

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”
Departamento de Produção Vegetal
LPV0671 – Controle das Plantas Daninhas

IMPACTO AMBIENTAL DOS HERBICIDAS

Histórico da Legislação

- 1934: Decreto que aprova o Regulamento de Defesa Sanitária Vegetal;
 - Apenas a autoridade fitossanitária opinava nas questões de agrotóxicos;
 - Agrotóxicos até então chamados legalmente de “químicos caracterizados como inseticidas e fungicidas” poderiam ser chamados de defensivos agrícolas.
- 1976: Ministério da Saúde passa a opinar no registro de defensivos agrícolas;
- 1989: Promulgada a Lei de Agrotóxicos (7.802);
 - Traz para o processo decisório a necessidade de avaliação ambiental;
- Defensivos passam a ser chamados AGROTÓXICOS.





Manual de Procedimentos para Registro de Agrotóxicos

Coordenação Geral de Agrotóxicos e Afins

2012

Fonte: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/arquivos/manual-de-procedimentos-para-registro-de-agrotoxicos.pdf>

www.agricultura.gov.br/Legislação/SISLEGIS

← → ↻ ⓘ sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=abreLegislacaoFederal&chave=50674&tipoLegis=A ☆ ⬆ ABP 🔔 ✓ 📄 ⋮

VERSÃO 1.0

SISLEGIS

Sistema de Consulta à Legislação - MÓDULO CIDADÃO

BRASIL

Usuario:CONSULTA
Data:13/5/2018

Sair do sistema

imprimir voltar a home

Diário Oficial da União | Consulta Pública | Atos Especiais | Estrutura Regimental | Constituições | Críticas e Sugestões |

« +

Pesquisa na Legislação Geral

Pesquisa na Legislação Indexada

Outros Módulos

Módulo da Legislação Agropecuária

Informe os parâmetros para a pesquisa:

Número:
[]

Órgão:
[]

Ano:
[] A []

D.O.U.:
[] A []

Palavra-chave:
[]

Pesquisar

[Como usar conectores](#) [Legislação sem número](#)

Atos normativos mais pesquisados:

☐ LEI

☐ DECRETO

☐ MEDIDA PROVISÓRIA

☐ DECRETO-LEI

☐ LEI COMPLEMENTAR

☐ PORTARIA

☐ INSTRUÇÃO NORMATIVA

☐ RESOLUÇÃO

[Outros Atos Normativos](#) [Marcar Todos](#)

Segundo a Lei 7.802/89, artigo 3º, parágrafo 6º, no Brasil, é **proibido o registro** de agrotóxicos:

- a) Para os quais o Brasil não disponha de métodos para desativação de seus componentes, de modo a impedir que os seus resíduos remanescentes provoquem riscos ao meio ambiente e à saúde pública;
- b) para os quais não haja antídoto ou tratamento eficaz no Brasil;
- c) que revelem características teratogênicas, carcinogênicas ou mutagênicas, de acordo com os resultados atualizados de experiências da comunidade científica;
- d) que provoquem distúrbios hormonais, danos ao aparelho reprodutor, de acordo com procedimentos e experiências atualizadas na comunidade científica;
- e) que se revelem mais perigosos para o homem do que os testes de laboratório, com animais, tenham podido demonstrar, segundo critérios técnicos e científicos atualizados;
- f) cujas características causem danos ao meio ambiente.

3. HERBICIDAS E O AMBIENTE

- **Aspectos de segurança e confiabilidade**
- **Contaminação de águas superficiais e subterrâneas**
- **Contaminação do solo, persistência, carry over**
- **Poluição do ar**
- **Resistência de plantas daninhas**
- **Mudança na composição florística**
- **Herbicida ideal ?**

Aplicação de acordo com a real necessidade, na dose correta, com menor impacto ao ambiente.

TABELA 1 . Toxicidade de alguns herbicidas e outras substâncias por classes.

Categoria	LD₅₀		Dose/pessoa 70 kg	Produtos
	Oral	Dermal		
I-Altamente Tóxico	0 – 50	0 – 200	1,0 a 3,5 g	Hipoclorito de sódio, paraquat
II-Moderadamente	50 – 500	200 – 2000	3,5 a 35 g	Nafta (solvente de pinturas); 2,4 D
III Levemente tóxico	500 – 5000	2000 - 5000	35 a 350 g	Detergentes, dicamba, atrazine, hexazinone, triclopyr
IV-Relativamente não toxico	> 5000	> 20000	> 350 g	glyphosate, simazine sulfometuron picloram, metsulfuron

MODOS DE APLICAÇÃO

- Pré-plantio incorporado
 - Aplicado diretamente no solo e incorporado
- Pós-emergência
 - Aplicação em pós-emergência da planta daninha e ou da cultura;
 - Pré-plantio – dessecação
- Pré-emergência
 - Aplicação em pré-emergência da planta daninha

