

Introdução ao Controle Químico

Rubem Silvério de Oliveira Jr.

1. Breve Histórico do Controle Químico de Plantas Daninhas

Os herbicidas são substâncias químicas capazes de selecionar populações de plantas. O termo “seleção” se refere à atuação destes produtos, provocando a morte de certas plantas e de outras não. De acordo com Zimdhal (1993), a etimologia da palavra vem do latim *Herba* (planta) e *caedere* (matar).

Em muitos aspectos, a história da Ciência das Plantas Daninhas confunde-se com a história do controle das plantas daninhas. Após a fase histórica em que o controle era feito manualmente ou com auxílio de ferramentas, surgem, no início do século XX, os primeiros relatos da utilização de substâncias químicas para o manejo de plantas daninhas. Por volta de 1908, pesquisadores como Bolley (North Dakota, EUA), Bonnet (França) e Schulz (Alemanha) usaram sais de cobre e depois ácido sulfúrico para o controle de plantas daninhas em cereais (Zimdhal, 1993).

O primeiro marco relevante relacionado ao controle químico moderno ocorreu, no entanto, em 1941, com a síntese do ácido 2,4-diclorofenoxiacético, o 2,4-D (Pokorny, 1941). Durante a segunda guerra mundial foram descobertas as propriedades dos derivados dos ácidos fenoxiacéticos sobre o crescimento de plantas. No entanto, apenas após o fim da guerra foi feito o anúncio público da ação do 2,4-D como herbicida que causava morte diferenciada de plantas (Hammer & Tukey, 1944; Marth & Mitchell, 1944). Posteriormente, foi descrito o primeiro herbicida (monuron) que não era derivado dos ácidos fenólicos (Bucha & Todd, 1954). Nas décadas de 50 e 60, as práticas modernas de baixas doses de herbicidas orgânicos sintéticos para o controle seletivo de plantas daninhas.

O surgimento, nos Estados Unidos, da primeira sociedade científica (Weed Science Society of America¹, em 1956) consolidou o estudo das plantas daninhas como ciência, repercutindo na criação de outros grupos de estudo em diferentes países do mundo. No Brasil, em 1963 é criada a Sociedade Brasileira de Herbicidas e Ervas Daninhas (SBHED), atual Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD)².

¹ <http://www.wssa.net/>

² <http://www.sbcpd.org/>

2. Importância Econômica

O mercado de pesticidas no Brasil tem evoluído rapidamente, tanto pela agregação de novas áreas produtivas, como os cerrados, quanto pelo aumento de tecnificação e pela redução da dependência de mão-de-obra.

Embora não existam dados disponíveis para todos os anos, sabe-se que nos últimos 45 anos o volume de negócios com pesticidas no Brasil passou de US\$ 400 mil em 1964 para quase US\$ 7 bilhões em 2008 (Figura 1). No período de 1999 a 2007, o volume de vendas no Brasil cresceu numa taxa anual de 4,67%. Para efeito de comparação, os segmentos específicos relacionados aos mercados de herbicidas, fungicidas e inseticidas cresceram em taxas anuais de 5,25; 2,34 e 4,92%, respectivamente, no mesmo período. Historicamente, o volume de vendas do mercado de herbicidas sempre representou a maior fração do mercado de pesticidas, tanto no Brasil, como em nível mundial. Embora respondesse por mais da metade do mercado até a década passada, representa atualmente de 40 a 45% do total de vendas do mercado de pesticidas (Tabela 1).

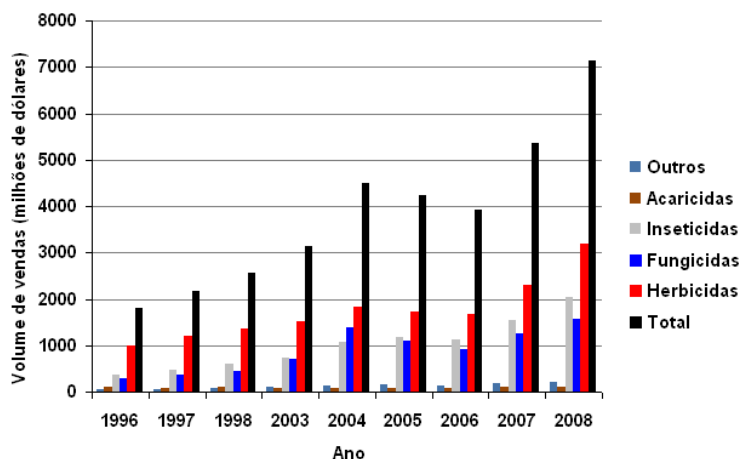


Figura 1. Evolução do mercado de vendas de pesticidas (total e relacionado apenas a herbicidas) no Brasil. Fonte: Extraído de várias tabelas do SINDAG.

