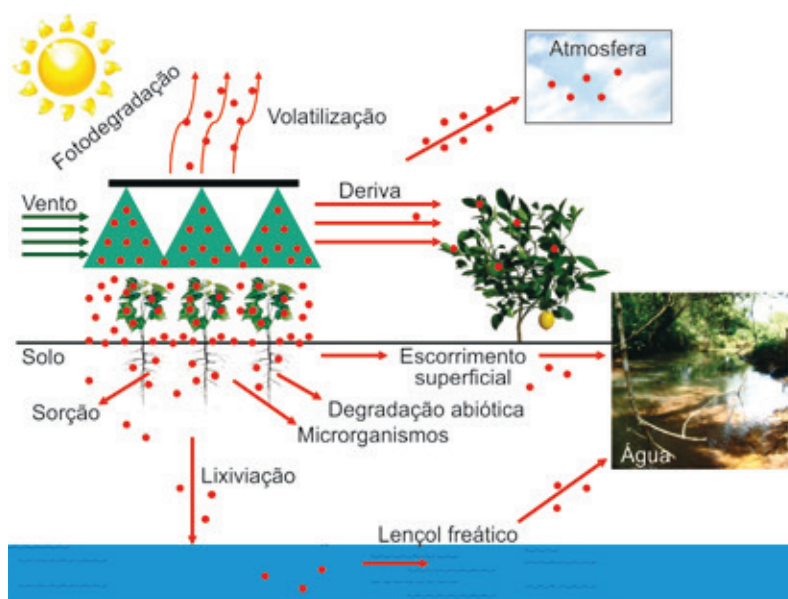


Figura 1. Resumo esquemático da dinâmica dos herbicidas no sistema solo-planta-água-atmosfera.

Créditos: Núbia Maria Correia

³ Interação do herbicida da fase líquida com a superfície das partículas da fase sólida do solo.

Transporte da molécula do herbicida



molécula do herbicida pode ser desviada do alvo da pulverização por diferentes formas. Inicialmente, já no momento da aplicação, o produto pode ser perdido para o ambiente por meio da deriva. De forma diferente daquela que ocorre com fungicidas e inseticidas, a deriva da aplicação de um herbicida pode ter ação fitotóxica em culturas vizinhas sensíveis. Entende-se por deriva o arraste das gotas pulverizadas pela ação do vento. Além do prejuízo agrônômico, decorrente da perda de eficácia – pois o produto não atingirá o alvo em concentração adequada –, há o prejuízo proveniente da contaminação. Além disso, no momento da aplicação, a molécula do herbicida pode ser perdida para a atmosfera por volatilização (vaporização). O produto passa para a forma de vapor, mas a sua propriedade tóxica é preservada, pois ocorre apenas a mudança de estado físico da matéria. Observações no campo indicam que esse vapor tóxico pode contaminar uma cultura sensível até 15 km do local de aplicação (deriva química) ou retornar ao solo junto com a água da chuva, no processo de condensação das moléculas.

Os prejuízos relacionados (deriva e volatilização) só ocorrem no campo em condições não apropriadas de aplicação, como umidade relativa do ar menor que 55%, temperatura do ar superior a 30 °C e velocidade do vento acima do indicado pela tecnologia de aplicação adotada. Outro fator importante

se refere ao tamanho das gotas, que pode condicioná-las a maior ou menor propensão a perdas por deriva. Por exemplo, pontas de pulverização com indução de ar geram gotas extremamente grossas, que são menos favoráveis a perdas por deriva e toleram uma condição maior de vento do que as gotas finas. Por isso, o herbicida é um produto seguro, desde que usado de forma adequada, respeitando-se as doses recomendadas e as condições edafoclimáticas no momento da aplicação.

Ao atingir o solo, o herbicida pode ser lixiviado (transporte em profundidade: vertical, dentro do solo) no perfil do solo ou escorrer superficialmente, podendo contaminar corpos hídricos subterâneos ou em superfície, respectivamente. Porém, esse fenômeno não se aplica especificamente a herbicidas, mas a qualquer outra classe de produto fitossanitário.

