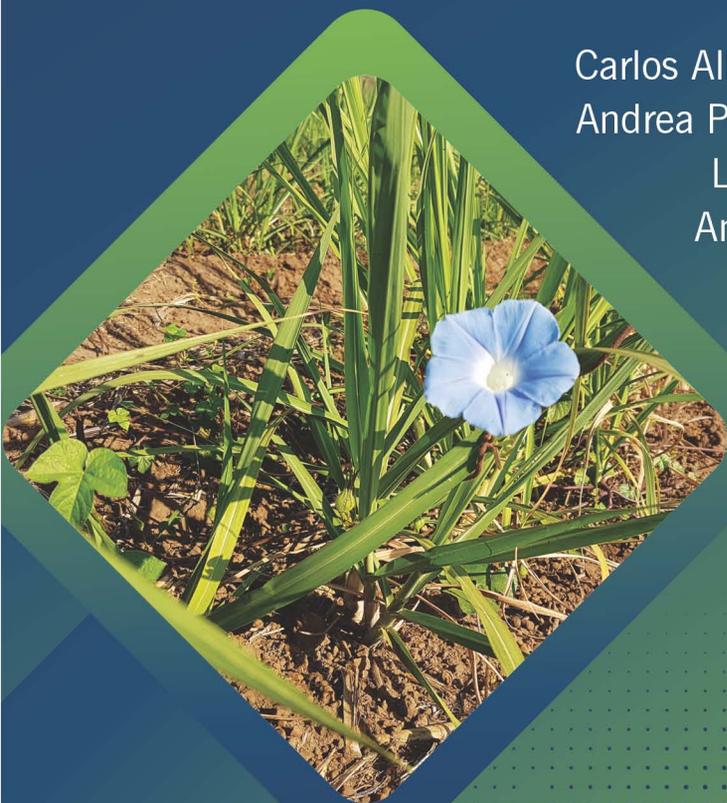


# FUNDAMENTOS PARA APLICAÇÃO DE HERBICIDAS EM CANA-DE-AÇÚCAR

Carlos Alberto Mathias **AZANIA**  
Andrea Padua Mathias **AZANIA**  
Lucas Carvalho **CIRILO**  
Antonio Luiz **CERDEIRA**





**Governo do Estado de São Paulo**  
**Secretaria de Agricultura e Abastecimento**  
**Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios**  
**Instituto Agronômico**

**Governador do Estado de São Paulo**  
João Doria

**Secretário de Agricultura e Abastecimento**  
Itamar Borges

**Secretário-executivo de Agricultura e Abastecimento**  
Francisco Matturro

**Coordenador da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios**  
Sergio Luiz dos Santos Tutui

**Diretor Técnico de Departamento do Instituto Agronômico**  
Marcos Guimarães de Andrade Landell

# **FUNDAMENTOS PARA APLICAÇÃO DE HERBICIDAS EM CANA-DE-AÇÚCAR**

Carlos Alberto Mathias **AZANIA**

Andrea Padua Mathias **AZANIA**

Lucas Carvalho **CIRILO**

Antonio Luiz **CERDEIRA**

F981 Fundamentos para aplicação de herbicidas em cana-de-açúcar/  
Carlos Alberto Mathias Azania, Andrea Padua Mathias Azania, Lucas  
Carvalho Cirilo, et al. Campinas: Instituto Agronômico, 2021. 31p. (Série  
Tecnologia APTA. Boletim técnico IAC, 229) on-line

ISSN 1809-7936

1. Cana-de-açúcar. 2. Herbicidas. I. Azania, Carlos Alberto Mathias. II.  
Azania, Andrea Padua Mathias. III. Cirilo, Lucas Carvalho. IV. Cerdeira,  
Antonio Luiz. V. Título. VI. Série.

CDD 663.61

**O Conteúdo do Texto é de Inteira Responsabilidade dos Autores.**

**Comitê Editorial do Instituto Agronômico**

Marcio Koiti Chiba

Daniela de Argollo Marques

Lúcia Helena Signori Melo de Castro

Maria Elisa Ayres Guidetti Zagatto Paterniani

Sérgio Parreiras Pereira

**Equipe participante desta publicação**

Coordenação da Editoração: Silvana Aparecida Barbosa

Editoração Eletrônica e Capa: Quebra-Cabeça

qcartesgraficas@terra.com.br / (19) 99729-2463

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação do Copyright © (Lei nº 9.610).

**Instituto Agronômico**

Centro de Comunicação e Transferência do Conhecimento

Caixa Postal 28

13012-970 Campinas (SP) - Brasil

[www.iac.agricultura.sp.gov.br](http://www.iac.agricultura.sp.gov.br)

# SUMÁRIO

	Página
RESUMO .....	1
ABSTRACT .....	2
1. INTRODUÇÃO .....	2
2. METODOLOGIA .....	4
2.1. Primeiro fundamento .....	4
2.1.1. Conceitos e definições sobre plantas daninhas .....	4
2.1.2. Interferência das plantas daninhas .....	6
2.1.3. Identificação de espécies com foco na cana-de-açúcar .....	9
2.1.4. Método prático para levantamento de plantas daninhas em canaviais .....	12
2.2. Segundo fundamento .....	15
2.2.1. Regime de chuvas e a escolha dos herbicidas .....	15
2.3. Terceiro fundamento .....	17
2.3.1. Solubilidade em água (Sw) dos herbicidas .....	17
2.3.2. Coeficiente de sorção normatizado pela fração de carbono orgânico do solo (Koc) .....	19
2.3.3. Coeficiente de partição octanol/água (Kow) .....	21
2.3.4. Constante de ionização em meio ácido (pKa) .....	23
2.4. Quarto fundamento .....	25
2.4.1. Dose de herbicidas .....	25

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	27
4. AGRADECIMENTOS .....	27
5. REFERÊNCIAS .....	27
ANEXO .....	30

# FUNDAMENTOS PARA APLICAÇÃO DE HERBICIDAS EM CANA-DE-AÇÚCAR

Carlos Alberto Mathias **AZANIA** <sup>(1)</sup>

Andrea Padua Mathias **AZANIA** <sup>(2)</sup>

Lucas Carvalho **CIRILO** <sup>(1)</sup>

Antonio Luiz **CERDEIRA** <sup>(3)</sup>

## RESUMO

Os herbicidas são utilizados na agricultura como ferramenta para o controle químico das plantas daninhas nas diferentes culturas agrícolas devido ao custo-benefício que proporcionam. Particularmente, em cana-de-açúcar permitem que extensas áreas recebam a aplicação no mesmo dia, sendo que seu efeito residual é capaz de conter os fluxos de emergência das plantas daninhas entre 50 e 90 dias, dependente da molécula utilizada. Entretanto, é muito comum haver dúvida na escolha dos herbicidas e por falta de conhecimento, escolher moléculas inapropriadas para cada ocasião. Com isso, a eficácia e seletividade das moléculas são comprometidas, podendo inclusive contaminar o ambiente. Neste contexto, este boletim foi elaborado para auxiliar produtores e técnicos quanto à escolha dos herbicidas a serem aplicados nos canaviais. A metodologia utilizada foi segmentada em fundamentos, sendo o primeiro representado pela identificação da flora daninha e a construção de históricos de infestação, o segundo pela água disponível no solo de acordo com a época almejada à aplicação dos herbicidas, o terceiro pela físico-química das moléculas ajustadas

---

<sup>(1)</sup> Instituto Agronômico (IAC), Centro Avançado de Pesquisa de Cana, Ribeirão Preto (SP).

<sup>(2)</sup> ProCultivare, Ribeirão Preto (SP).

<sup>(3)</sup> Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna (SP).

à época da aplicação e o quarto fundamento pela dose dos herbicidas de acordo com a textura do solo (argilosa, média ou arenosa). Ao final, o profissional, ao seguir cada fundamento, elegerá moléculas herbicidas mais adequadas ao momento da sua aplicação, o que possibilitará seletividade à cultura, além de melhor eficácia de controle e proteção ambiental.

**Palavras-chave:** *Saccharum* spp., plantas daninhas, controle químico.

## ABSTRACT

Herbicides are used in agriculture as a tool for chemical control of weeds. Mainly in sugarcane they allow large areas to be sprayed on the same day with residual effect capable of controlling the weeds for 50 and 90 days, depending on the herbicide. Due to this variation is important to understand the chemistry of the compounds to select the right option and avoid environment pollution. In this context, this bulletin was prepared to assist growers and technicians in choosing the herbicides to be applied in sugarcane fields. This publication is divided in the identification of harmful flora and infestation history, the relationship of soil humidity, the physical-chemistry characteristics of the herbicides and the soil texture (clay, medium or sandy). Finally, this information will allow selection of the most suitable herbicide with desired selectivity to the crop and environmental protection.