No mercado brasileiro, a soja destaca-se como a atividade agrícola com maior participação no mercado de pesticidas, seguida pelo milho, citros, cana-de-açúcar e algodão, o que apresenta uma correlação intrínseca com a área de cultivo destas espécies anualmente no país. Estas quatro atividades em conjunto representam quase 75% do mercado brasileiro de pesticidas (Tabela 2).

Tabela 1. Volume de vendas do mercado de pesticidas no Brasil 1996-2008 (em milhões de dólares). Fonte: Extraído de várias tabelas do SINDAG.

Classe	1996	1997	1998	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Herbicidas	1005,1	1214,8	1368,7	1523,7	1830,7	1735,8	1674,3	2304,1	3200,7
Fungicidas	276,3	356,3	436,2	713,5	1388,2	1089,5	917,4	1264,4	1573,6
Inseticidas	375,5	464,8	589,5	725,2	1066,6	1180,7	1128,9	1537,4	2027,8
Acaricidas	92,2	86,7	97,8	80,0	78,0	82,8	70,4	92,1	112,9
Outros*	43,4	58,2	65,6	93,8	131,5	155,0	128,8	174,0	174,0
Total	1712,7	2180,8	2557,8	3163,3	4494,9	4234,7	3919,8	5372,0	7125,1

* Antibrotantes, reguladores de crescimento, óleo mineral e espalhantes adesivos.

Tabela 2. Participação relativa (%) de diferentes culturas no volume total de vendas de pesticidas no Brasil (2003-2007). Fonte: Extraído de várias tabelas do SINDAG.

Culturas	Participação (%) no mercado de pesticidas					
	2003	2004	2005	2006	2007	
Soja	41,6	45,0	44,0	40,9	43,0	
Milho		13,9	12,5	12,3	11,7	13,6
Citros		9,2	8,1	8,2	10,4	8,7
Cana		7,5	7,2	7,1	9,6	9,4
Algodão		6,5	7,0	6,3	7,0	6,5
Café		3,4	3,3	3,6	3,9	2,7
Trigo		2,3	3,0	2,2	1,9	1,6
Batata		2,2	1,9	1,9	2,0	1,4
Arroz irrigado		2,1	1,9	1,7	1,5	1,8
Feijão		2,0	1,9	1,6	1,7	1,8
Outras		9,3	8,2	11,1	9,4	9,3

3. Aspectos Positivos do Controle Químico

O uso de herbicidas pode prevenir a interferência das plantas daninhas principalmente no início do ciclo, período durante o qual normalmente são causadas as maiores perdas nas culturas. É um aspecto importante quando na população de plantas daninhas presentes são encontradas espécies de difícil controle após a emergência, ou quando as plantas daninhas são indesejáveis durante todo o ciclo da cultura, como no caso de áreas destinadas à produção de sementes. Além disto, o uso de herbicidas proporciona um controle mais efetivo nas linhas de plantio, onde muitas vezes outros métodos de controle não têm a mesma eficiência.

A flexibilidade quanto à época de aplicação, principalmente em áreas de grande extensão, também é um fator importante, pois o controle das plantas daninhas pode ser feito em etapas, adequando a demanda de trabalho ao maquinário, implementos e mão-de-obra disponíveis. Em muitas

situações, há alternativas de tratamentos desde aqueles incorporados ao solo antes do plantio até aqueles aplicados em pós-emergência da cultura, diminuindo a concentração na demanda por equipamentos. Além disto, alguns métodos de controle mecânico são de uso limitado em épocas de precipitações frequentes.

A redução do tráfego de máquinas e de cultivos mecânicos pode proporcionar uma vantagem no caso de solos susceptíveis à erosão, assim como em locais onde é importante a preservação da integridade do sistema radicular de culturas perenes, como no caso de café e citros. Utilizado adequadamente, o controle químico pode resultar não só em uma redução substancial do tráfego pesado nas áreas de cultivo como também na formação de cobertura morta para proteção do solo, como mostrado nas Figuras 2(a) e 2(b).

O controle químico de plantas daninhas apresenta rendimento operacional elevado, além de demandar pequena quantidade de mão-de-obra quando comparado a outros métodos de controle. O uso de herbicidas também proporciona economia de trabalho e energia pela redução dos custos de colheita e de secagem de grãos, em função da eliminação das plantas daninhas.