O escoamento superficial, conhecido popularmente como enxurrada, trata-se de movimento horizontal de água, solo e resíduos vegetais pela superfície do solo. O herbicida dissolvido na água ou retido na argila ou na matéria orgânica seguirá o fluxo, podendo atingir algum reservatório de água superficial. O escoamento superficial ocorre no campo em situações de chuva intensa, em decorrência da saturação do solo com a água e da ausência de práticas conservacionistas de solo, como o plantio direto sob cobertura morta (palha) e a construção de terraços. Essas práticas beneficiam a infiltração de água no solo, evitando, assim, a erosão hídrica.

Existem situações críticas onde a ausência de estratégias integradas ou planejadas para evitar problemas dessa natureza é notória, conforme ilustra a Figura 2. A Figura 2A mostra dois campos: um de produção de amendoim e outro de goiaba. O terreno é acidentado (com declive suave) e o solo é leve (arenoso). No encontro das duas culturas, na baixada, há um córrego, que está tomado por plantas daninhas aquáticas, onde um boi “tenta” saciar sua sede (Figura 2C). O solo está erodido (Figura 2C), o que ocasiona escoamento superficial, que resulta na perda de solo, água, fertilizante, herbicida, plantas de amendoim, etc., até alcançar o ponto mais baixo do terreno, onde se encontra o córrego. Excesso de plantas daninhas aquáticas é sinal de desequilíbrio, decorrente, entre outros fatores, do excesso de nutrientes na água, principalmente fósforo e nitrogênio. Tomando por base esse exemplo de escoamento superficial, pergunta-se: o que faltou e o que poderia resultar na contaminação da água? De onde surgiu o problema: da aplicação do herbicida ou do uso do fertilizante? A resposta é que faltou o conhecimento associado à prática de estratégias de manejo correto do solo.

Diferentemente do que ocorre com o escoamento superficial, na lixiviação o transporte é em profundidade (vertical, dentro do solo), através do perfil do solo, da fração dos sólidos dissolvidos na solução do solo. A lixiviação é influenciada por vários fatores, entre eles a solubilidade da molécula em água e a sua adsorção ao solo (argila e matéria orgânica). A solubilidade é a quantidade máxima de



Figura 2. Áreas de produção de amendoim e goiaba na região de Monte Alto, SP (A); erosão ocasionada pelo escoamento superficial de água no solo (B); córrego que separa as duas áreas (amendoim e goiaba) (C).

produto que se dissolve em água, formando uma única fase, sob determinada temperatura. Enfim, refere-se à afinidade do herbicida com a molécula da água. Já a adsorção é a atração e a adesão do herbicida à argila ou à matéria orgânica do solo e envolve processos hidrofóbicos, físicos e químicos.

De forma simplificada, o solo é constituído pela fração sólida (argila, silte, areia e matéria orgânica), pela solução (água do solo) e pelo ar (principalmente CO_2 e O_2). No solo, o herbicida pode ocupar esses três espaços. Para ser lixiviado, a molécula deve estar dissolvida na água do solo, pois, quando retida (adsorvida) na argila ou na matéria orgânica, está protegida desse tipo de perda. Por isso, as duas características – solubilidade em água e adsorção ao solo – são importantes e devem ser avaliadas em conjunto, e não separadamente. Herbicidas fortemente adsorvidos ao solo, mesmo extremamente solúveis em água, não estão propensos a perdas por lixiviação no solo.

Outros fatores que afetam a lixiviação dos herbicidas no solo são a quantidade e a frequência de água que atravessa o perfil do solo. Afinal, uma chuva de 100 mm com duração de duas horas é mais prejudicial, em termos de perda de produto por lixiviação e por escoamento superficial, do que a mesma intensidade distribuída em um período de uma semana, por exemplo. O produtor não tem como alterar o fluxo de chuvas; contudo, pode posicionar produtos menos passíveis de perda por lixiviação nos meses do ano com histórico de alta intensidade de chuvas, como dezembro e janeiro, no Centro-Sul do Brasil.