**Key words:** *Saccharum* spp., weed, chemical control.

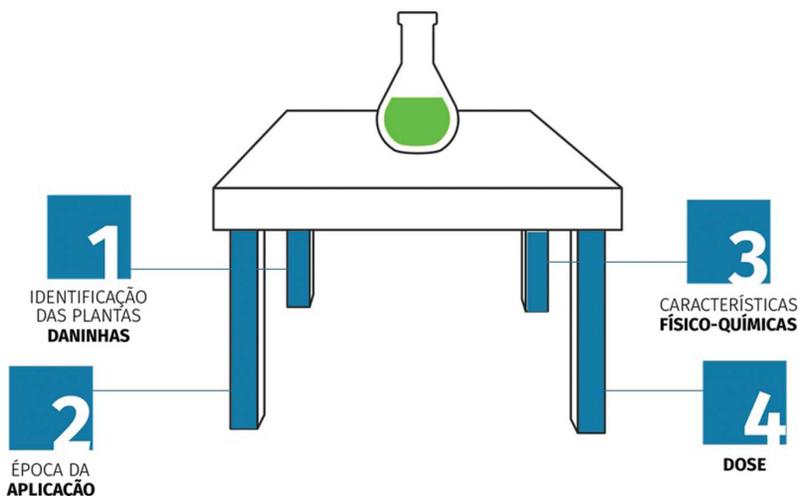
## 1. INTRODUÇÃO

Segundo a etimologia, a palavra herbicida significa “matar mato”, pois “herbi” designa erva ou mato e “cida” designa matar. Os herbicidas definem os produtos químicos utilizados na agricultura para o controle de plantas classificadas como daninhas.

Essa classe de defensivos apresenta como vantagem o rápido controle, custo reduzido e o efeito residual no solo. A principal desvantagem é o uso inadequado que pode levar ao controle ineficaz das plantas daninhas, favorecer o surgimento de biótipos resistentes e contaminação ambiental e humana.

O correto manuseio dos herbicidas é a única ferramenta técnica disponível que permite otimizar suas vantagens e minimizar ou neutralizar suas desvantagens. A recomendação dos herbicidas precisa ser baseada em quatro pilares fundamentais: a) identificação das espécies dominantes na comunidade infestante, b) identificação dos herbicidas para o controle das espécies levantadas e de suas características físico-químicas, c) identificação do regime pluviométrico dos meses seguintes à aplicação, d) identificação da dose a ser utilizada (Figura 1).

Primeiro fundamento: refere-se à identificação das espécies dominantes na comunidade infestante. O profissional precisará fazer o levantamento das espécies dominantes nos canaviais, antes de receberem qualquer herbicida. Embora a constituição da flora daninha seja diferente para cada localidade e se altere anualmente dependendo do clima, geralmente, quatro ou cinco espécies constituem aproximadamente 90% da comunidade infestante do canavial. Com isso, deverá fazer anualmente o levantamento e a escolha dos herbicidas que será dirigida às espécies daninhas dominantes, previamente levantadas.



**Figura 1.** Esquema ilustrativo para os fundamentos necessários à aplicação de herbicidas.

Segundo fundamento: deverá identificar o registro pluviométrico no mínimo dos três meses seguintes à aplicação. Para isso, será necessário ter acesso ao histórico de chuvas e temperaturas da localidade e identificar se as condições pós-aplicação serão de restrição ou normalidade hídrica. Com posse dessa informação consultar quais dos herbicidas da lista (feita no terceiro fundamento) possuem características físico-químicas mais adequadas às condições climáticas do período. Dentre os herbicidas escolhidos o profissional ainda precisa definir sua lista final de herbicidas de acordo com o estágio de desenvolvimento das plantas daninhas e da cultura (pré-emergência, pós-emergência inicial ou tardia).

Terceiro fundamento: refere-se à identificação dos herbicidas para o controle das espécies levantadas e de suas características físico-químicas. O profissional precisa identificar os herbicidas que controlam as espécies levantadas no primeiro fundamento. Sugere-se que o produtor faça uma listagem com o nome comercial e técnico das moléculas, bem como suas características físico-químicas de solubilidade ( $S_w$ ), coeficiente de partição octanol/água ( $K_{ow}$ ), coeficiente de sorção padronizado para carbono orgânico do solo ( $K_{oc}$ ) e constante de ionização em meio ácido ( $pK_a$ ).

Quarto fundamento: refere-se à dose dos herbicidas, que é baseada na textura do solo do canavial. Para solo arenoso deve-se usar doses menores e para solos argilosos, doses maiores.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1. Primeiro fundamento**

#### **2.1.1. Conceitos e definições sobre plantas daninhas**

São plantas com características específicas de agressividade, as quais conferem a capacidade de pioneirismo (colonização primária) devido à ampla adaptação às diversas condições edafoclimáticas. Mas, quando se estabelecem em dada cultura interferem sobre o desenvolvimento das plantas cultivadas podendo reduzir a produtividade agrícola, principalmente devido à elevada capacidade de competição pelos recursos do meio e fatores alelopáticos (AZANIA, 2018).

As espécies de plantas daninhas apresentam elevada variabilidade genética, quando comparadas com as plantas cultivadas, o que confere a agressividade necessária para adaptar-se aos diferentes manejos agrícolas. A rápida adaptação permite às plantas daninhas a característica de pioneirismo, ou seja, as primeiras plantas que se estabelecem em determinada área.

Tal capacidade advém das características de agressividade que cada espécie daninha desenvolveu durante o processo evolutivo a ela imposto. Para sobreviverem aos diferentes distúrbios (ceifas, fogo, predadores, revolvimento, inundações etc.) e estresses (luz, água e nutriente) ao longo do processo evolutivo, cada espécie criou estratégias evolutivas que, por sua vez, convergiram nas atuais características de agressividade:

- Elevada capacidade de produção de diásporos (sementes): tomando-se como exemplo espécies do gênero *Amaranthus* (caruru), onde a produção de sementes chega a ser de 100.000 por planta (LORENZI, 2000). Assim, uma única planta daninha colabora em muito com o aumento do banco de sementes no solo.
- Grande longevidade dos disseminulos: as sementes de plantas adultas ao atingirem o solo enriquecem seu banco de sementes, uma vez que, não germinam todas de uma única vez. Estas possuem a capacidade de permanecer dormentes no solo durante anos sem perder a viabilidade (CARMONA, 1992). Esse fato garante às espécies sobrevivência durante anos.
- Desuniformidade no processo germinativo: as plantas daninhas não germinam todas de uma única vez, enquanto algumas estão florindo, outras, muitas vezes da mesma espécie, estão germinando. A irregularidade nos fluxos de emergência das plantas daninhas exige o uso de herbicidas com períodos residuais de até 90 dias. Com isso, as sementes absorvem o herbicida juntamente com a água na solução do solo, à medida que iniciam o processo de germinação. Como resultado, os fluxos das novas espécies são contidos. A desuniformidade também propicia que as plantas daninhas mais desenvolvidas causem o efeito “guarda-chuva” no momento da aplicação em pós-emergência dos herbicidas, pois as plantas maiores impedem que o herbicida atinja as plantas jovens.

- Absorção nutricional: as espécies de plantas daninhas extraem do solo quantidades de nutrientes maiores do que a sua necessidade de sobrevivência, (BLANCO et al., 1981). Com isso, as demais plantas da população ficam em prejuízo nutricional, particularmente as plantas cultivadas que possuem poucas características de agressividade.
- Mecanismos alternativos de reprodução: muitas espécies de plantas daninhas reproduzem-se por mais de um tipo de mecanismo, ou seja, além das sementes também podem se reproduzir por partes vegetativas, estolões, tubérculos, bulbos, rizomas, etc. A tiririca, por exemplo, é considerada uma das espécies mais eficientes no mundo em relação à reprodução, que se faz por tubérculos (LORENZI, 1983).
- Facilidade de disseminação dos propágulos: muitas espécies daninhas se propagam facilmente porque possuem estruturas que aderem aos animais, a exemplo do picão-preto (*Bidens pilosa*) e capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*). Outros exemplos de dispersão são as espécies levadas pelo vento, como a falsa serralha (*Emilia sonchifolia*), as que resistem ao trato digestivo dos animais ou ainda as que são levadas pela água de chuva ou irrigação (enxurradas).
- Rápido crescimento e desenvolvimento inicial: as plantas daninhas crescem e se desenvolvem rapidamente para garantir seu espaço no ambiente em que está inserida. Uma vez desenvolvida, sombreia as demais espécies, prejudicando a absorção de luz.
- Alelopatia: algumas espécies de plantas daninhas, a exemplo da tiririca (*Cyperus rotundus*) citada por Rolim et al. (2002) e capim-braquiária (*Urochloa decumbens*), sintetizam em seu metabolismo substâncias tóxicas. À medida que essas substâncias atingem o solo podem prejudicar o desenvolvimento de outras espécies de plantas daninhas e da cultura (CERDEIRA et al., 2012).