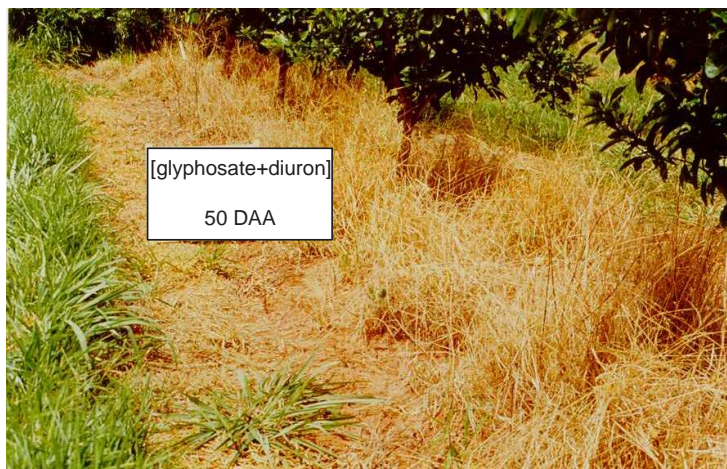
No entanto, como qualquer outra técnica, a utilização de herbicidas para o controle de plantas daninhas apresenta também limitações.

4. Limitações do Uso de Herbicidas

Todos os pesticidas possuem certo grau de toxicidade para o homem e para outras espécies de plantas e animais. Embora a tendência atual seja de que os novos herbicidas lançados no mercado apresentem um menor grau de toxicidade, ainda existem preocupações com relação aos casos de intoxicação registrados em aplicadores e manipuladores de caldas de pesticidas.

A utilização de herbicidas demanda equipamento adequado de aplicação e proteção, além de operador treinado. Na maioria dos casos, as intoxicações ocorrem pela negligência no uso de equipamento individual de proteção, da mesma forma que o sucesso de muitas aplicações pode ser limitado pela utilização inadequada do equipamento.

Problemas associados ao comportamento ambiental destes compostos também existem. No Paraná, por exemplo, diversos municípios têm restringido o uso do herbicida 2,4-D em função dos problemas causados pela deriva deste produto para áreas vizinhas a sua aplicação, causando problemas em áreas de cultivo de olerícolas, frutíferas (principalmente uva, citros e amoreira), algodão e mandioca (Tabela 3). A susceptibilidade das culturas varia com o estágio de desenvolvimento. No caso do tomate, por exemplo, a simulação de deriva por meio da aplicação de sub-doses de 2,4-D tem sido investigada em várias culturas. Doses até 13,44 g e.a. ha⁻¹



(a)



(b)

Figura 2. Aspecto visual de lavoura de citros, conduzida em solo arenoso na região do arenito Caiuá (PR). (a): 50 dias após a aplicação (DAA) de glyphosate+diuron nas linhas de plantio (à esquerda área não tratada nas entrelinhas). (b): 120 DAA do mesmo herbicida (à direita o controle neste período foi feito por duas roçadas). Observa-se, em ambos os casos, a formação de camada de cobertura morta protegendo o solo. Fonte:

[Oliveira Jr. et al. \(1995\)](#).

Tabela 3. Municípios da região de Campo Mourão, PR, nos quais existem restrições de utilização do 2,4-D durante algum período do ano.

Município	Período de restrição	Município	Período de restrição
Araruna	ano todo	Mamborê	agosto-maio
Ariranha do Ivaí	setembro-fevereiro	Mato Rico	setembro-fevereiro
Boa Esperança	15/ago.-15/maio	Moreira Sales	agosto-maio
Corumbatã do Sul	setembro-março	Nova Cantu	setembro-fevereiro
Engenheiro Beltrão	agosto-março	Peabiru	agosto-abril
Farol	setembro-fevereiro	Quinta do Sol	outubro-abril
Fênix	ano todo	Roncador	ano todo
Janiópolis	ano todo	São João do Ivaí	20/set.-20/maio
Jardim Alegre	ano todo	São Pedro do Iguaçu	setembro-fevereiro
Luiziana	agosto-março		

não causaram nenhum efeito na produção quando aplicadas após a formação do quarto cacho de frutos. Por outro lado, doses tão baixas quanto 0,42 g e.a. ha⁻¹ são capazes de afetar significativamente a produtividade de frutos quando aplicadas no início do florescimento das plantas (Fagliari et al., 2005).