O prejuízo ambiental causado pela lixiviação do herbicida no solo é a contaminação do lençol freático. À medida que a água se aproxima da superfície, a possibilidade de contaminação é maior. A altura do lençol freático depende do relevo do terreno, da vegetação e da época do ano, e é bastante variável. Pode-se observar o afloramento da água na superfície do solo, formando nascentes ou minas d'água, até profundidades maiores.

A lixiviação também traz prejuízos agrônômicos relacionados à remoção do produto para profundidades, não agregando, então, vantagens para o controle das plantas daninhas. No solo, o herbicida distribui-se uniformemente ao longo do perfil, na horizontal e na vertical, nos primeiros 10 cm. É nessa camada superficial que se encontram as sementes, as radículas ou caulículos das plantas que os herbicidas inibirão. Essa distribuição é feita pela própria umidade do solo. Por isso, não há interesse agrônômico na permanência do herbicida em camadas mais profundas do solo (de 10 cm a 20 cm). Além disso, com o aprofundamento no perfil do solo, a degradação da molécula é mais lenta, por conta da menor atividade microbiana do solo.

Na busca por uma agricultura mais sustentável e ambientalmente aceitável, preconiza-se, portanto, que a aplicação de herbicidas no agroecossistema considere outros fatores, além da presença da planta daninha ou da cultura a serem pulverizadas, como: profundidade do lençol freático (se esse é mais superficial, não usar produtos com maior solubilidade em água), presença de nascentes ou minas d'água, práticas conservacionistas de solo (como o

sistema de plantio direto na palha) e relevo do terreno (dependendo do grau de inclinação do terreno e do tipo de solo, aplicar os herbicidas após a emergência das plantas).

Retenção da molécula do herbicida



Adsorção é a atração e a retenção do composto no solo. Refere-se à adsorção do herbicida à fração sólida do solo ou à sua absorção pelas plantas ou outros organismos vivos. O processo inverso da adsorção é a dessorção.

A adsorção envolve processos hidrofóbicos, físicos e químicos, em que a molécula do herbicida fica aderida à superfície dos colóides minerais (argila) ou orgânicos (matéria orgânica) do solo. As forças responsáveis pelas reações de adsorção podem ser fracas ou extremamente fortes. No último caso, a molécula do herbicida não retorna para a solução do solo (não é dessorvida). É o caso do paraquat e glyphosate, que não possuem ação de solo para o controle de plantas daninhas.

A capacidade de troca catiônica, o teor de carbono orgânico, o pH, a textura e a mineralogia do solo influenciam na adsorção dos herbicidas. Então, a retenção é variável de solo para solo e, assim, não pode ser analisada da mesma forma para todos os solos. Por exemplo, solos com alto teor de matéria orgânica possuem maior capacidade de adsorção devido à maior

superfície específica da matéria orgânica, comparada aos principais tipos de argila dos solos brasileiros, principalmente aqueles da região originalmente sob cerrado.

As características físico-químicas dos herbicidas também afetam a adsorção, como a solubilidade em água, a polaridade, a ionização da molécula, a volatilidade e o coeficiente de distribuição do herbicida no solo. Esse coeficiente, conhecido como Koc, é a relação entre a concentração do herbicida retido nos coloides do solo e a sua concentração na solução do solo. Com base no Koc da molécula, a adsorção do herbicida ao solo pode ser classificada em muito forte, forte, moderada ou fraca.

A adsorção do herbicida regula a sua biodisponibilidade no solo, pois, quando retido, não estará disponível na solução do solo para ser absorvido pelas plantas. A entrada do herbicida na plântula, no início do seu desenvolvimento (ainda dentro do solo), ocorrerá pelo caulículo ou pela radícula. Esse processo é primordial para a inibição dos fluxos de emergência da planta no campo e a manutenção do controle.

A escolha da dose adequada dos herbicidas aplicados em pré-emergência (em que o alvo é o solo) deve considerar, além, é claro, do histórico de infestação, a textura⁴ e o teor de matéria orgânica do solo. Geralmente, solos de textura arenosa (com menor superfície de retenção) e com baixo teor de matéria orgânica necessitam de menor quantidade de herbicida do que solos argilosos e com alto teor de matéria orgânica.