DINÂMICA DOS HERBICIDAS NO AMBIENTE

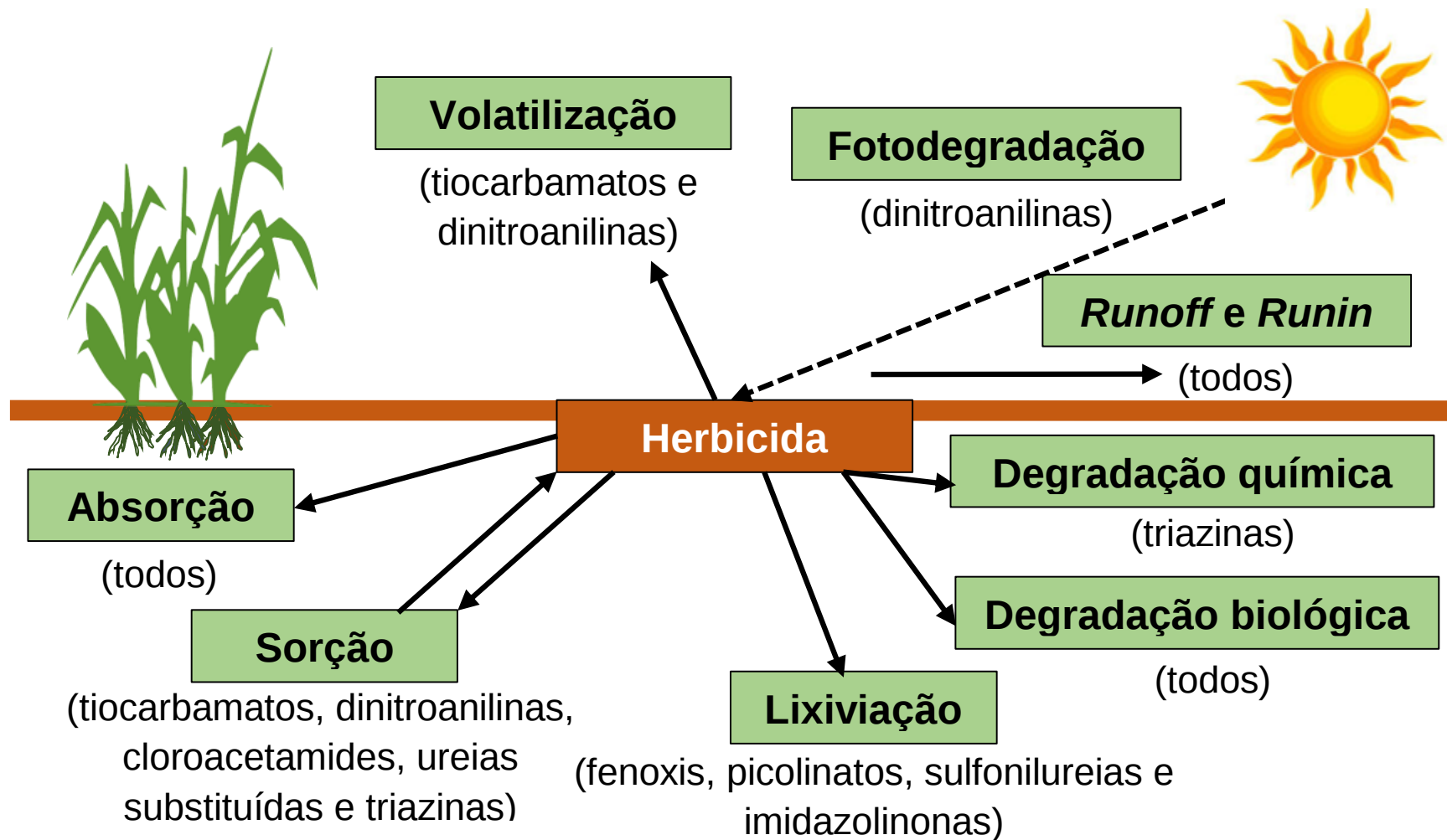


Figura 1. Processos que regem o comportamento e destino de herbicidas no ambiente, exemplificados pelos grupos químicos. Fonte: Miller & Westra (2004).

PERDAS DOS HERBICIDAS NO AMBIENTE

	%
Escorrimento superficial	5
Lixiviação	1
Volatilização	40 a 80
Absorção pelas plantas	2 a 5

Fonte: PLIMMER (1992)

HERBICIDAS

1 - Atingem o solo :

Aplicação:

- Pré-emergência
- Pré-plantio incorporado
- Pré-plantio
- Lavagem da folha pela chuva
- Incorporação de restos de cultura

2 - Atingem as águas :

- Na pulverização
- Erosão das áreas agrícolas
- Descarte de embalagens
- Efluentes industriais
- Efluentes de esgoto

4. ANÁLISE DO RISCO/BENEFICIO

- risco – probabilidade de causar efeitos adversos
- toxicidade – determinada em condições experimentais
- periculosidade – é determinada pela combinação da toxicidade com a intensidade de exposição
- análise do risco:
 - identificação do perigo
 - avaliação da dose-resposta
 - avaliação da exposição
 - caracterização do risco

Contaminação e Poluição

- Contaminação é a presença de uma substância onde ela não deveria estar, não pertence aquele ambiente ou presente em nível acima do natural (background).
- Poluição é a contaminação que resulta ou pode resultar em efeitos biológicos adversos aos organismos ou ao ambiente. Poluição não é estática.

Classes toxicológicas dos agrotóxicos com base na DL₅₀

Classe	Classificação	Cor da faixa no rótulo da embalagem
I	Extremamente tóxico (DL ₅₀ menor que 50 mg/kg de peso vivo)	Vermelho vivo
II	Altamente tóxico (DL ₅₀ de 50 mg a 500 mg/kg de peso vivo)	Amarelo intenso
III	Medianamente tóxico (DL ₅₀ de 500 mg a 5.000 mg/kg de peso vivo)	Azul intenso
IV	Pouco tóxico (DL ₅₀ maior que 5.000 mg/kg de peso vivo)	Verde intenso

* A **dose letal (DL₅₀)** é a dose de uma substância, expressa em mg/kg de peso vivo, necessária ingerir ou administrar para provocar a morte de pelo menos 50% da população em estudo.

Cuidados: Meio ambiente

**Pictogramas para o
preparo da calda**

**Faixa de classificação
toxicológica**



Dados do Fabricante

**Cuidados:
Precauções de uso, Primeiros
socorros e Tratamento**

**Pictogramas para
a aplicação**

Classificação do potencial de periculosidade ambiental (PPA)

CLASSE	GRAU
Classe I	Altamente perigoso
Classe II	Muito perigoso
Classe III	Perigoso
Classe IV	Pouco perigoso