Aplicações realizadas no início do florescimento do primeiro ramo do algodão demonstraram que esta espécie é sensível à deriva de 2,4-D nesta fase (F1) e, que, neste estágio, tolera no máximo 3,36 g e.a. ha⁻¹ (equivalente a uma deriva simulada de 0,5% de uma aplicação de uma dose de 1,0 L p.c. ha⁻¹). Num segundo experimento conduzido na região de Maringá, PR, no qual as simulações de deriva foram realizadas em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura, observou-se que a partir do momento em que as maçãs começam a se formar, a sensibilidade da cultura cai substancialmente. O único tratamento que provocou queda significativa de produtividade neste segundo experimento foi a dose de 13,44 g e.a. ha⁻¹ (equivalente a uma deriva simulada de 2,0%) aplicada no estágio C1 (abertura da primeira maçã no primeiro ramo) (Constantin et al., 2007).

De forma semelhante, experimentos conduzidos na cultura da uva demonstraram que o surgimento de sintomas visuais de intoxicação das plantas foi imediato e proporcional às subdoses aplicadas simulando deriva do 2,4-D quando as plantas encontravam-se na fase de emissão de cachos e florescimento. Neste caso, a produtividade da cultura foi afetada por todas as doses aplicadas neste estágio de crescimento. No entanto, mesmo com as injúrias severas registradas na dose mais alta, as plantas afetadas se recuperaram após duas podas para as condições de manejo regionais (duas safras por ano). No segundo experimento, foram aplicadas subdoses equivalentes a derivas de 1,0 e 2,0% em três estádios do ciclo de desenvolvimento. A aplicação de doses equivalentes a $\leq 2,0\%$ de deriva simulada a partir do estágio de “meia-baga” não causou repercussões negativas em termos de injúrias visuais e produtividade (Oliveira Jr. et al., 2007). Concluiu-se,

portanto, que a susceptibilidade das culturas à deriva do 2,4-D pode variar bastante com a espécie e, principalmente, com o estágio de desenvolvimento das mesmas.

Uma outra preocupação inerente ao uso de pesticidas são os resíduos. Embora nenhum herbicida permaneça indefinidamente no ambiente, em alguns casos eles podem apresentar persistência por um período de tempo suficiente para limitar ou injuriar o desenvolvimento de espécies cultivadas em rotação, o que é conhecido como *carryover*. Uma análise mais detalhada sobre o fenômeno de *carryover* é feita no Capítulo 11, que discute a dinâmica de herbicidas no solo. Além disto, eventualmente resíduos dos herbicidas podem persistir em partes das plantas utilizadas para a alimentação humana ou animal, tornando-as impróprias para consumo.

Utilização incorreta ou mal planejada pode inviabilizar o desenvolvimento adequado da cultura, quer pela ineficiência de controle de plantas daninhas ou por injúrias causadas à cultura pelos próprios herbicidas.

Uma preocupação recente a respeito do uso de herbicidas está ligada à possibilidade de seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes. No Brasil, existem vários relatos de resistência a herbicidas em várias espécies de plantas daninhas, os quais são discutidos em detalhes no capítulo 8 dedicado a este assunto.

Por último, o grau de eficiência dos herbicidas pode sofrer interferência de fatores externos de difícil controle, tais como a época de aplicação, clima, solo e densidade de infestação.

5. Aspectos a Serem Considerados na Escolha do Tratamento a Ser Utilizado

Por tratamento entende-se a combinação de um determinado herbicida, aplicado na dose e época recomendada. Para minimizar a possibilidade de erros, inicialmente é imprescindível conhecer qual ou quais são as espécies de infestantes predominantes na área em que deverá ser feito o controle químico, bem como qual é o estágio de desenvolvimento predominante das espécies. Muitas vezes a simples presença de uma única espécie modifica o enfoque a ser dado em termos de escolha de produto, época de aplicação ou dose a ser utilizada. Plantas perenes, por exemplo, normalmente requerem para seu manejo uma integração de métodos de controle, associados à aplicação de herbicidas sistêmicos em época adequada. De forma análoga, espécies anuais que possuem diversos fluxos de germinação podem requerer a utilização de um herbicida cuja atividade residual seja suficiente para garantir à cultura um desenvolvimento inicial livre da interferência imposta pelas plantas daninhas.