### **2.1.2. Interferência das plantas daninhas**

O processo de interferência de plantas daninhas é complexo e muitas vezes confundido com competição. A competição pelos recursos

do meio é o fator mais impactante do processo de interferência, porém, é apenas um dos fatores. Ainda há outros fatores a serem considerados, a exemplo da alelopatia, parasitismo, sombreamento, dinâmica do banco de sementes, etc. No Brasil, a competição é o fator mais impactante, chegando a 95% do processo de interferência.

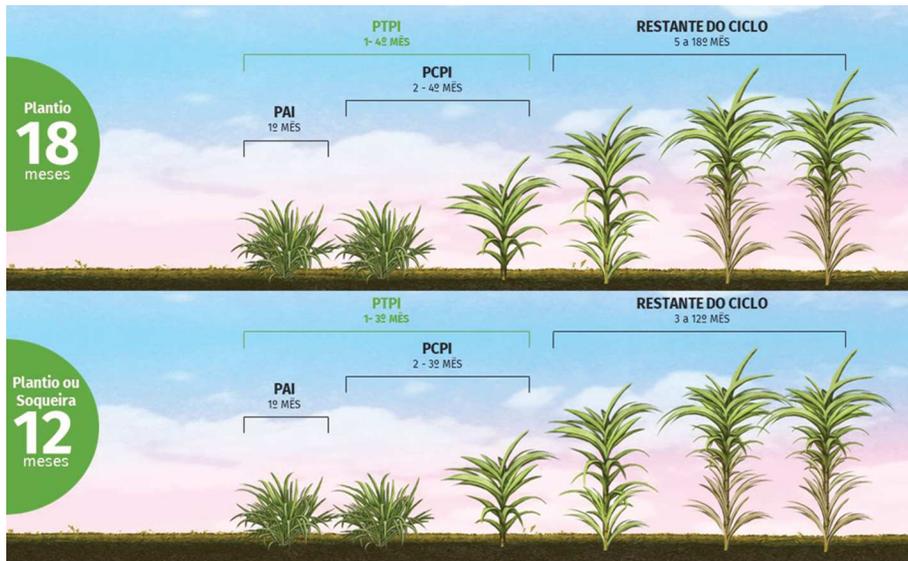
Não existe uma definição clara e concisa de competição, ocorrendo diferentes definições entre os autores. Em termos gerais, pode-se definir a competição como sendo a busca simultânea, entre diferentes indivíduos de uma comunidade de plantas, por recursos como água, luz, nutrientes, espaço e gás carbônico para sobrevivência.

No processo de competição as plantas daninhas disputam com a cultura pelos recursos básicos à sobrevivência das plantas:

- Gás carbônico: em locais com grande massa verde e em condições atmosféricas paradas (sem corrente de ar), pode ocorrer a disputa pelo gás carbônico. Esse tipo de disputa é muito raro de ocorrer em campo, sendo insignificante.
- Água: em solos com baixa capacidade de retenção de água, as plantas daninhas pela sua agressividade, absorverão mais rapidamente a água, deixando a cultura em prejuízo.
- Nutrientes: as plantas daninhas possuem como estratégia a “absorção de luxo”, ou seja, absorvem mais nutrientes do que precisam, deixando as plantas cultivadas em desvantagem nutricional.
- Luz: a característica de crescer rápido permite que as plantas daninhas sombreiem a cultura que, ao receber menor quantidade de luz, tem o processo fotossintético prejudicado com a redução da produção de açúcares (carboidratos) e, por consequência, o seu potencial de crescimento é diminuído.

O período de convivência das plantas daninhas com as culturas deve ser o mais curto possível (AZANIA, 2018). Entretanto, resultados de experimentação em relação ao período de convivência evidenciam, em média, que a cana-de-açúcar deve ter um período de até 120 dias livres de plantas daninhas após plantio.

Para cana-soca ou plantio de 12 meses, é necessário que as plantas daninhas não convivam com a cultura por período de até 90 dias após colheita ou plantio, respectivamente, para não impactar a produtividade (Figura 2). Todavia, deve ficar claro que este período pode variar de acordo com as condições de solo, clima, comunidade infestante local, espaçamento, cultivar utilizada, entre outros.



PTPI (período total de prevenção à interferência), PAI (período anterior à interferência), PCPI (período crítico de prevenção à interferência)

**Figura 2.** Período de convivência de plantas daninhas e cana-de-açúcar.

Para estudar o período de convivência existem metodologias específicas, sendo que nesse tipo de estudo verifica-se o período em que a cultura deve ser mantida no limpo desde seu plantio ou sementeira, sendo chamado de período total de prevenção à interferência (PTPI), de acordo com Pitelli e Durigan (1984).

A interferência das plantas daninhas causa prejuízos à cultura, os quais são dependentes da diversidade da flora e do tempo de convivência com a cultura. Mas, em cana-de-açúcar os prejuízos podem atingir até 85% da produtividade final (Tabela 1).

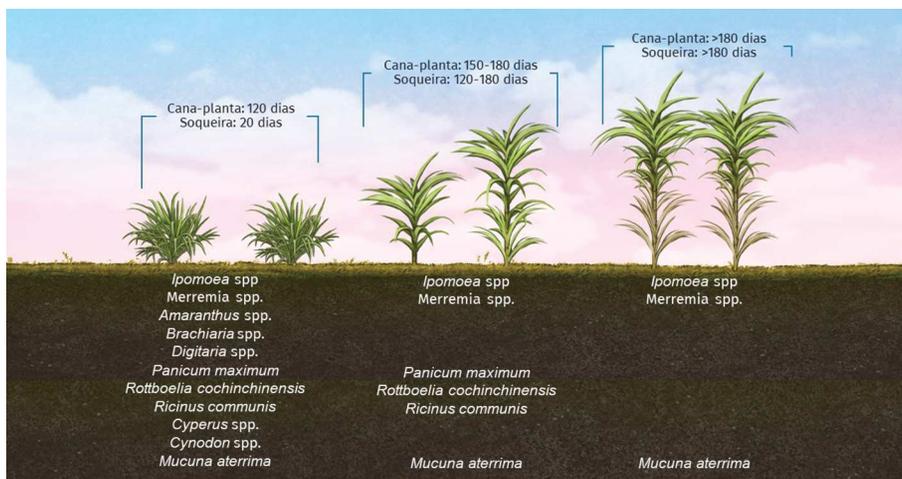
**Tabela 1.** Prejuízos causados pela interferência das plantas daninhas em cana-de-açúcar

FONTE	CANADA-DE-AÇÚCAR			OBSERVAÇÃO
	ANO DE PUBLICAÇÃO	PRODUÇÃO t ha <sup>-1</sup>	POL (caldo)	
Rolim e Christoffoleti	1982	85,5%		
Graciano e Ramalho	1983	83,1%	83,6%	
Blanco et al.	1984	26,7%		infestação mista
Arévalo e Bertoncini	1994	100% cana-planta 80% soqueira		<i>R. exaltata</i>
Kuva et al.	2001	82%		<i>B. decumbens</i>
Siebert et al.	2004	24%		cordas-de-viola

### 2.1.3. Identificação de espécies com foco na cana-de-açúcar

Antes da aplicação dos herbicidas é importante que o profissional identifique as plantas daninhas no canavial, conforme as etapas abaixo apresentadas.

- Primeiro passo: deve-se selecionar as pessoas que farão o levantamento nos canaviais, que pode ser o profissional ou pessoa comprometida. Pessoas com perfil de familiaridade com as plantas daninhas e com disposição para caminhar seriam ideais para compor a equipe. O ideal seriam duas pessoas, porém, nada impede que uma única pessoa faça o levantamento.
- Segundo passo: sugere-se fazer um prévio treinamento das pessoas escolhidas quanto à identificação das plantas daninhas. Na figura 3, podem ser observadas as espécies de plantas daninhas mais comuns de serem encontradas nos canaviais. As pessoas da equipe devem conhecer as espécies mesmo nas diferentes etapas de seu desenvolvimento.



**Figura 3.** Espécies de plantas daninhas frequentes na cultura da cana-de-açúcar e suas ocorrências nas diferentes fases do ciclo de desenvolvimento do canavial.

Se preferir aprimorar o conhecimento das espécies de modo a identificá-las melhor, ainda podem ser produzidos herbários vivos (semeadura das espécies em recipientes descartáveis) que quando levados ao campo auxiliam a identificação (Figura 4). À medida que o herbário cresce, o profissional pode fazer o registro fotográfico e compor um material próprio de identificação.