HERBICIDAS NO SOLO



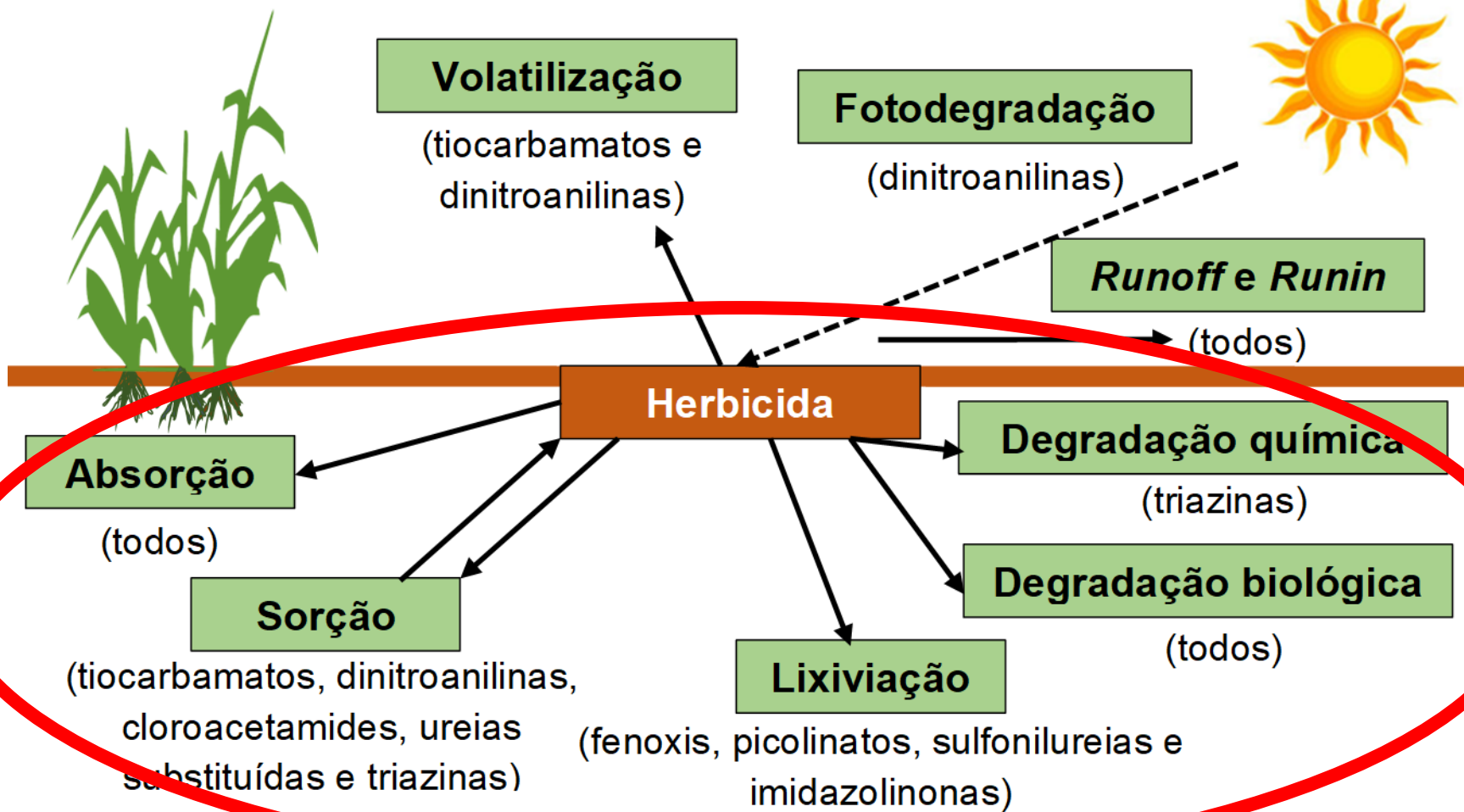
Características de retenção/dissipação

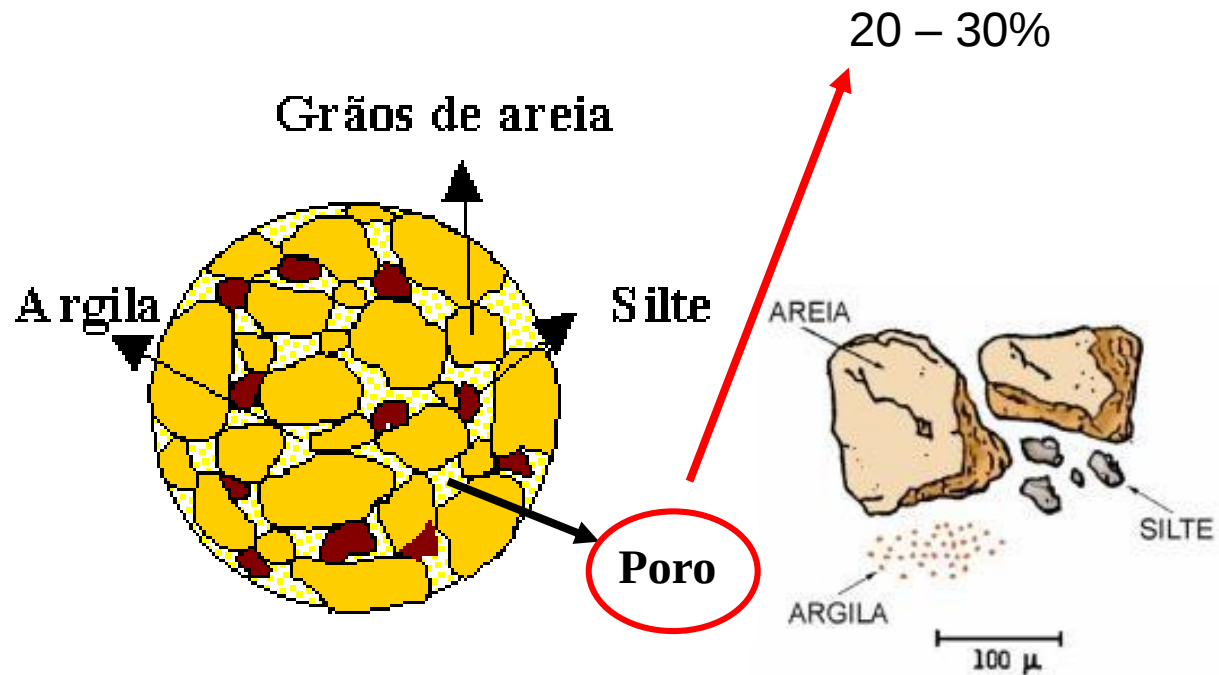
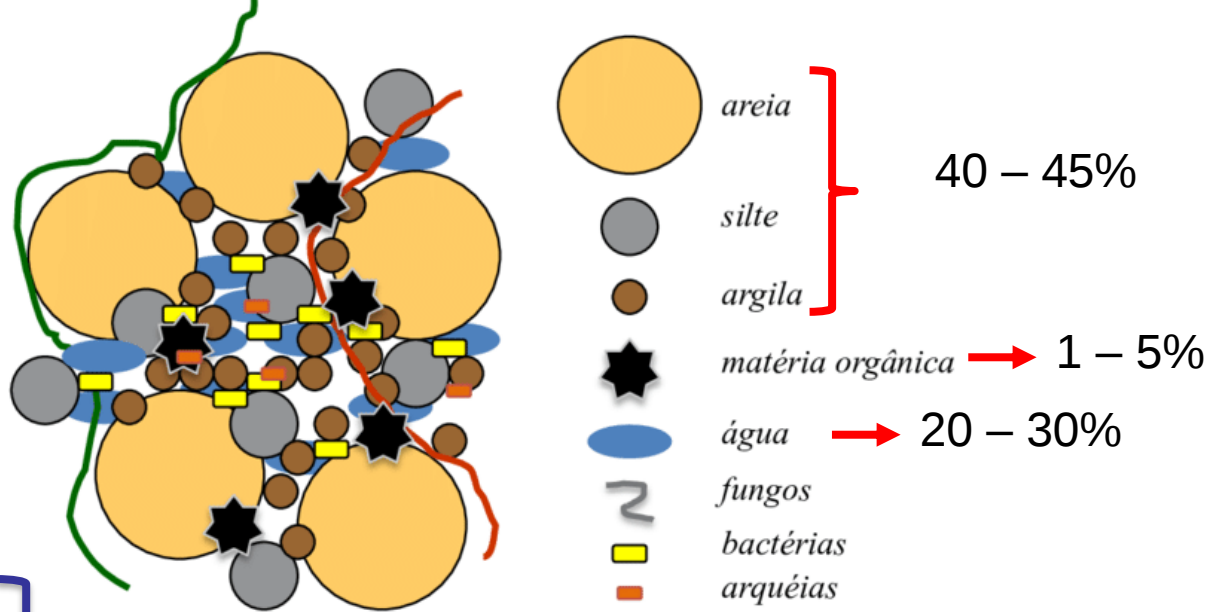
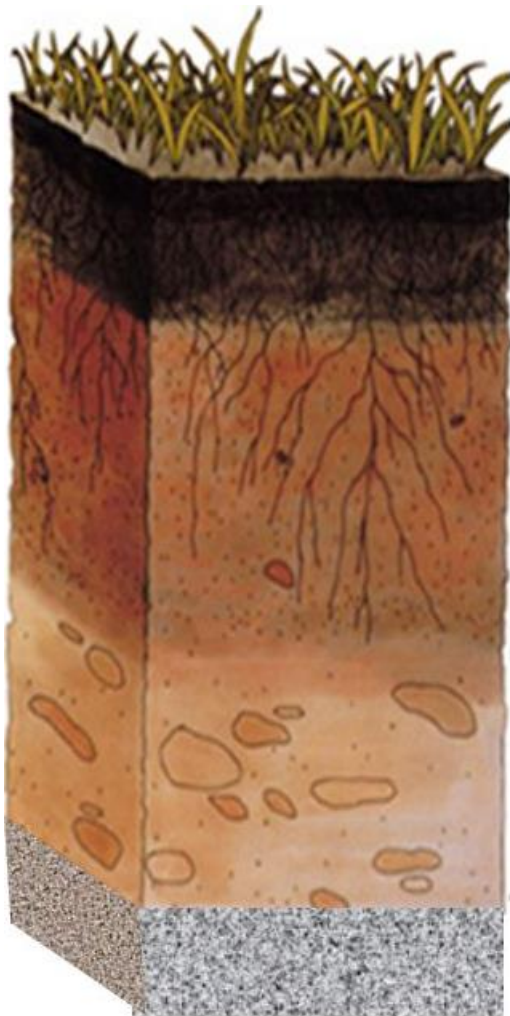
DO SOLO