Para herbicidas aplicados ao solo, também é de grande importância o conhecimento de suas características químicas e físicas, especialmente pH, textura e teor de carbono orgânico, uma vez que estas propriedades

podem influenciar a escolha da dose a ser utilizada. Além destes dois pontos básicos, os seguintes itens devem ser considerados na escolha do tratamento a ser utilizado, entre outros:

- Registro do herbicida para uso na cultura;
- Eficiência sobre a infestação predominante na área;
- Estádio de desenvolvimento das plantas daninhas;
- Estimar qual o período de controle que se necessita;
- Custo por unidade de área;
- Disponibilidade para aquisição no mercado local;
- Menor toxicidade para o homem e ambiente;
- Efeito residual para culturas em rotação;
- Menor potencial de contaminação ambiental (deriva, lixiviação, *runoff*);
- Adequação do equipamento disponível para aplicação;
- Maior flexibilidade quanto à época de aplicação;
- Adequação ao sistema de plantio adotado na propriedade (direto/convencional);
- Potencial de seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes aos herbicidas.

Por fim, é importante que, após a utilização de um determinado tratamento herbicida, sejam feitas observações no sentido de avaliar se a eficiência do tratamento utilizado foi satisfatória para as espécies de interesse, procurando identificar possíveis razões pelas quais eventuais falhas de controle foram observadas. O acompanhamento dos resultados proporciona ao usuário não só familiarizar-se com o modo de uso do produto, mas também um controle mais detalhado sobre a lucratividade de sua exploração agrícola.

6. Nomenclatura dos Herbicidas

Todo herbicida é nomeado pelo menos de três formas diferentes. Uma vez que são substâncias sintetizadas em laboratório, cada ingrediente ativo tem um nome químico para descrever sua estrutura química. Cada herbicida também possui um nome comum, ou nome do ingrediente ativo. Este é convencionalmente o nome pelo qual os herbicidas são conhecidos internacionalmente e pelo qual são tratados na literatura técnica e científica. Em função do *marketing* das empresas fabricantes ou formuladoras, cada herbicida tem um nome de fantasia ou nome comercial, que serve para identificar produto com fabricante e também para diferenciá-lo de outros

herbicidas com mesmo princípio ativo. Portanto, um mesmo ingrediente ativo pode ser comercializado sob diferentes nomes comerciais, dependendo do fabricante e da formulação (Tabela 4). As referências mais utilizadas na classificação de herbicidas são organizadas de acordo com o nome comum dos compostos (Rodrigues & Almeida, 2005; Senseman, 2007). No decorrer deste texto, o nome comum dos herbicidas é preferencialmente utilizado, exceto quando explicitado.

Tabela 4. Exemplos de nomenclaturas de um herbicida.

Nome químico	Nome comum	Nomes comerciais
Ácido 2-[4,5-dihidro-4-metil-4-(1-metiletil)-5-oxo-1H-imidazol-2-il]-5-etil-3-piridinecarboxílico	imazethapyr	Dinamaz, Imazetapir Plus Nortox, Imazetapir Prentiss, Pistol, Pivot, Zethapyr, Vezir,
N-(3,4-diclofenil)propanamida	propanil	Clean-Rice, Grassaid, Herbipropanil, Pilon, Propanil Agripec, Propanil Fersol, Propanil Milenia, Stam 480 (entre outros)
6-cloro- <i>N,N'</i> -dietil-1,3,5-triazina-2,4-diamina	simazine	Herbazin, Simanex
2,6-dinitro- <i>N,N'</i> -dipropil-4-(trifluorometil)benzoamina	trifluralin	Herbiflan, Premerlin 600, Trifluralina Atanor, Trifluralina Nortox Gold (entre outros)

7. Formas de Classificação de Herbicidas

Existem diversas formas de classificar os herbicidas, embora nenhuma delas seja totalmente completa ou definitiva. A maioria das classificações aborda apenas certos aspectos relacionados ao comportamento dos produtos ou às suas características.

O maior problema no desenvolvimento de um sistema de classificação adequado é a grande diversidade de modos de ação e de composição química dos herbicidas. Para se entender o controle químico, é fundamental familiarizar-se com certos termos usados na Ciência das Plantas Daninhas, muitos dos quais são utilizados nos sistemas de classificação dos herbicidas.

As principais classificações envolvem os aspectos apresentados a seguir.

7.1 Classificação quanto à seletividade

O conhecimento a respeito da seletividade de um herbicida é um pré-requisito básico para seu uso ou recomendação, uma vez que indica o espectro de plantas que são eventualmente controladas ou quais são menos sensíveis ao herbicida.