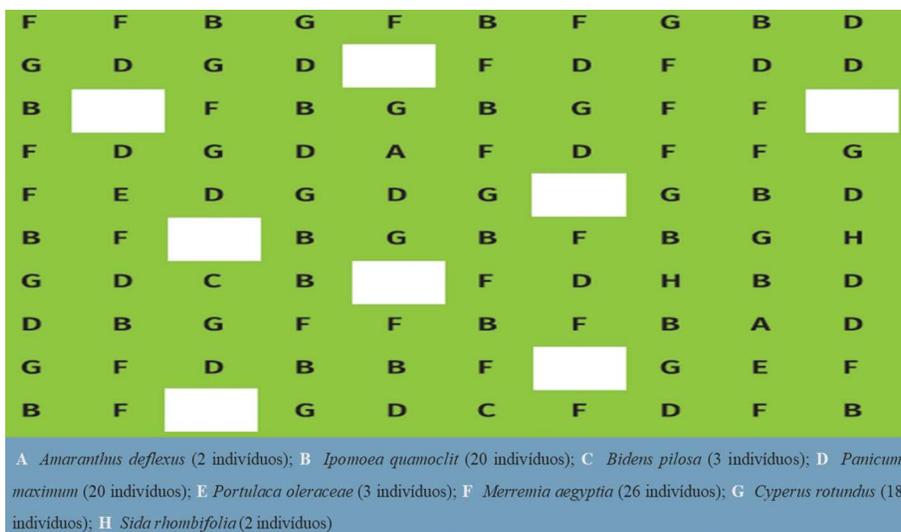


**Figura 4.** Esquema sugestivo para formação de herbário vivo para transporte até o campo.

- Terceiro passo: escolher um canavial recém-colhido ou plantado e que ainda não tenha recebido herbicidas, no qual deverá delimitar uma parcela testemunha com dimensões entre 5 e 7 linhas de cana-de-açúcar, com 10 a 15 m de comprimento (testemunha). Posteriormente, o restante do talhão pode ser liberado à aplicação comercial de herbicidas.

Na parcela testemunha, identificar as espécies dominantes, ou seja, aquelas mais frequentes na comunidade infestante. Deve ser observada a quantidade de espécies que compõem entre 90% e 95% da população das infestantes.

Tomando-se o exemplo da figura 5, que representa uma parcela não tratada por herbicidas (testemunha), observa-se que 92% da área é preenchida pela cor verde (representa a cobertura do solo pelas plantas daninhas) e 8% pela cor branca (representa a ausência das plantas daninhas).



**Figura 5.** Esquema ilustrativo usado para identificar as plantas daninhas em áreas de testemunhas (sem herbicidas) em canaviais.

Nessa primeira observação apenas se constata o percentual de cobertura do solo pelas plantas daninhas, que no caso é de 92%. Dentro desse percentual de cobertura identificou-se quatro espécies predominantes: B = *Ipomoea quamoclit*; D = *Panicum maximum*; F = *Merremia aegyptia*; G = *Cyperus rotundus*. Nesse exemplo, os herbicidas a serem aplicados devem a priori ter eficácia de controle sobre as espécies dominantes identificadas.

### **2.1.4. Método prático para levantamento de plantas daninhas em canaviais**

Uma vez entendido o processo de demarcação de testemunhas, o profissional precisará também definir a quantidade de testemunhas em cada canavial. Nesse caso, quanto maior o número de testemunhas, maior será a precisão do levantamento. Como nas áreas tradicionais de cultivo da cana-de-açúcar os talhões possuem dimensões entre 8 e 15 ha, sugere-se monitorar 1 talhão e seus dados representar os demais ao seu entorno.

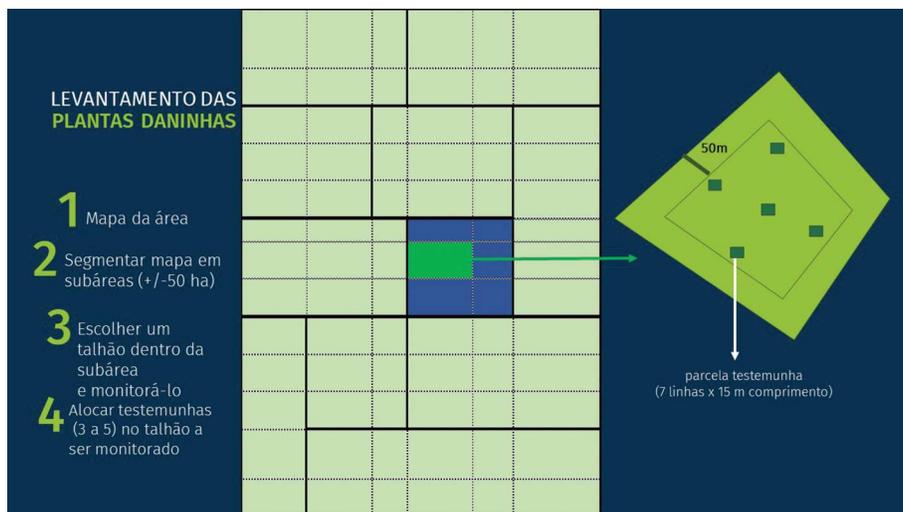
Primeiramente, a área deve ser dividida em glebas próximas de 50 ha, o que representaria, por exemplo, 4 talhões de 15 ha (60 ha) ou 6 talhões de 8 ha (48 ha). Em média as glebas terão 5 talhões, sendo 1 talhão monitorado e outros 4 representados (Figura 6).

No talhão a ser monitorado, o número de testemunhas a ser escolhido depende da precisão que o produtor almeja. Como sugestão recomenda-se alocar entre 3 e 5 testemunhas no talhão a ser monitorado. Após escolhido o número de testemunhas, essas precisam ser distribuídas de modo que representem o talhão, evitando-se os 30 m de bordadura no entorno do talhão.

A variabilidade do banco de sementes nos solos é muito ampla e o número reduzido de testemunhas (menores que 3) pode comprometer o levantamento. Nesse caso, corre-se o risco de as parcelas serem alocadas sobre solo com banco de sementes minimizado e vice-versa. Com isso, o número e diversidade de espécies contabilizados pode não representar adequadamente a flora daninha do canavial.

Para o tamanho das testemunhas é sugerido no mínimo 90 m<sup>2</sup>, que pode ser demarcado no momento da aplicação dos herbicidas. Nesse caso, a largura das testemunhas seria o correspondente à barra de aplicação do trator e o comprimento constituído por 10 a 15 m sem a aplicação do herbicida. No caso de equipamentos de aplicações grandes (tipo Uniport), a largura das testemunhas pode ser  $\frac{1}{3}$  ou  $\frac{1}{2}$  barra de pulverização.

A identificação da parcela sem aplicação (testemunha) deve ser feita por estacas e sinalizada em mapas e, quando possível, georreferenciadas com GPS. Essas parcelas serão avaliadas a cada 30 dias e sua identificação é fundamental para rapidamente localizá-las quando o canavial estiver mais desenvolvido.



**Figura 6.** Esquema para alocar subáreas e parcelas testemunhas para implantar programa de levantamento de plantas daninhas.

Na literatura encontram-se duas formas básicas de levantamento de plantas daninhas, uma é o emprego do método visual (método empírico) e outra é o quantitativo, de acordo com a metodologia de levantamento fitossociológico preconizada por Mueller-Dombois e ElleMBERG (1974). No texto, será abordado o levantamento visual, ou seja, o empírico, devido à praticidade. Salienta-se que a proposta apresentada é sugestiva, porém, com resultados interessantes quando utilizada no dia a dia.

O método consiste em o profissional treinar até três pessoas, escolher nas testemunhas as linhas centrais da parcela, conforme a figura 7, e atribuir notas de cobertura do solo, ou seja, qual o percentual do solo coberto pela infestação. Nesse momento, o produtor precisará ter sido treinado para atribuição das notas percentuais, mas para entendimento pode-se tomar como referência a escala onde 0 (zero) corresponde à ausência de plantas daninhas (solo desnudo) e 100 (cem) à cobertura total do solo pelas infestantes. Essa nota é atribuída para cada um dos observadores, individualmente.

A segunda nota refere-se à frequência visual das plantas daninhas, ou seja, as espécies mais presentes. Assim, logo após atribuir a nota de cobertura do solo, o observador elegerá as quatro ou cinco espécies mais frequentes e atribuirá nota percentual para cada uma. A soma dessas notas deve totalizar 100 (cem) porque se refere à frequência.



**Figura 7.** Esquema de caminhamento nas parcelas e atribuição de notas de cobertura geral e específica para avaliação da eficácia de controle nos talhões de cana-de-açúcar tratados com diferentes volumes de calda.

Tomando-se como referência o exemplo da figura 5, a parcela testemunha apresentou 92% de nota de cobertura do solo (infestação total pelas plantas daninhas) e 20% de *Ipomoea quamoclit* (B), 20% de *Panicum maximum* (D), 26% de *Merremia aegyptia* (F) e 18% de *Cyperus rotundus* (G) como notas específicas (frequência específica).

Após o término das avaliações em todas as testemunhas, os observadores deverão, em escritório, calcular a média. Essas serão colocadas em tabelas ou softwares para que possam ser acrescidas das avaliações futuras, constituindo o histórico de plantas daninhas.

No ano em que for realizada a primeira avaliação o produtor simplesmente tomará conhecimento sobre quais espécies daninhas são mais comuns nos canaviais e na escolha do herbicida a ser utilizado. No ano seguinte, baseado no levantamento anterior, a informação o ajudará a escolher o herbicida (respeitando a rotação entre modo de ação).