- Textura do solo - % argila
- Teor de matéria orgânica
- Óxidos e hidróxidos de Fe e Al
- pH do solo
- Umidade

DO HERBICIDA

- Pressão de vapor – PV
- Solubilidade em água – S
- Coeficiente de partição octanol-água – K_{ow}
- pK_a
- Tempo de meia-vida - $T_{1/2}$
- Coeficiente de sorção - K_d





SORÇÃO DOS HERBICIDAS NO SOLO

SORÇÃO – é um processo geral de retenção do herbicida no solo que engloba os mecanismos de adsorção, absorção e precipitação.

SORÇÃO = ADSORÇÃO + ABSORÇÃO + PRECIPITAÇÃO



Fenômeno de superfície, se dá por ligações químicas



Matriz do solo, plantas e microrganismos



Formação e separação de superfícies sólidas. Resíduo ligado.

ADSORÇÃO – é um fenômeno de superfície onde ocorre através de ligações químicas a fixação do herbicida à superfície do coloide do solo;

ABSORÇÃO – se dá pela matriz do solo, plantas e microrganismos;

PRECIPITAÇÃO - formação e separação de superfícies sólidas, assim como, ligações covalentes com a superfície da partícula de solo (Silva et al., 2014).

Tamanho e superfície específica das partículas do solo.

Fração do solo	Diâmetro (mm)	Superfície específica cm²/g
Areia grossa	2 – 0,2	21
Areia fina	0,2 – 0,02	210
Limo	0,02 – 0,002	2100
Argila	< 0,002	23.000

Superfície específica e capacidade de troca de cátions dos principais componentes da fração do solo.

Constituintes	Superfície específica (m ² g ⁻¹)	Capacidade de troca de cátions (cmol _c kg ⁻¹)
Caulinita	10 – 30	3 – 15
Clorita	100 – 175	10 – 40
Vermiculita	300 – 500	100 – 150
Montmorilonita	700 – 800	80 – 150
Matéria orgânica	700	200 – 400
Óxidos e Hidróxidos	100 – 800	2 – 6

Fonte: Adaptado de Bailey & White (1970) e Grohmann (1972).

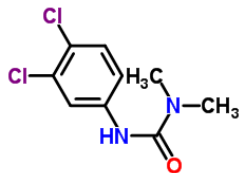
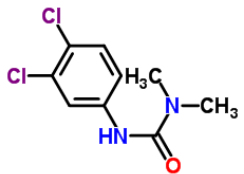
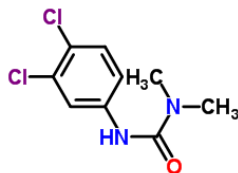
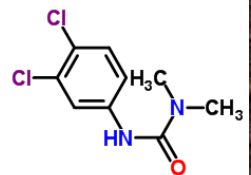
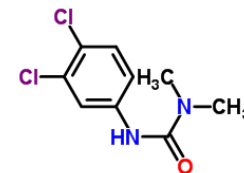
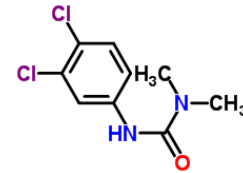
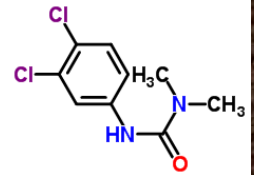
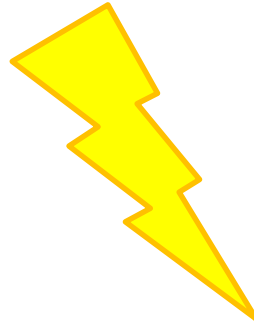
DESSORÇÃO

**HERBICIDA
SORVIDO**

SORÇÃO

DESSORÇÃO

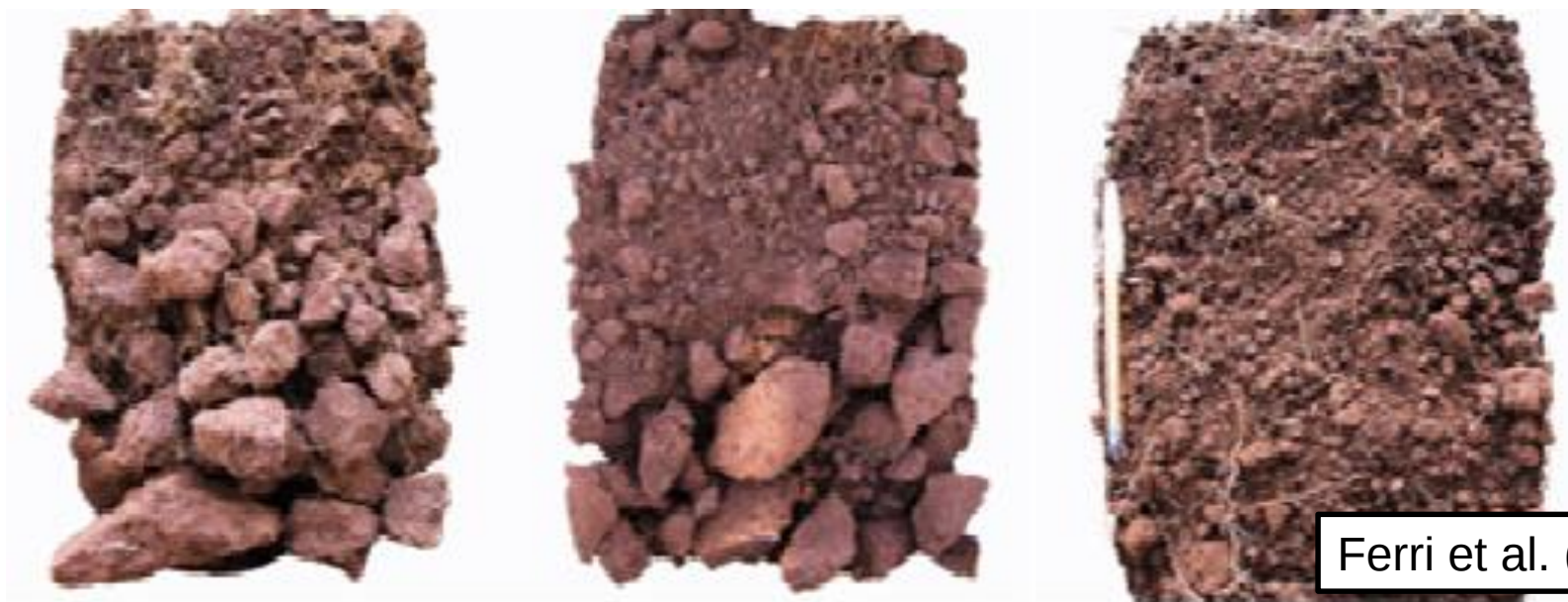
**HERBICIDA
NA SOLUÇÃO
DO SOLO**



O QUE ALTERA A SORÇÃO DOS HERBICIDAS NO SOLO?