- **Herbicidas seletivos:** matam ou restringem severamente o crescimento de plantas daninhas numa cultura, sem prejudicar as espécies de interesse além de um nível aceitável de recuperação. Embora no caso dos herbicidas o conceito de seletividade esteja intrinsecamente ligado à cultura (por exemplo, imazaquin é seletivo para soja = imazaquin não afeta soja), é relativamente comum o emprego deste termo para referir-se às plantas daninhas. Neste caso, usando o exemplo anterior e considerando que o imazaquin controla basicamente espécies de folhas largas, pode-se dizer que o imazaquin controla seletivamente folhas largas, isto é, não apresenta controle de monocotiledôneas. Em alguns casos, este tipo de herbicida é chamado de “latifolicida”, ao passo que aqueles que controlam seletivamente apenas gramíneas são chamados de “graminícidias”. Bentazon, acifluorfen e lactofen são outros exemplos de herbicidas tipicamente latifolicidas. Trifluralin, clethodim e fluazifop constituem outros exemplos de graminícidias. Cada um deles pode apresentar seletividade para uma ou mais culturas independente do seu espectro de controle.
- **Herbicidas não seletivos:** são aqueles de amplo espectro de ação, capazes de matar ou injuriar severamente a maior parte das plantas, quando aplicados nas doses recomendadas. Glyphosate, paraquat, diquat e amônio-glufosinato constituem exemplos de herbicidas não seletivos. O primeiro é registrado para dessecação de manejo das plantas daninhas em áreas de semeadura direta, enquanto que os demais são mais utilizados para dessecação pré-colheita. Nenhum herbicida pertence rigidamente a nenhum dos grupos, uma vez que a seletividade é função da interação entre diferentes fatores. Com a introdução de cultivares geneticamente modificadas com resistência a herbicidas, a classificação de herbicidas como o glyphosate passou a ser questionável, uma vez que ele passou a ser utilizado também de forma seletiva em algumas culturas. No entanto, o conceito original permanece correto, uma vez que este herbicida não é seletivo para todas as cultivares daquela espécie.

7.2 Classificação quanto à translocação

- **Herbicidas com ação de contato:** Não se translocam ou se translocam de forma muito limitada. Só causam danos nas partes que entram em contato direto com os tecidos das plantas, necessitando,

portanto, de uma boa cobertura por ocasião da aplicação. O efeito normalmente é rápido e agudo, podendo se manifestar em questão de horas. Alguns herbicidas cuja ação sobre as plantas é caracteristicamente de contato são bentazon, lactofen e paraquat.

- **Herbicidas com ação sistêmica:** Normalmente são caracterizados pelo efeito mais demorado, crônico. A translocação pode ocorrer pelo xilema, pelo floema, ou através de ambos, dependendo do herbicida e da época de aplicação. Em aplicações na parte aérea, as condições de clima e de umidade do solo são fatores importantes que interferem no resultado final observado. Para que se manifeste o efeito desejado sobre as plantas daninhas, estes herbicidas dependem de franca atividade metabólica das plantas. Produtos de absorção lenta também podem sofrer influência de chuvas logo após a aplicação. Herbicidas como fluazifop, fenoxaprop, sethoxydim e clethodim são considerados de absorção rápida, não necessitando período maior do que uma hora sem chuva após a aplicação. Por outro lado, herbicidas como o glyphosate e o 2,4-D amina necessitam de um período mínimo sem chuvas após a aplicação de 4 horas para que não haja prejuízo no resultado de controle.

7.3 Classificação quanto à época de aplicação

Praticamente todos os herbicidas devem ser aplicados em um momento em particular para que o controle e a seletividade sejam maximizados. Portanto, saber quando aplicá-los para obter o efeito desejado é essencial para o uso adequado e racional do controle químico. A classificação quanto à época de aplicação reflete a eficiência de absorção por diferentes estruturas das plantas. Aqueles aplicados ao solo são normalmente absorvidos pelas raízes ou por estruturas subterrâneas antes, durante ou imediatamente após a emergência. Já aqueles aplicados à parte aérea das plantas são preferencialmente absorvidos pelas folhas. Uma vez que alguns herbicidas podem ser aplicados com sucesso em diferentes épocas, este sistema, como os anteriores, embora seja de grande importância prática, não é conclusivo também.

De modo geral, as seguintes definições de épocas de aplicação são utilizadas:

- **Pré-plantio e incorporado (PPI):** Refere-se aos produtos que são aplicados ao solo e que posteriormente precisam de incorporação mecânica ou por meio de irrigação. Herbicidas que precisam ser aplicados desta forma normalmente apresentam uma ou mais das seguintes características:
 - Mecanismo de ação que requer contato entre o herbicida e plântulas antes ou durante a emergência;

- Baixa solubilidade em água;
- Fotodegradação;
- Volatilidade (alta pressão de vapor).