A proposta é uma sugestão para aqueles que almejam iniciar o trabalho de levantamento de plantas daninhas e a constituição de históricos confiáveis. Independente do emprego das sugestões acima comentadas, o importante é o produtor escolher sabidamente observadores idôneos, número e dimensão

das testemunhas. É importante sempre considerar que testemunhas em número insuficiente, especialmente quando avaliadas por pessoas despreparadas, refletirão em levantamentos e históricos inconsistentes.

Com posse do levantamento das plantas daninhas deve-se escolher os herbicidas com eficácia de controle (registrados) para as espécies identificadas. Nesse primeiro momento deve-se fazer a lista completa, simplesmente alocando os herbicidas com eficácia para cada espécie e sua respectiva ficha técnica (Tabela 2).

## **2.2. Segundo fundamento**

### **2.2.1. Regime de chuvas e a escolha dos herbicidas**

Após a elaboração da tabela 2, de acordo com as espécies daninhas presentes, deverá ser observada uma segunda consideração, fundamentada nas condições do clima dos três próximos meses a partir da aplicação (AZANIA, 2018). Os herbicidas precisam de água no solo para funcionar e, como a cana-de-açúcar é cultivada durante todo ano, a disponibilidade de água é diferente de acordo com os meses.

Há herbicidas que precisam de maior e outros, menor umidade no solo. Identificar a época do ano é sinônimo de posicionar corretamente os herbicidas em períodos de umidade adequada à sua físico-química. Para cana-de-açúcar, utiliza-se das estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) para classificar as soqueiras e cana-planta (Figura 8), de acordo com adaptação da denominação de Kuva (2006).

No Centro-Sul brasileiro, os canaviais cultivados entre março e maio são tidos como do período semiseco, entre junho a agosto do período seco, de setembro a novembro do período semiúmido e entre dezembro a fevereiro do período úmido. Mas, como os grupos sucroenergéticos ocupam regiões distintas, as informações do clima devem ser direcionadas a cada região.

Desse modo, deve-se considerar a classificação, semiseco, seco, semiúmido e úmido e reclassificar os meses de acordo com a distribuição de chuvas da região. Assim como para o uso dos maturadores, sugere-se contatar serviços meteorológicos com informações trimestrais e usar tais informações para classificar os canaviais.

**Tabela 2.** Esquema sugestivo para selecionar herbicidas e registrar suas propriedades físico-químicas em detrimento das plantas daninhas identificadas

Espécies Identificadas	Herbicidas			
	1	2	3	“n”
<i>Ipomoea spp.</i>	Sw			
	Koc			
	Kow			
	pKa			
<i>Panicum maximum</i>	Sw			
	Koc			
	Kow			
	pKa			
<i>Merremia aegyptia</i>	Sw			
	Koc			
	Kow			
	pKa			
<i>Cyperus rotundus</i>	Sw			
	Koc			
	Kow			
	pKa			

Sw (solubilidade), Koc (*coeficiente* de sorção normatizado pela fração de carbono orgânico do solo), Kow (coeficiente de partição octanol/água), constante de ionização em meio ácido (pKa).



**Figura 8.** Esquema que classifica os períodos do ano para a cultura da cana-de-açúcar. Adaptado de Kuva (2006).

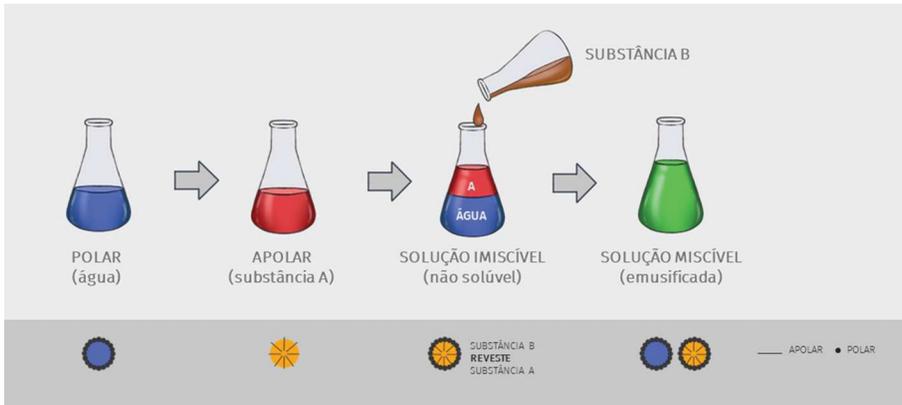
## 2.3. Terceiro fundamento

### 2.3.1. Solubilidade em água ( $S_w$ ) dos herbicidas

Solubilidade ( $S_w$ ) é a capacidade que uma substância possui para se dissolver em outra. A que se dissolve chama-se soluto e a substância na qual o soluto é dissolvido chama-se solvente.

Na calda de pulverização, o herbicida, fungicida ou inseticida são os solutos e a água é o solvente. No solo, o herbicida, fungicida ou inseticida são os solutos e a água (chuva/irrigação e da solução do solo) é o solvente. Assim, a solubilidade do herbicida é a capacidade que um herbicida possui em dissolver-se na água.

A água, que é o solvente, é uma substância polar e ao receber outra substância polar torna a solução homogênea (miscível). Mas, se a água (polar) receber uma substância apolar, a solução a ser formada não será homogênea, mas sim imiscível. Nesse caso, há necessidade de acrescentar à formulação do herbicida ou à calda de pulverização adjuvante de ação emulsificante ou surfactante (Figura 9).



**Figura 9.** Esquema sobre a homogeneização de substâncias.

O controle químico de plantas daninhas durante o período de estiagem demanda moléculas de herbicidas com maiores valores de solubilidade, devido à baixa presença de água no solo (menor umidade). Herbicidas de baixa solubilidade em períodos de restrição hídrica (outono e inverno) permanecem na superfície do solo e sua exposição ao clima favorece sua perda por fotodegradação e/ou volatilidade, desde que as moléculas sejam susceptíveis a tais características (Figura 10).

	Categoria de Solubilidade ( $S_w$ )	Valor (ppm)	
	Insolúvel	<1	
	Muito Baixa	1 a 10	Chuva
I	Baixa	11 a 50	
	Média	51 a 150	
	Alta	151 a 500	Transição
II	Muito Alta	501 a 5000	
III	Extremamente Alta	>5000	Seca

**Figura 10.** Categoria de solubilidade de substâncias e sua interpretação (sugestiva) para aplicabilidade aos herbicidas.

Por outro lado, aplicações durante o verão requerem herbicidas com baixo valor de solubilidade, uma vez que as moléculas com maior solubilidade são facilmente lixiviadas devido a maior quantidade de água no solo, o que prejudica a eficácia de controle (Figura 10).

Nas localidades em que a previsão do clima for chuva no trimestre seguinte à aplicação, opta-se pelos herbicidas de menor solubilidade (Sw até 300 ppm), se for de transição entre chuva e seca (semisseca) ou seca e chuva (semiúmida) opta-se por herbicidas com solubilidade intermediária (Sw entre 350 a 5.000 ppm), se for de seca utiliza-se os de solubilidade elevada (Sw maior 5.000 ppm). Segundo Azania (2018), essas informações podem ser facilmente encontradas com o fabricante do herbicida ou em sites especializados.

É importante ter conceituado que a movimentação dos herbicidas na camada arável do solo é dependente da água disponível e o conhecimento da solubilidade permite alocar as moléculas no momento correto. Com isso, evita-se perdas de herbicidas por lixiviação, volatilização, foto ou termodegradação.

### **2.3.2. Coeficiente de sorção normatizado pela fração de carbono orgânico do solo (Koc)**

A sigla Koc representa o coeficiente de sorção padronizado para carbono orgânico do solo ( $K = \text{constante/coeficiente}$ , o = orgânico, c = carbono). Como aplicabilidade, expressa as forças de sorção do herbicida para com os coloides (argila e matéria orgânica) no solo (AZANIA, 2018). Para melhor compreender o que é Koc na dinâmica dos herbicidas no solo será necessário conhecer, previamente, as forças de sorção envolvidas.

A força de sorção é um fenômeno físico-químico decorrente da interação de substâncias na superfície de outras substâncias. Quanto aos herbicidas no solo, a sorção envolve os fenômenos de adsorção (retenção) e dessorção (desprendimento), que ocorrem simultaneamente. A adsorção é a adesão física ou ligação de íons de uma molécula de herbicida à superfície dos coloides (matéria orgânica e argila).

A dessorção é o processo inverso à adsorção, ou seja, ocorre quando a molécula herbicida se desprende do coloide e permanece livre na solução do solo. O processo de absorção dos herbicidas aos coloides do solo não integra as forças de sorção, mas embora raramente, pode ocorrer quando os herbicidas lipofílicos são absorvidos pela fração lipídica da matéria orgânica.