- Desagregação do solo;
- Diminui tamanho de partícula, aumenta a superfície específica;
- Alteração do volume de poros e distribuição no perfil do solo;
- PD – mais microporos, menos macroporos, maior porosidade em profundidade;
- Convencional – mais macroporos, menos microporos (0-5 cm).

A porosidade no sistema de plantio direto em comparação ao preparo convencional do solo possui maior qualidade, com distribuição de microporos de modo contínuo ao longo do perfil.



Ferri et al. (2002)

SORÇÃO NO SOLO

Parâmetros para medir

K_d = coeficiente de sorção.

Indica a distribuição entre o herbicida adsorvido nas partículas do solo (argila ou M.O.) – sorvente, e a quantidade na solução do solo (água) - solvente.

$$K_d = \frac{C_s}{C_w} = \frac{[\text{herbicida sorvido ao solo}] (\mu\text{g g}^{-1})}{[\text{herbicida na solução do solo}] (\mu\text{g mL}^{-1})}$$

K_d normalizado pelo teor de C_{org}

$$K_{oc} = \frac{K_d}{f_{oc}} \cdot 100 \quad (L \text{ Kg}^{-1})$$

Onde:

K_d – coeficiente de sorção

f_{oc} – teor de carbono orgânico no solo (% ou dag/Kg)

Sorção de diversos herbicidas ao solo

Sorção

Herbicidas

Muito forte - $K_{oc} > 5000$

Benefin, bipiridílios, bromoxynil, DCPA, diclofop, DSMA, fluazifop, glyphosate, MSMA, pendimethalin, prodianine, oxyfluorfen, trifluralin.

Forte - K_{oc} 600 a 4999

Bensulide, butachlor, cycloate, desmedipham, ethalfluralin, fluridone, napropamide, norflura oryzalin, oxadiazon, pyridate, thiobencarb.

Moderada - K_{oc} 100 a 599

Alachlor, acifluorfen, amitrole, bensulfuron, butachlor, clomazone, dichlobenil, diuron, EPTC, fluometuron, glufosinate, isoxaben, quizalofop, triazinas, triasulfuron, vernolate.

Fraca - K_{oc} - 0,5 a 99

Acrolein, bentazon, bromacil, chlorsulfuron, clopyralid, dicamba, haloxyfop, hexazinone, imidazolinonas, mecoprop, metribuzin, nicosulfuron, picloram, primisulfuron, clorato de sódio sulfometuron, terbacil, tebuthiuron, tribenuron triclopyr.

Modelo de Freundlich - K_f

$$C_s = K_f \cdot C_{aq}^{1/n}$$

Determinação dos coeficientes de adsorção em determinada temperatura (Cleveland, 1996).

C_s – concentração de herbicida sorvido ao solo

C_{aq} – concentração de herbicida na solução do solo (meio aquoso)

K_f – coeficiente de de adsorção de Freundlich

$1/n$ – fator de linearização intensidade de sorção)

Classificação da capacidade de adsorção de agentes químicos no solo

K_f	Classificação de adsorção
0 – 24	Baixa
25 – 29	Média
50 – 149	Grande
> 150	Elevada

IBAMA, 1990

Sorção do imazaquim em diferentes hidróxidos de ferro e alumínio.

Tipo de hidróxido	Constante de Freundlich (K_f)
Hidróxido – Fe	2653
Hidróxido – Al	174