⁴ Teor de areia, silte e argila do solo.

O uso correto das doses dos herbicidas é de grande importância não apenas para o sucesso do controle das plantas daninhas, mas também para a sustentabilidade agrícola. Afinal, será pulverizada na cultura uma quantidade ideal de produto, sem excessos, que poderiam levar a perdas ou à contaminação ambiental.

Transformação da molécula do herbicida



É importante que o herbicida permaneça certo tempo disponível na solução do solo, para exercer o seu efeito de controle. Contudo, essa permanência deve ser restrita ao exigido pela cultura, em virtude de uma série de fatores. Por exemplo, trabalhando-se com uma cultivar de soja de ciclo de 110 dias, isso não significa que o herbicida deverá ter concentração adequada no solo para o controle de plantas daninhas por todo esse período. O controle químico deverá atuar sobre as plantas daninhas nos primeiros 30 a 40 dias, até o fechamento do dossel das plantas de soja. A partir daí, pelo sombreamento exercido pela própria cultura, ela é que será responsável pela manutenção do controle das plantas daninhas.

Além disso, a molécula do herbicida não pode persistir no solo por muito tempo, pois poderia prejudicar o estabelecimento de outras culturas em rotação ou sucessão. Esse fenômeno indesejado, denominado de *carryover*, é definido como os resíduos fitotóxicos que permanecem no solo e afetam culturas sensíveis em rotação ou sucessão depois daquelas culturas nas

quais o herbicida foi utilizado. Nos sistemas de produção, em que diversas culturas ocupam o mesmo espaço ao longo do ano, o uso de herbicidas com efeito residual longo no solo poderá inviabilizar o cultivo de diferentes espécies em sucessão ou rotação. Então, a degradação da molécula do herbicida é importante não apenas para o ambiente, mas também para a agricultura.

As principais formas de transformação da molécula são: abiótica (ou química), microbiana (ou biodegradação) ou pela ação da luz (fotodegradação). Nas três, a degradação ocorre por meio de reações químicas (hidrólise, oxidação, redução, etc.), que resultarão em uma forma não tóxica da molécula ou até na sua completa mineralização, tendo como produtos finais CO_2 , H_2O , NH_3 e íons inorgânicos.

Na degradação abiótica (ou química), as reações químicas não têm origem biológica. É completamente diferente da biodegradação (ou degradação microbiana), cujas reações químicas acontecem por causa da ação catalítica de enzimas produzidas pelos microrganismos. Esta última é a principal forma de degradação da maioria dos herbicidas. Portanto, condições ideais que favoreçam a microbiota decompositora no solo favorecerão a biodegradação dos herbicidas, com reflexo na sua persistência no solo. Tais condições são: a) umidade do solo entre 50% e 100% da capacidade do campo; b) boa aeração do solo; c) temperatura entre 27 °C e 32 °C; d) pH entre 6,0 e 8,0; e d) altos teores de matéria orgânica.

Na fotodegradação (ou fotólise), as reações químicas acontecem na presença de luz – radiação solar

na faixa do ultravioleta. O herbicida fica exposto a perdas por fotodegradação quando está na superfície da planta, antes da absorção, ou na superfície do solo, antes da sua distribuição na camada superficial, e será maior ou menor a depender da sensibilidade da molécula. A maioria dos herbicidas tolera esse tipo de degradação, com perdas insignificantes, mas há outros que são bem sensíveis.

Em uma agricultura moderna, dinâmica e sustentável, é importante conhecer todos os aspectos relacionados à degradação, em especial a biodegradação dos herbicidas no solo, até mesmo para evitar prejuízos por *carryover*. A biodegradação é a via natural de transformação dos produtos em uma forma não tóxica. É claro que, em um ambiente não favorável aos microrganismos do solo, como seca, temperaturas baixas e pH mais ácido, a atividade da microbiota decompositora será menor; consequentemente, o herbicida permanecerá por mais tempo (ativo) no solo.