O trifluralin é considerado um herbicida de baixa solubilidade ($0,3 \text{ mg L}^{-1}$) e de alta volatilidade (pressão de vapor = $1,1 \times 10^{-4} \text{ mm Hg}$). A alta pressão de vapor faz com que a perda de produto por volatilização seja acentuada quando o produto permanece na superfície do solo. Este fato, aliado à baixa solubilidade e às perdas por fotodegradação, fazem com que o produto normalmente necessite de incorporação ao solo. Novas formulações de trifluralin têm sido desenvolvidas para evitar a obrigatoriedade de incorporação, mas mesmo para estas formulações, uma incorporação leve resulta no aumento da eficácia. Já o EPTC, tendo maior solubilidade (370 mg L^{-1}), pode ser incorporado também por meio de uma irrigação logo após a aplicação. Ambos herbicidas, embora de grupos químicos diferentes, atuam sobre o mesmo processo metabólico (a divisão celular), o que faz com que ambos sejam efetivos apenas quando em contato com os tecidos em fase de divisão celular. Formulações de herbicidas que requerem incorporação ao solo encontram-se em desuso, tanto pela maior exigência de trabalho para sua utilização quanto pelo fato de que tais formulações são incompatíveis com o sistema de plantio direto.

- **Pré-emergência (PRÉ):** A aplicação é feita após a semeadura ou plantio, mas antes da emergência da cultura e das plantas daninhas. Em alguns casos, como na cultura do algodão, pode haver aplicações de herbicidas em pré-emergência das plantas daninhas, mas após a emergência da cultura. Neste caso, as aplicações são dirigidas às entrelinhas da cultura, depois que esta atingiu certa altura. Tendo em vista que as plantas daninhas ainda não emergiram, tal aplicação é considerada como sendo em pré-emergência. Nas aplicações em PRÉ, a eficácia dos herbicidas depende muito da disponibilidade de água no solo, uma vez que estes produtos atuam sobre processos como a germinação de sementes ou o crescimento radicular. Imazaquin, alachlor e diuron constituem exemplos típicos de herbicidas utilizados em PRÉ.
- **Pós-emergência (PÓS):** Nas aplicações em pós-emergência, as plantas daninhas encontram-se emergidas, mas a cultura nem sempre. Um exemplo típico de aplicação em PÓS sem a presença da cultura é a aplicação realizada para a dessecação antes do plantio direto de culturas. Na maioria dos casos de aplicações em PÓS, no entanto, tanto plantas daninhas quanto culturas encontram-se emergidas. Neste caso, o herbicida deve ser absorvido em maior parte

pela via foliar, além de requerer da cultura tolerância à exposição direta ao produto.

A idade das plantas daninhas quando da aplicação em PÓS é muito importante para a eficiência deste tipo de aplicação. As aplicações normalmente são feitas em fases precoces do desenvolvimento das invasoras. Embora variável entre plantas, este estágio geralmente compreende a fase até 3-4 folhas para as dicotiledôneas e antes ou até o início do perfilhamento para gramíneas. Às vezes são ainda utilizados os termos PÓS inicial e PÓS precoce para se referir a aplicações realizadas em estádios ainda mais precoces de desenvolvimento das plantas daninhas. Aplicações em PÓS tardia (plantas adultas) muitas vezes são necessárias, como, por exemplo, na dessecação de lavouras antes da colheita ou na operação de manejo das plantas daninhas em áreas de semeadura direta. Em função do estágio de desenvolvimento avançado das plantas, doses mais elevadas ou produtos sistêmicos são usados nestas situações. Exemplos de herbicidas cuja aplicação é feita caracteristicamente em pós-emergência são sethoxydim, glyphosate, bentazon, lactofen e ioxynil.

7.4 Classificação quanto à estrutura química

A maior limitação deste sistema de classificação está no fato de que diferentes herbicidas pertencentes a uma mesma família de compostos podem atuar de maneira distinta no controle das plantas daninhas. Os sistemas de classificação baseados apenas na estrutura química são, portanto, insuficientes para o propósito de esclarecer a atividade dos herbicidas sobre as plantas. No entanto, associada à classificação concernente aos mecanismos de ação dos herbicidas, torna-se de grande utilidade. Os principais grupos químicos são abordados no capítulo referente aos mecanismos de ação de herbicidas.

7.5 Classificação quanto ao mecanismo de ação

O agrupamento de herbicidas segundo a forma de atuação nas plantas é uma das mais utilizadas e, uma vez que aborda um enfoque fisiológico da atuação dos herbicidas, pode englobar diferentes famílias de compostos químicos sob um mesmo mecanismo de ação.