pKa – Capacidade de Dissociação Eletrolítica

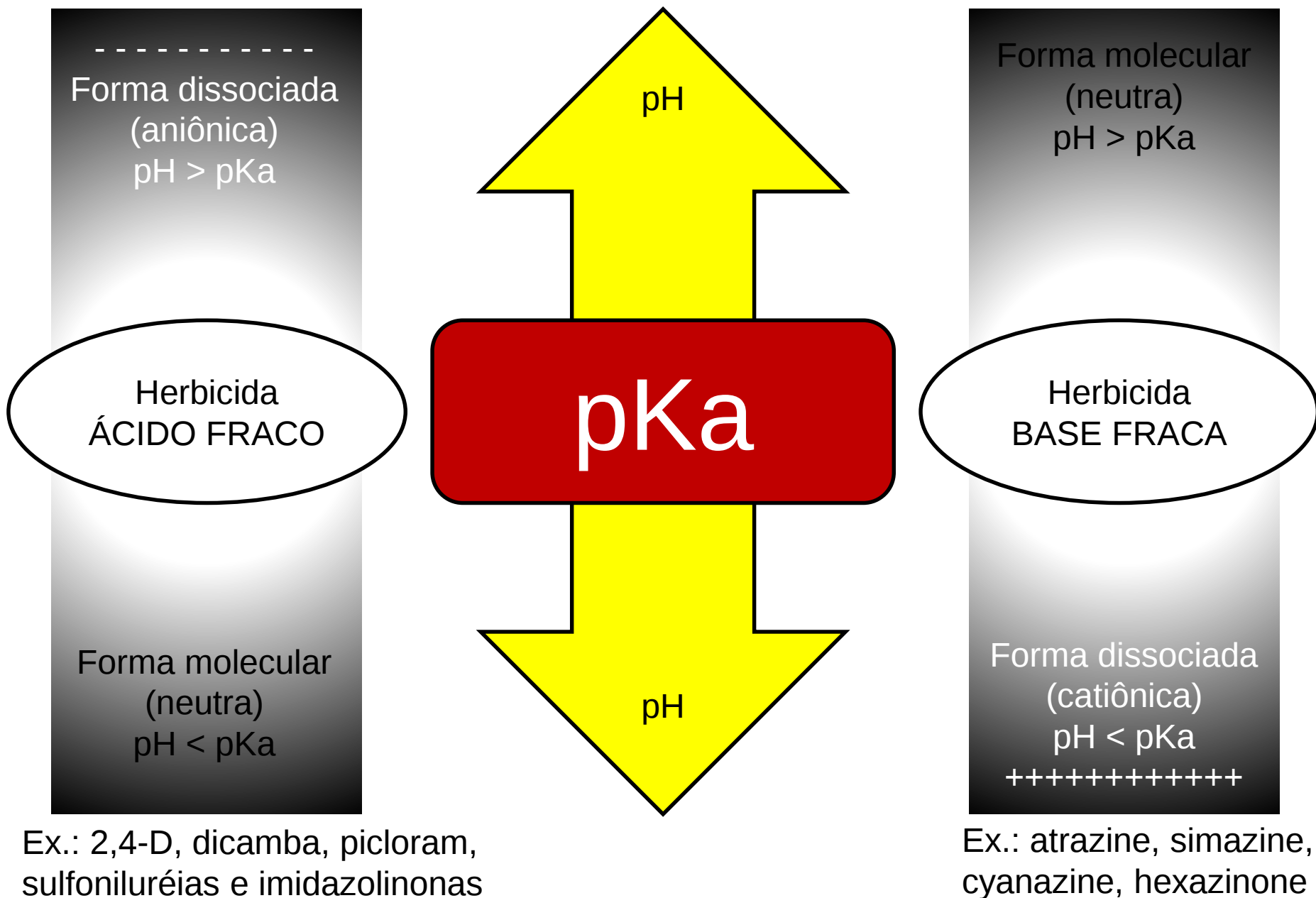


Tabela 8. Relação entre o pH da solução do solo e o pKa do herbicida e predominância das formas molecular (neutra) ou iônica e cada umas das relações.

Herbicidas ácidos	
1. pH da solução do solo = pKa	$[M] = [MA]$
2. pH da solução do solo < pKa	$[M] > [MA]$
3. pH da solução do solo > pKa	$[M] < [MA]$
Herbicidas básicos	
1. pH da solução do solo = pKa	$[M] = [MP]$
2. pH da solução do solo < pKa	$[M] < [MP]$
3. pH da solução do solo > pKa	$[M] > [MP]$

[M] = Concentrações das formas não dissociadas (molecular ou neutra);

[MA] = Concentrações das formas dissociadas (ionizada, aniônica);

[MP] = Concentrações das formas associadas (protonada, catiônica).

Adaptado de Oliveira (2001).

Tabela 9. Exemplos de grupos químicos de herbicidas utilizados em cana-de-açúcar considerados iônicos e não iônicos, e classificação da intensidade de sorção destes herbicidas no solo.

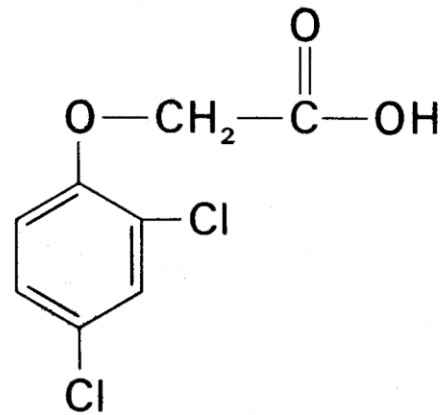
Categoria química	Grupo químico	Sorção
Não-iônicos	Dinitroanilinas (trifluralina, pendimethalin)	Moderada a Alta
	Tiocarbamatos (MSMA)	Baixa a moderada
	Cloroacetamidas (alachlor, S-metolachlor)	Baixa
	Uréias substituídas (diuron, tebuthiuron)	Baixa a Alta
	Isoxazolidinona (isoxaflutole, clomazone)	Baixa
Ácidos (aniônicos)	Fenoxis/benzóicos/picolínicos (2,4-D)	Muito Baixa
	Imidazolinonas (imazapic, imazapyr)	Muito Baixa
	Sulfoniluréias (trifloxysulfuron)	Muito Baixa
	Glyphosate	Muito Alta
	Aril triazolinonas (sulfentrazone)	Baixa
Básicos (catiônicos)	Triazinas (ametrina, hexazinona)	Baixa a Alta
Fortemente básicos	Dipiridiluns (paraquat)	Muito Alta

Fonte: Adaptado de Weber (1991).

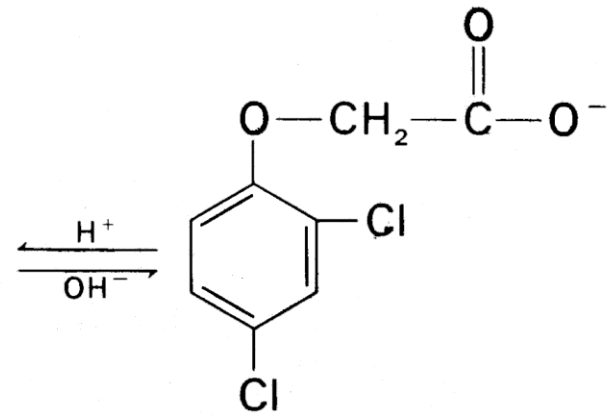
Ácido fraco

pH baixo

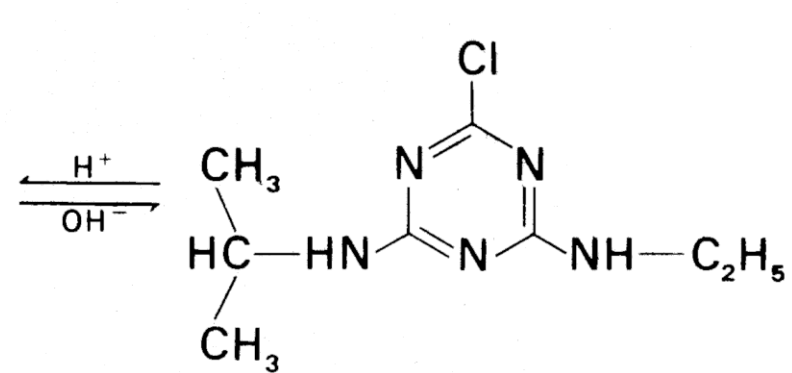
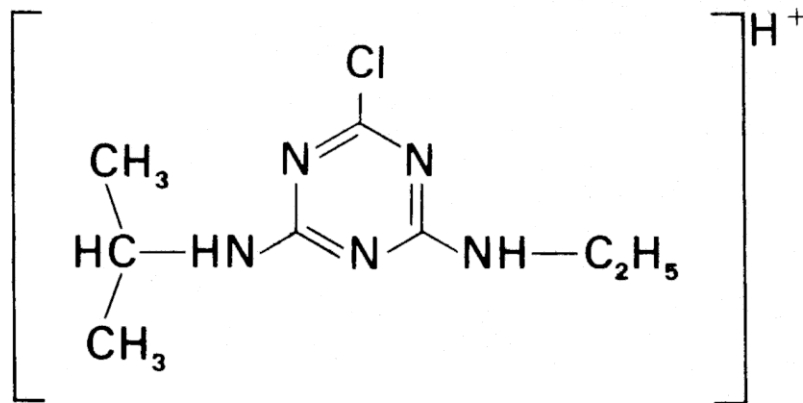
pH alto



2,4-D



Base fraca



Atrazine

Efeito do pH na ionização de ácidos e bases fracas (Ross e Lembi, 1985).