Considerações finais



Independentemente da escala de produção (pequena, média ou grande) ou do produto colhido (alimento ou biocombustível), os herbicidas têm uma posição de destaque no sistema de produção agrícola no Brasil. A sua grande aceitação pelos produtores é atribuída, entre outras vantagens, ao fato de proporcionarem menor dependência de mão de obra, cada vez mais escassa no Brasil. Na maioria das regiões agrícolas, a

população é totalmente urbana, e os trabalhadores não almejam mais o serviço pesado e desgastante do campo. Ao longo do tempo, a mão de obra rural tornou-se ociosa e cara. Por sua vez, o controle químico trouxe flexibilidade e agilidade ao manejo de plantas daninhas, com custo menor do que a capina, por exemplo. Por isso, é inquestionável a sua importância na agricultura moderna. Porém, para alcançar o status de agricultura sustentável, o produtor rural e os profissionais da área (técnicos agrícolas e agrônomos) devem avaliar e incorporar uma série de conceitos, entre eles o uso correto e racional dos produtos fitossanitários.

Na agricultura orgânica, é proibido o uso de insumos industrializados, como os herbicidas. O controle é feito por métodos mecânicos ou físicos. Em áreas menores, dependendo da cultura, os resultados são excelentes e totalmente viáveis do ponto de vista ambiental. No entanto, o custo do manejo é maior comparado ao de um produto convencional. Esse custo é compensado no preço pago pelo consumidor final nas cidades. Trata-se de um produto diferenciado, de maior valor agregado para o produtor e faz parte de um importante nicho de mercado. Mas é importante lembrar que a maioria da população mundial possui renda baixa e, assim, não pode se dar ao luxo de comprar alimentos mais caros do que os alimentos ditos convencionais.

O uso de herbicidas como única estratégia de manejo pode levar ao insucesso, em virtude da seleção de plantas daninhas resistentes ou de difícil controle e do aumento exponencial do “banco de sementes” do solo. Além, é claro, do aumento sucessivo das doses,

do uso de misturas tríplexes ou quádruplas no tanque do pulverizador, com reflexo direto no custo de produção. Não existem milagres e, sim, estratégias integradas – o manejo integrado de plantas daninhas, do qual os herbicidas fazem parte, combinado com outros métodos de manejo.

Controlar não é o mesmo que manejar. O controle consiste na supressão do crescimento e/ou na redução do número de plantas daninhas na área até níveis aceitáveis para convivência, sem ocasionar danos à cultura. O manejo engloba a adoção de várias estratégias de controle, procurando-se trabalhar de forma integrada. Exige a avaliação de todos os impactos a médio e longo prazos no agroecossistema. O ajuste das doses dos herbicidas ao tipo de solo, à espécie e ao tamanho da planta daninha, associado ao levantamento prévio da infestação e da catação manual dos possíveis escapes, exemplifica uma estratégia de manejo. Na catação, devido à baixa densidade, as plantas daninhas possivelmente não estariam competindo com a cultura, mas poderiam servir como hospedeiras de pragas, doenças e nematoides, além de favorecerem o aumento do banco de sementes dessa espécie no solo.

É importante promover a conscientização dos produtores rurais e dos profissionais da área sobre o uso racional dos herbicidas nas lavouras, que é um dos princípios da sustentabilidade agrícola. Entender a dinâmica desses produtos no sistema solo-água-atmosfera é essencial para prevenir perdas e a contaminação ambiental, rumo à desejada produção sustentável, em todas as suas dimensões. Por todos os motivos apresentados, o enrijecimento contra o uso de

herbicidas na produção agrícola representa uma opção ingênua e pouco racional. É necessário, justamente, que todos tenham a consciência de que, na agricultura convencional, é imprescindível o uso de herbicidas da forma mais sustentável possível.

Literatura recomendada



ALTERMAN, M. K.; JONES, A. P. **Herbicidas**: fundamentos fisiológicos y bioquímicos del modo de acción. Chile: Ediciones Universidad Católica del Chile, 2003. 333 p.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. L. S. **Guia de herbicidas**. 6. ed. Londrina: Ed. da Universidade Estadual de Londrina, 2011. 697 p.

SILVA, A. A.; SILVA, J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: Ed. da Universidade Federal de Viçosa, 2007. 367 p.

VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. 780 p.