No solo, o Koc é calculado pela relação entre a quantidade de moléculas adsorvidas e a quantidade de moléculas na solução do solo (livres ou dessorvidas), conforme equação abaixo.

$$K_{oc} = \frac{\text{quantidade de moléculas adsorvidas}}{\text{quantidade de moléculas na solução solo}}$$

Uma vez no solo, o herbicida de menor Koc é fracamente adsorvido aos coloides ( $<K_{oc}$ ) e fica na solução do solo, o que favorece o processo de absorção pelas raízes das plantas ou das sementes das plantas daninhas à medida que inicia o processo de embebição de água. No oposto, o herbicida fortemente adsorvido aos coloides ( $>K_{oc}$ ) não permanece na solução do solo e não são absorvidos pelas plantas ou pelas sementes.

Os valores do Koc para herbicidas podem ser observados na figura 11, porém, ao elencar os herbicidas usados em cana-de-açúcar pode-se inferir que aqueles com valores até  $599 \text{ mL g}^{-1}$  têm os processos de adsorção e dessorção facilitados. Quando os valores são maiores, a retenção é facilitada e a dessorção dificultada e permanecem mais tempo retidos aos coloides do solo.

Com isso, os herbicidas com Koc até  $599 \text{ mL g}^{-1}$  podem ser aplicados em pré-emergência que apresentarão residual no solo durante algum tempo (enquanto a molécula não for degradada no solo), controlando os fluxos de emergência de plantas daninhas. Como exemplo, apresenta-se o tebuthiuron (Koc  $30 \text{ mL g}^{-1}$ ), amicarbazone (Koc  $30 \text{ mL g}^{-1}$ ), sulfentrazone (Koc  $43 \text{ mL g}^{-1}$ ) e imazapic (Koc  $137 \text{ mL g}^{-1}$ ), todos usados em pré-emergência das plantas daninhas e com residual próximo a 80 dias no solo.

Ao contrário, herbicidas com Koc superiores a  $599 \text{ mL g}^{-1}$  ficam mais retidos aos coloides do solo, mas ainda podem ser aplicados em pré-emergência e terem efeito residual próximo de 40 dias. Como exemplo tem-se a flumioxazina (Koc  $889 \text{ mL g}^{-1}$ ) que dada sua dose consegue ter efeito residual no solo.

COEFICIENTE DE SORÇÃO PADRONIZADO PARA CARBONO ORGÂNICO (KOC)		
KOC	FORÇA DE SORÇÃO	
0,5 a 99	Fraca	KOC até 600 indicam herbicidas que podem ter ação pré-emergência. As forças de sorção são facilitadas no solo.
100 a 599	Moderada	
600 a 4.999	Forte	KOC acima 600 indicam herbicidas que não tem ação pré-emergência. As forças de sorção são dificultadas no solo.
>5.000	Muito forte	

**Figura 11.** Categoria de coeficiente de sorção para carbono orgânico do solo (Koc) e sua interpretação (sugestiva) para aplicabilidade aos herbicidas.

Para os herbicidas com Koc muito elevados, a retenção no solo é intensa e as moléculas não ficam livres na solução do solo, o que prejudica a ação em pré-emergência. Como exemplo, apresenta-se o glyphosate (Koc 6.920 mL g<sup>-1</sup>), paraquat (Koc 1.000.000 mL g<sup>-1</sup>) e MSMA (Koc 7.000 mL g<sup>-1</sup>), todos sem efeito pré-emergência (sem residual).

### 2.3.3. Coeficiente de partição octanol/água (Kow)

A sigla Kow apresenta o coeficiente de partição octanol-água, onde “K” significa coeficiente; “o” representa o octanol e “w” a água (water). Expressa a afinidade do herbicida com substâncias lipídicas ou lipofílicas. De acordo com Azania (2018), quanto maior o valor do Kow, maior é a afinidade para com os lipídios, enquanto os valores menores indicam maior afinidade da molécula com a água. A interpretação dos valores de Kow permite entender a dinâmica das moléculas na calda de pulverização e na planta.

Na calda de pulverização, as moléculas com Kow mais elevados (afinidade lipídica) têm dificuldade em dissolver-se em água. Para que não se forme duas fases (água e herbicidas) na calda de pulverização a molécula de herbicida precisa estar disponível em formulação adequada.

Geralmente, há adjuvantes específicos que integram a formulação do herbicida e que, ao revestirem a molécula com camada hidrofílica, facilita sua homogeneização à água no tanque de pulverização. Oposto, as moléculas com valores de Kow menores possuem facilidade de homogeneização à água durante o processo de formação da calda de pulverização.

Na planta, o herbicida com valores de Kow mais elevados (afinidade lipídica) tem a facilidade de transpor a camada de cutina das folhas, uma vez que é formada por ácidos graxos, ceras e lipídios. Ao contrário, moléculas com menor Kow têm dificuldade em transpor a cutina foliar, devido a menor afinidade com o meio graxo (lipídico). Nesses casos, há necessidade de inserir nas formulações ou diretamente na calda de pulverização adjuvantes específicos, que consigam revestir as moléculas com uma camada superficial lipofílica, a qual facilitará a transposição das moléculas pela cutina.

Uma vez no tecido das plantas, as moléculas com maior Kow rapidamente transpõem a membrana plasmática das células e no interior celular transpõem facilmente as membranas de organelas que também possuem lipídeos como constituintes. As moléculas com menor Kow permanecem em maior quantidade no apoplasto (espaços livres entre as células do tecido).

Com isso, as moléculas com maior Kow serão translocadas via simplasto (passando pelo interior de célula a célula através de canais chamados de plasmodesmos) e, geralmente, é uma translocação mais lenta. Para cada célula que recebe as moléculas, dependente do seu mecanismo de ação, o efeito do herbicida é iniciado.

Para as moléculas com menor Kow, a translocação será via apoplasto, passando pelos espaços livres entre as células até atingir os vasos condutores, porém, é uma translocação mais rápida. Para moléculas com menor Kow, devido a menor afinidade lipofílica, sua aplicação em pré-emergência das plantas daninhas facilita sua dinâmica na planta. No processo de germinação das sementes, o herbicida está em meio à água absorvida da solução do solo e poderá atingir o sítio de ação nas primeiras multiplicações celulares antes da planta formar tecidos especializados.

Os valores do Kow para herbicidas podem ser observados na figura 12, porém, ao elencar os herbicidas usados em cana-de-açúcar pode-se inferir que aqueles com Kow até 10 são de afinidade hidrofílica (água) e Kow maiores que 10 são de afinidade lipofílica.

## COEFICIENTE DE PARTIÇÃO OCTANOL/ÁGUA (KOW)

Kow	CARACTERÍSTICA
<1	hidrofílico
1 a 10	medianamente lipofílico
10 a 100	lipofílico
100 a 1000	muito lipofílico
>1000	extremamente lipofílico

**Figura 12.** Valores de coeficiente de partição octanol/água (Kow) e a interpretação para as moléculas de herbicidas utilizadas em cana-de-açúcar.

### 2.3.4. Constante de ionização em meio ácido (pKa)

Para o pKa é necessário conhecer alguns conceitos que facilitarão o entendimento dessa tão importante característica físico-química. No primeiro passo, deve-se entender que os herbicidas podem ser um ácido, uma base ou ainda um sal. No segundo passo, é necessário entender que há herbicidas que não sofrem ionização e permanecem na sua forma molecular (não ionizáveis) e herbicidas passíveis de ionização (ionizáveis). As moléculas herbicidas ionizadas formam íons (cátions e ânions), que podem não ter mais o potencial herbicida.

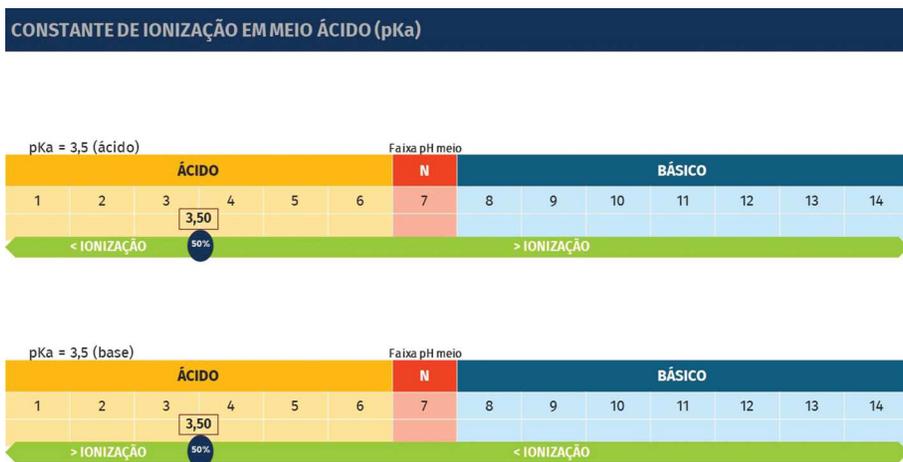
Exemplos:

- Herbicida ácido em contato com calda de pulverização ou solos básicos terá maior probabilidade de ser ionizado. Geralmente, ânions serão formados porque a forma molecular do herbicida perde prótons nesse processo.
- Herbicida básico em contato com calda de pulverização ou solos ácidos também poderão ser ionizados. Nesse caso, cátions serão formados porque a forma molecular do herbicida ganha prótons no processo.