Sorção de imazaquin em solos com diferentes pH

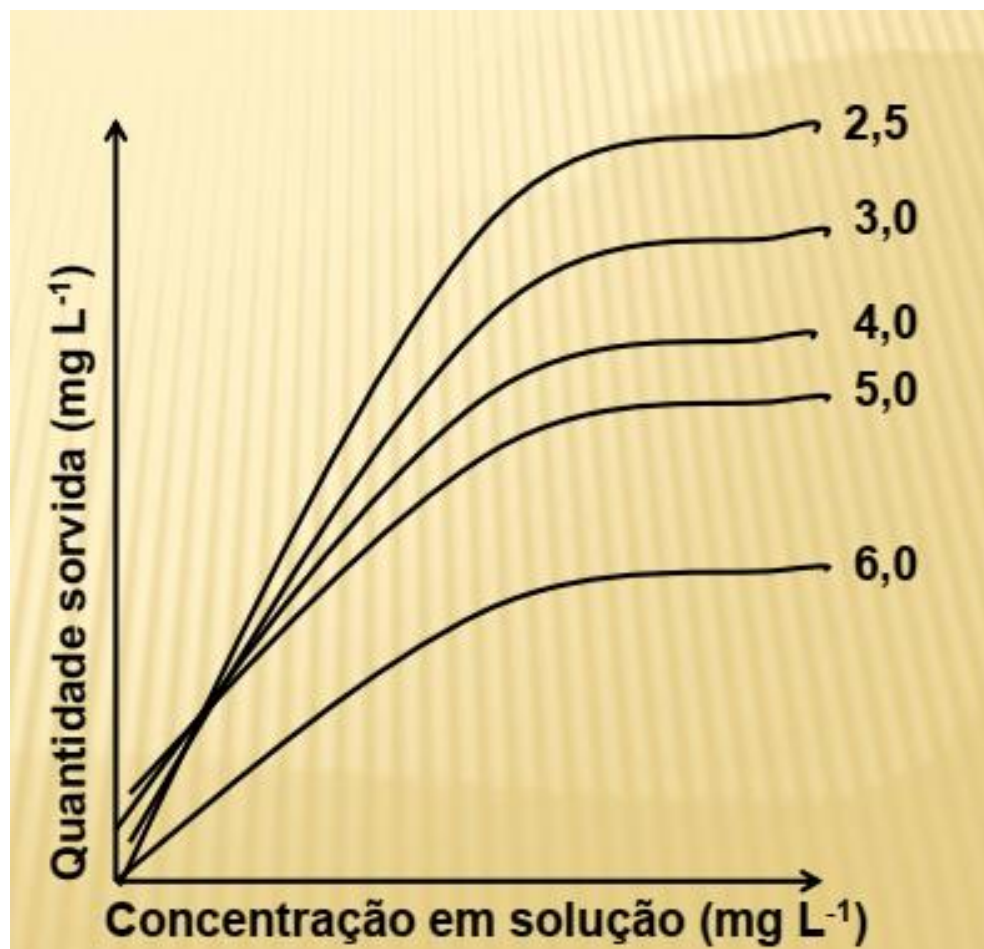
Tipo de solo	pH	Sorção (%)
Franco- arenoso	5,6	53
	6,3	53
	6,6	0
Franco- siltoso	4,7	62
	5,2	40
	5,5	25

GOETZ et al. (1986)

Tabela 3. Efeito do pH sobre a solubilidade em água de algumas sulfoniluréias e imidazolinonas (Beyer et al., 1987; Ahrens, 1994; Hatzios, 1998).

Herbicidas	Constante de (pK _a)	Solubilidade em Água (mg L ⁻¹ a 25°C)	
		pH 5	pH 7
Chlorimuron ethyl	4,2	587	31.800
Chlorsulfuron	3,6	548	2.790
Imazapyr	1,9 e 3,6		11.272
Imazaquin	3,8	60	
Imazethapyr	3,9		1.400
Metsulfuron methyl	3,3	1.100	9.500
MON 37500	3,51	18	1.627
Nicosulfuron	4,3	360	12.200
Sulfometuron methyl	5,2	10	300

$\Delta []$ sorvida em função da ΔpH do solo



Adsorção de 2,4-D (ácido fraco) em função do pH

Sorção de alguns herbicidas iônicos e não iônicos no solo.

Herbicida	Grupo Químico	Solubilidade $\mu\text{M/L}$	K_d		
			Montmorilonita		Caulinita
			pH baixo	pH alto	
Paraquat	Catiônico	$2,7 \times 10^6$	-	$4,2 \times 10^4$	$1,7 \times 10^3$
Atrazine	Básico	$1,6 \times 10^2$	$5,0 \times 10^3$	$1,5 \times 10^3$	3,0
Ametryne	Básico	$8,6 \times 10^2$	$6,3 \times 10^4$	$2,0 \times 10^4$	-
Prometone	Básico	$3,0 \times 10^3$	$3,5 \times 10^4$	$1,6 \times 10^4$	0
Picloran	Ácido	$1,8 \times 10^3$	50	0	-
2,4-D	Ácido	$2,9 \times 10^3$	0	0	0

LIXIVIAÇÃO DOS HERBICIDAS NO SOLO

É o caminhamento da molécula do herbicida no perfil do solo

Fatores:

- sorção
- umidade
- solubilidade
- temperatura
- persistência



5.2 – LIXIVIAÇÃO DOS HERBICIDAS AO SOLO

QUANTIDADE – O herbicida perdido no perfil do solo é geralmente de 0,1 a 1% podendo atingir 5%

COEFICIENTE DE PARTIÇÃO octanol-água

$$K_{ow} = \frac{C_{n\text{-octanol}}}{C_w}$$

Onde:

$C_{n\text{-octanol}}$ → concentração do soluto dissolvido no n-octanol

C_w → concentração do soluto dissolvido na água

Tabela 5 - Classificação da lipofilicidade dos herbicidas em função dos valores de logK_{ow} ou K_{ow}

Log K_{ow}	K_{ow}	Lipofilicidade
< 0,1	< 1	Hidrofílico
0,1 a 1	1 a 10	Medianamente Liposolúvel
1 a 2	10 a 100	Lipofílico
2 a 3	100 a 1000	Muito Lipofílico
> 3	> 1000	> 1000



Aumento da lixiviação em função da variação no pH para o imazaquin (ácido fraco) em colunas de solo. **Fonte:** Inoue et al. (2002).

Tabela 13. Coeficiente de partição entre octanol e água das imidazolinonas a diferentes pHs da solução.

Herbicida	Log K _{ow}			
	pH 4	pH 5	pH 7	pH 9
Imazapic	--	0,160	0,010	0,002
Imazaquin	4,340	--	0,026	--
Imazethapyr	--	1,040	1,490	1,200

Solubilidade - S

Quantidade máxima que se dissolve me água pura em determinada temperatura (25 °C).

(mg/L)	Fator	Classificação
< 5	4	insolúvel
5 - 50	3	pouco solúvel
50 -500	2	medianamente solúvel
> 500	1	solúvel

TABELA 10. Exemplos de herbicidas classificados, segundo o critério de solubilidade em água para temperaturas na faixa de 20 a 27°C (WSSA, 1994).