Conhecer o mecanismo de ação requer um intrincado estudo que envolve aspectos relacionados à química, bioquímica e fisiologia vegetal. Embora o conhecimento a respeito do mecanismo de ação de um herbicida não implique diretamente em um melhor nível de controle de plantas daninhas, ele provê uma ferramenta fundamental no entendimento dos mecanismos de seletividade, do comportamento dos herbicidas nas plantas e no ambiente e do efeito de fatores ambientais na eficiência destes produtos a campo. Os

principais mecanismos de ação dos herbicidas são descritos em detalhes no capítulo 7.

7.6 Outras classificações

Algumas classificações envolvem aspectos específicos e não foram incluídas no âmbito da discussão deste texto. Os herbicidas podem ser classificados, por exemplo, quanto ao tipo de formulação, volatilidade, persistência, potencial de lixiviação, toxicidade, classe toxicológica, solubilidade e polaridade ou forma de dissociação. Alguns destes itens são discutidos no capítulo que discute o comportamento de herbicidas no solo.

Há, ainda, outras formas de classificação que, no entanto, não são aceitas universalmente. Uma classificação baseada na forma com que os herbicidas são usados (aquáticos, de contato, translocáveis pelas folhas e aplicados ao solo) foi adotada por Radosevich et al. (1997). Os herbicidas utilizados no controle de plantas daninhas aquáticas são, normalmente, classificados à parte, em função da especificidade de uso. Alguns dos herbicidas usados para este fim são também utilizados em áreas agrícolas, como o 2,4-D. No entanto, outros produtos como o glyphosate possuem formulações especiais para esta finalidade. Outros, ainda, são especificamente utilizados nestas áreas, como o fluridone.

Referências

- Bucha, H.C. & Todd, C.W., 3(p-chlorophenyl)-1,1-dimethylurea – a new herbicide. *Science*, 114:403–494, 1954.
- Constantin, J.; Oliveira Jr., R.S.; Brandão Filho, J.U.T.; Callegari, O.; Pagliari, P.H. & Arantes, J.G.Z., Efeito de sub-doses de 2,4-D na produtividade de fumo e susceptibilidade da cultura em função de seu estágio de desenvolvimento. *Engenharia Agrícola*, 27:30–34, 2007.
- Fagliari, J.R.; Oliveira Jr., R.S. & Constantin, J., Impact of sub-lethal doses of 2,4-D, simulating drift, on tomato yield. *J Environ Sci Health B*, 40:201–206, 2005.
- Hammer, C.L. & Tukey, H.B., The herbicidal action of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and 2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid on bindweed. *Science*, 100:154–155, 1944.
- Marth, P.C. & Mitchell, J.W., 2,4-dichlorophenoxyacetic acid as a differential herbicide. *Bot Gaz*, 106:224–232, 1944.
- Oliveira Jr., R.S.; Constantin, J.; Brandão Filho, J.U.T.; Callegari, O.; Pagliari, P.H.; Cavalieri, S.D.; Framesqui, V.P.; Carreira, S.A.M. & Roso, A.C., Efeito de sub-doses de 2,4-D na produtividade de uva Itália e susceptibilidade da cultura em função de seu estágio de desenvolvimento. *Engenharia Agrícola*, 27:35–40, 2007.

- Oliveira Jr., R.S.; Pires, N.M.; Fornarolli, D.A.; Chehata, A.N. & Andrade, O., Comportamento do glyphosate isolado ou formulado com diuron ou simazine no controle de plantas daninhas em citros na época seca e chuvosa para as condições do noroeste do paraná. In: *Resumos do Congresso Brasileiro de Herbicidas e Plantas Daninhas*. Florianópolis, SC: SBCPD, 1995. p. 377-378.
- Pokorny, R., Some chlorophenoxyacetic acids. *J Amer Chem Soc*, 63:176, 1941.
- Radosevich, S.; Holt, C. & Ghersa, C., *Weed Ecology: Implications for Weed Management*. New York, EUA: John Wiley & Sons, 1997. 589 p.
- Rodrigues, B.N. & Almeida, F.S., *Guia de Herbicidas*. 5a edição. Londrina, PR: Edição dos autores, 2005. 592 p.
- Senseman, S.A., *Herbicide Handbook*. 9a edição. Champaign, EUA: Weed Science Society of America, 2007. 458 p.
- Zimdhal, R.L., *Fundamentals of Weed Science*. 6a edição. San Diego, EUA: Academic Press, 1993. 450 p.