Entendido esses conceitos, pode-se apresentar o pKa, que é a constante de ionização em meio ácido para herbicidas, cuja finalidade é definir o pH em que o herbicida estará com 50% na forma ionizada e 50% na forma não ionizada (molecular). Quanto mais próximo o valor do pKa do herbicida e do pH da calda de pulverização, garante-se ao menos 50% da molécula na forma molecular (não ionizado), a qual está pronta à dinâmica no solo e planta (Figura 13).

No solo, os herbicidas na forma molecular poderão seguir sua dinâmica, seja de movimentação (de acordo com sua solubilidade) e retenção (de acordo com seu Koc) no solo, bem como na translocação nas plantas (de acordo com seu Kow). As moléculas ionizadas geram metabolitos que podem não ter efeito herbicida.

Como exemplo de interpretação de pKa para herbicidas, toma-se como referência a figura 13. No primeiro caso, o herbicida de caráter ácido (pKa 3,5) foi colocado em um meio (calda de pulverização ou solo) com pH de 3,5. Assim, toda vez que o valor do pH do meio for igual ao valor do pKa da molécula, considera-se que 50% das moléculas permaneçam na forma molecular (não ionizadas) e 50% na forma ionizada (formação cátions e ânions).



**Figura 13.** Interpretação da constante de ionização em meio ácido (pKa) e dos herbicidas ácidos e básicos em relação ao pH na calda de pulverização e no solo.

Entretanto, como o herbicida do exemplo tem caráter químico ácido, o ideal é que o pH do meio permaneça também ácido. Com isso, mais de 50% das moléculas permanecem na forma molecular não ionizada, uma vez que a regra química preconiza que substância ácida em meio ácido não se ioniza. Na prática, é importante manter herbicidas de caráter químico ácido em calda ácida, tomando-se como referência seu valor de pKa (pH da calda menor que o valor do pKa).

No segundo caso, o herbicida de caráter básico (pKa 3,5) foi colocado em um meio (calda de pulverização ou solo) com pH de 3,5. Assim, 50% das moléculas permaneceram na forma molecular (não ionizadas) e 50% na forma ionizada (formação cátions e ânions).

Mas, o herbicida do exemplo tem caráter químico básico, o ideal é que o pH do meio permaneça também básico. Com isso, mais de 50% das moléculas permanecem na forma molecular não ionizada, uma vez que a regra química preconiza que substância básica em meio básico não se ioniza. Na prática, é importante manter herbicidas de caráter químico básico em calda alcalinas, tomando-se como referência seu valor de pKa (pH da calda maior que o valor do pKa).

## **2.4. Quarto fundamento**

### **2.4.1. Dose de herbicidas**

A dose dos herbicidas é especificada no rótulo e bula dos produtos comerciais e o profissional precisa manejar o herbicida conforme as instruções do fabricante. A amplitude da dose exposta na bula deve ser escolhida de acordo com a textura do solo, solos arenosos devem receber doses menores e argilosos doses maiores. Assim, é importante conhecer a textura do solo (SILVA et al., 2013).

Os solos brasileiros são diversificados, possuem diferentes tipos e conteúdo de argila, matéria orgânica, óxido de ferro, etc. Sobre esta diversidade também há a incidência do clima (chuvas e temperaturas) e ao se considerar o solo e o clima, cria-se os ambientes de produção. Segundo Prado (2021), para cana-de-açúcar os ambientes mais propícios ao cultivo são tidos como A e os mais restritivos como E.

O ambiente A é característico por solos profundos e férteis, além da retenção de água e Capacidade de Troca de Cátions (CTC) favoráveis ao cultivo da cana-de-açúcar. Ao contrário, ambientes ditos como E são característicos por solos rasos (geralmente ácidos) e com baixa fertilidade, acompanhados da deficiência na retenção de água e presença de alumínio, sendo desfavoráveis ao cultivo. Dentro desse conceito, determina-se os ambientes de produção, os quais são amplamente utilizados à alocação varietal.

Quanto aos herbicidas, as doses são padronizadas apenas pela textura do solo de modo que a mesma dose pode ser usada para um ambiente A e E, desde que a textura seja similar. Entretanto, a disponibilidade de água é diferente e a dinâmica do herbicida no solo será influenciada de acordo com a água na solução do solo.

Outra questão a ser observada é a carga elétrica da fração argila, se formada por caulinita (1:1) ou montmorilonita (2:1) será negativa, assim como a matéria orgânica que estiver presente no solo. Mas, os solos com participação expressiva de óxido de ferro (hematita e goethita) ou óxido de alumínio (gibbsita) suas argilas apresentaram cargas positivas.

Segundo Prado (2021) para checar a presença de cargas positivas e negativas é necessário entender o delta pH ( $\text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ), que se relaciona com o balanço de cargas elétricas no solo. Quando  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} > \text{pH}_{\text{KCl}}$ , predominam cargas negativas, quando  $\text{pH}_{\text{KCl}} = \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  o número de cargas negativas e positivas são iguais (ponto de carga zero, ou PCZ).

Herbicidas que produzem ânions após processo de ionização podem ser fortemente retidos se a carga elétrica da fração argila do solo for positiva ou ficar livre na solução do solo se a fração argila for carga negativa. Se a forma molecular do herbicida for ionizada em cátions a adsorção será maior se a carga da fração argila for negativa e menor se positiva.

Entretanto, é muito simplista fundamentar-se apenas na textura do solo para a recomendação da dose, pois existem outros fatores que implicam na dinâmica do herbicida no solo. Mas, no momento é o que mais se usa no Brasil como ferramenta de escolha de dose de herbicidas.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O profissional, ao adotar os fundamentos para aplicação de herbicidas baseados na identificação das espécies (fundamento 1), na disponibilidade de água no solo (fundamento 2), na físico-química das moléculas (fundamento 3) e na dose (fundamento 4), seguirá os principais critérios técnicos que convergem para melhor eficácia de controle, somada à seletividade dos tratamentos químicos à cultura e menor impacto ambiental.

Entretanto, como a agricultura é uma atividade de risco, mesmo seguindo todos os fundamentos técnicos discutidos neste documento, porém, intempéries climáticas (estiagem ou excesso de chuvas) e/ou incêndios em canaviais podem ocorrer e comprometer o resultado esperado. Mas, dentro de padrões normais de clima e manejo do canavial, os fundamentos abordados constituem em importante ferramenta de auxílio em relação ao posicionamento de herbicidas.

### 4. AGRADECIMENTOS

Nossos sinceros agradecimentos às Empresas que ao longo dos anos mantiveram parcerias público-privadas junto ao Instituto Agrônômico e Fundação de Apoio à Pesquisa Agrícola, à FAPESP, ao CNPq (Programa PIBIC) e aos diversos orientados que apoiaram e participaram das pesquisas, tornando possível este trabalho.

### 5. REFERÊNCIAS

ARÉVALO, R. A.; BERTONCINI, E. **Biologia e manejo de *Rottboelia exaltata* L.f. na cultura da cana-de-açúcar *Saccharum* spp.**: Análise do problema. Piracicaba: Estação Experimental de Cana-de-açúcar/IAC, 1994. 24 p. (Publicação Especial Centro de Cana Piracicaba. n. 2)

AZANIA, C. A. M. Manejo de plantas daninhas em cana-de-açúcar. In: Blain, G. C., Cia, P. (Eds.). **O Agrônômico**. Campinas: Instituto Agrônômico, v. 70, p. 20-26, 2018.

BLANCO, H. G.; BARBOSA, J. C.; OLIVEIRA, D. A. Competição entre plantas daninhas e a cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). IV. Período de competição produzido por uma comunidade natural de mato em cultura de ano e meio. **O Biológico**, v. 50, n. 10, p. 237-245, 1984.

BLANCO, H. G.; OLIVEIRA, D. A.; COLETI, J. T. Competição entre plantas daninhas e a cultura da cana-de-açúcar. II. Período de competição produzido por uma comunidade natural de mato, com predomínio de gramíneas, em cultura de ano. III – Influência da competição na nutrição da cana-de-açúcar. **O Biológico**, v. 47, n. 3, p. 77-88, 1981.

CARMONA, R. Problemática e manejo de bancos de sementes de invasoras em solos agrícolas. **Planta Daninha**, v. 10, n. 1/2, p. 5-16, 1992.

CERDEIRA, A.; CANTRELL, C.; DAYAN, F.; BYRD, J.; DUKE, S. Tabanone, a new phytotoxic constituent of cogongrass (*Imperata cylindrica*). **Weed Science**, v. 60, n. 2, p. 212-218. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1614/WS-D-11-00160.1>.

GRACIANO, P. A.; RAMALHO, J. F. G. P. Efeito da matoinfestaç o na cultura da cana-de-açúcar. **Stab: açúcar, álcool e subprodutos**, Piracicaba, v. 1, n. 5, p. 22-24, 1983.

KUVA, M. A.; GRAVENA, R.; PITELLI, R. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; ALVES, P. L. C. A. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. II – Capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*). **Planta Daninha**, v. 19, n. 3, p. 323-330, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582001000300003>.

KUVA, M. A. **Banco de sementes, fluxo de emergência e fitossociologia de comunidade de plantas daninhas em agroecossistema de cana-crua**. 2006. 105 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2006.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil**: terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2000, 608 p.

LORENZI, H. Plantas daninhas e seu controle na cultura da cana-de-açúcar. In: REUNIÃO TÉCNICA AGRONÔMICA, 1983, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, Copersucar, 1983. p. 58-73.

MUELLER-DOMBOIS, O.; ELLEMBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York, John Willey and Sons. Inc., 1974. 547 p.

PITELLI, R. A.; DURIGAN, J. C. Terminologia para períodos de controle e de convivência de plantas daninhas em culturas anuais e bianuais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 15., 1984, Belo Horizonte. **Resumos...** Piracicaba: AUGEGRAF, 1984. p. 37.

PPDB. Pesticide Properties DataBase. Disponível em: [https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/atoz\\_herb.htm](https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/atoz_herb.htm). Acesso em: 20 ago. 2021.

PRADO, H. **Pedologia Fácil**. Disponível em: <https://www.pedologiafacil.com.br/>. Acesso em: 20 ago. 2021.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**, 7. ed. Londrina, 2018. 764 p.

ROLIM, J. C.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Período crítico de competição de plantas daninhas com cana-planta de ano. **Saccharum APC**, São Paulo, v. 5, n. 22, p. 21-26, 1982.

ROLIM, J. C.; GONÇALVES, C. P.; CORBO, E. Interferência da tiririca (*Cyperus rotundus* L.) na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 23. 2002, Gramado. **Anais...** Gramado: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2002. p. 60.

SIEBERT, J. D.; GRIFFIN, J. L.; JONES, C. A. Red morninglory (*Ipomoea coccinea*) control with 2,4-D and alternative herbicides. **Weed Technology**, Champaign, v. 18, p. 38-44, 2004.

SILVA, G. R.; D'ANTONINO, L.; FAUSTINO, L. A.; SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; TEXEIRA, C. C. Sorption of fomesafen in brazilian soils. **Planta Daninha**, v. 31, n. 4, p. 971-977, 2013.

## ANEXO

**Anexo I.** Moléculas de herbicidas, características físico-químicas e aplicabilidades necessárias à sua alocação no manejo químico das plantas daninhas em cana-de-açúcar.

	solubilidade (ppm)	época aplicação Centro- -Sul*	Kow	Log Kow	afinidade lipídica	pKa	caráter químico	Koc (mL g <sup>-1</sup> )	força sorção	pressão vapor (Pa)	volatilização	½ vida ***
2,4 D	24300	*	0,151	-0,82	hidrofílico	3,4	ácido	39,3	fraca	1,9 x 10 <sup>-5</sup>	pouco	10
alachlor	240	grupo I	1230	3,09	lipofílico	0,62	ácido	335	moderado	2,1 x 10 <sup>-3</sup>	pouco	42
ametryn	200	grupo I	427	2,63	lipofílico	4,1	base	316	moderado	1,12 x 10 <sup>-4</sup>	pouco	60
amicarbazone	4600	grupo II	17	1,23	hidrofílico	0	não ionizável	30	fraca	1,3 x 10 <sup>-6</sup>	não volátil	87
atrazine	35	grupo I	501	2,7	lipofílico	1,7	base	100	moderado	3,87 x 10 <sup>-5</sup>	pouco	60
carfentrazone-ethyl	29,3	*	5010	3,7	lipofílico	0	não ionizável	866	forte	1,6 x 10 <sup>-5</sup>	pouco	0,5
clomazone	1212	grupo II	380	2,58	lipofílico	0	não ionizável	300	moderado	1,92 x 10 <sup>-2</sup>	mediamente	93
diclosulam	6,32	grupo I	7,08	0,85	hidrofílico	4	ácido	90	fraca	6,58 x 10 <sup>-8</sup>	não volátil	43
diuron	35,6	grupo I	741	2,87	lipofílico	0	não ionizável	680	forte	9,2 x 10 <sup>-6</sup>	não volátil	54
flumioxazin	0,786	grupo I	355	2,55	lipofílico	0	não ionizável	889	forte	3,21 x 10 <sup>-4</sup>	pouco	40
glyphosate	10500	*	0,0006	-3,2	hidrofílico	2,34	ácido	1424	muito forte	2,45 x 10 <sup>-8</sup>	não volátil	**
hexazinone	33000	grupo III	14,8	1,17	lipofílico	2,2	base	54	fraca	2,7 x 10 <sup>-5</sup>	pouco	60
imazapic	2230	grupo II	295	2,47	lipofílico	2,0	ácido	137	moderado	<1,3 x 10 <sup>-5</sup>	pouco	80
imazapyr	9740	grupo III	1,29	0,11	hidrofílico	1,9	ácido	**	**	<1,3 x 10 <sup>-5</sup>	pouco	80

Continua

## Anexo I. Conclusão

	solubilidade (ppm)	época aplicação Centro- -Sul*	Kow	Log Kow	afinidade lipídica	pKa	caráter químico	Koc (mL g <sup>-1</sup> )	força sorção	pressão vapor (Pa)	volatilização	½ vida ***
indaziflan	2,8	grupo I	631	2,8	lipofílico	3,5	ácido	1000	forte	6,8 x 10 <sup>-8</sup>	não volátil	80
isoxaflutole (DKN)	326	grupo I	219	2,34	lipofílico	0	não ionizável	17	fraca	3,2 x 10 <sup>-7</sup>	não volátil	40
mesotrione	1500	grupo II	1,3	0,11	hidrofílico	3,12	ácido	122	moderado	5,69 x 10 <sup>-6</sup>	não volátil	3
metribuzin	1165	grupo II	56,2	1,75	lipofílico	1,3	base	60	fraco	1,6 x 10 <sup>-5</sup>	pouco	40
metsulfuron-methyl	548	grupo II	0,0135	-1,87	hidrofílico	3,75	ácido	35	fraco	3,3 x 10 <sup>-10</sup>	não volátil	37
MSMA	1040000	grupo III	< 1,0	**	hidrofílico	4,1	ácido	7000	muito forte	1,33 x 10 <sup>-3</sup>	pouco	**
oxyfluorfen	0,116	grupo I	72400	4,86	lipofílico	0	não ionizável	100000	muito forte	2,67 x 10 <sup>-4</sup>	pouco	30
pendimethalin	0,33	grupo I	251000	5,4	lipofílico	2,8	ácido	17491	muito forte	1,25 x 10 <sup>-3</sup>	pouco	39
picloran	560	grupo II	0,012	-1,92	hidrofílico	2,3	ácido	13	fraca	8,2 x 10 <sup>-5</sup>	pouco	45
pyroxasulfone	3,49	grupo I	245	2,39	lipofílico	**	**	223	moderado	**	pouco	40
s-metolachlor	480	grupo I	1120	3,05	lipofílico	0	não ionizável	200	moderado	1,73 x 10 <sup>-3</sup>	pouco	40
sulfentrazone	780	grupo II	9,79	0,991	hidrofílico	6,56	ácido	43	fraca	1,07 x 10 <sup>-7</sup>	não volátil	80
tebuthiuron	2500	grupo II	61,7	1,79	lipofílico	0	não ionizável	80	fraca	2,7 x 10 <sup>-4</sup>	pouco	80
terbuthylazine	6,6	grupo I	2510	3,4	hidrofílico	1,9	base	**	**	**	pouco	40
trifloxysulfuron sodium	25700	*	0,38	-0,42	hidrofílico	4,76	ácido	306	moderado	<1 x 10 <sup>-5</sup>	pouco	40
trifluralin	0,221	grupo I	186000	5,27	lipofílico	0	não ionizável	15800	muito forte	1,47 x 10 <sup>-2</sup>	mediamente	30

Fontes consultadas: PPDB (Properties Pesticides Database), Rodrigues e Almeida (2018); \* molécula para aplicação em pós-emergência durante o ano; grupo I (novembro a fevereiro), grupo II (março a outubro), grupo III (junho a agosto), \*\* dados não disponíveis em literatura, \*\*\* período em dias no qual a molécula poderá estar 50% degradada.

## Apoio



## Instituto Agrônômico

Centro de Comunicação e Transferência do Conhecimento

Av. Barão de Itapura, 1.481

13020-902 - Campinas (SP) BRASIL

Fone: (19) 2137-0600

[www.iac.agricultura.sp.gov.br](http://www.iac.agricultura.sp.gov.br)



SECRETARIA DE  
AGRICULTURA E  
ABASTECIMENTO