Classe de solubilidade	Herbicida	Solubilidade em água mg/L (ppm)
Muito baixa (1 a 10 ppm)	2,4 D éster isooctílico	0,0324
	pendimethalin	0,30
	Lactofen	0,1
	Oxyfluorfen	0,1
	DCPA	0,50
Baixa (11 a 50 ppm)	Fluazifop butil	1,10
	Oryzalin	2,60
	Simazine	3,50
	Butachlor	4,00
	Atrazine	33
Média (51 a 150 ppm)	Diuron	42
	Linuron	75
	Cyanazine	171
	Ametryne	185
	Alachlor	242
Elevada (151 a 500 ppm)	Sethoxydim	257
	EPTC	370
	Picloran	430
	Propanil	500
	Bentazon	500

TABELA 11. Exemplos de herbicidas classificados, segundo o critério de solubilidade em água para temperaturas na faixa de 20 a 27°C (WSSA, 1994). Continuação

Classe de solubilidade	Herbicida	Solubilidade em água mg/L (ppm)
Muito elevada (501 a 5.000 ppm)	Metolachlor	530
	2,4 - D	
	D sal dimetilaminico	796
	Bromacil	815
	Chomazone	1.100
	Tebuthiuron metil	2.500
	Dichlofop-	3.000
Extremamente elevada (> 5.000 ppm)	Glifosate	12.000
	TCA	12.000
	Hexazinone	33.000
	Dalapon	500.000

TABELA 12. Lixiviação relativa de alguns herbicidas e a solubilidade em água (WSSA, 1994).

Herbicidas	Lixiviação relativa	Solubilidade em água (ppm)
Trifluralin	1	0,001
Diuron	2	42
Linuron	2	75
Simazina	5	5
Ametrina	7	185
Atrazina	10	33
Fluometuron	11	80
Bromacil	15	815
Terbacil	16	710
Fenuron	21	3850
Picloram	25	430

Índice de GUS (Grounwater Ubiquity Score)

Índice de classificação de herbicidas conforme seu potencial de lixiviação.

$$\text{GUS} = \log t_{1/2} (4 - \log K_{oc})$$

Índice GUS	Classificação
< 1,8	não lixiviável
1,8 – 2,8	potencialmente lixiviável
> 2,8	lixiviável

TABELA 14 - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE ALGUNS HERBICIDAS USADOS NO BRASIL

Herbicida	K_{oc} (mL/g)	T ½ (dias)	GUS
FOMESAFEN	2	180	8,34
TEBUTHIURON	80	360	5,37
METOLACHLOR	99	44	3,29
ATRAZINE	107	74	3,68
SIMAZINE	138	56	3,25
ALACHLOR	161	14	2,06
TRIFLURALIN	7.950	83	0,66
PENDIMETHALIN	16.300	60	-0,38
OXYFLUORFEN	100.000	35	-1,54

K_{oc} = Coeficiente de repartição carbono orgânico – água

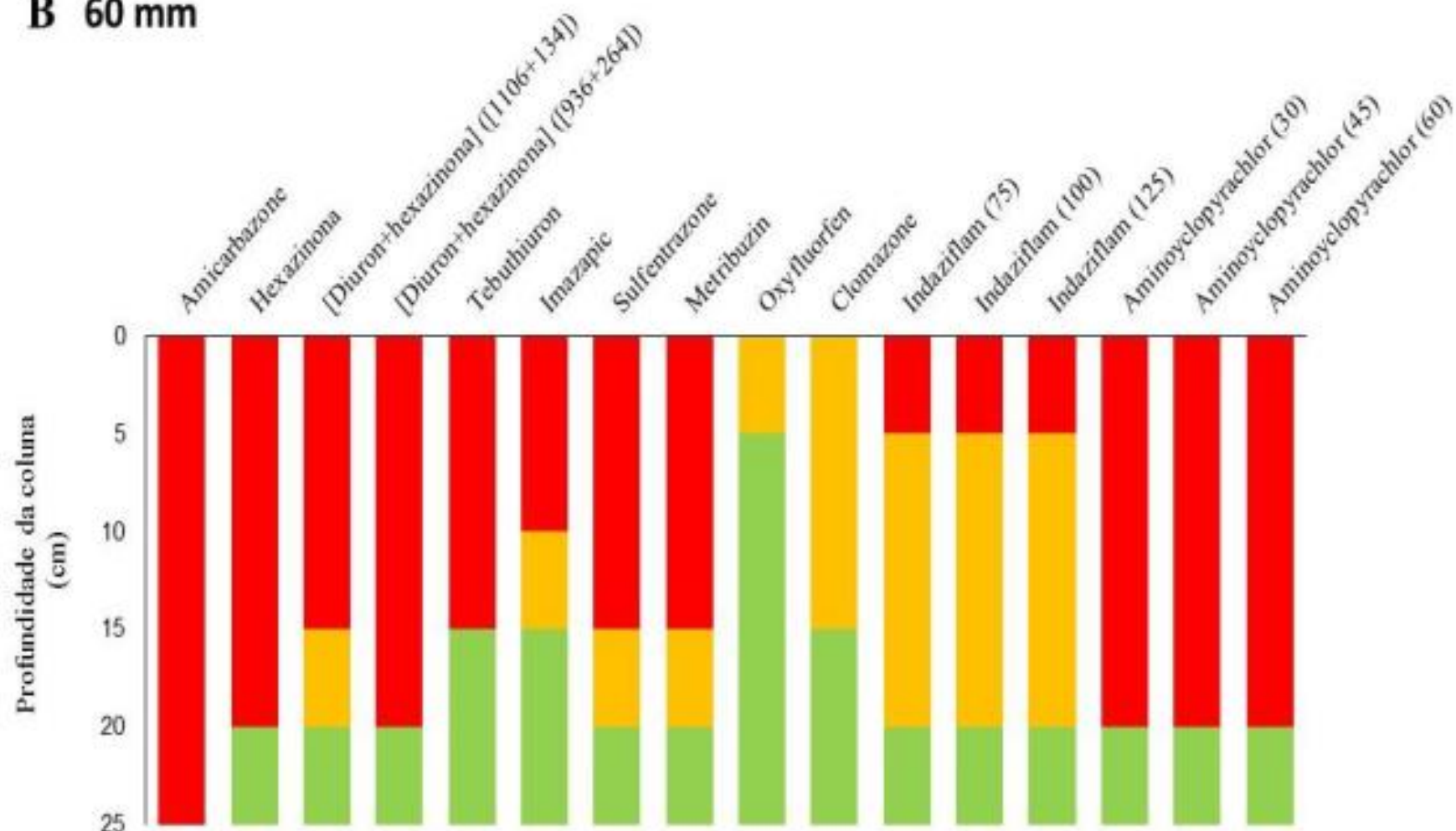
t ½ = meia vida do herbicida no solo

GUS = índice de classificação de acordo com o potencial de lixiviação

$$\text{GUS} = \text{Log } t \text{ } \frac{1}{2} \text{ (4 - Log K}_{oc}\text{)}$$

FONTE: GUSTAFSON (1989)

B 60 mm



Lixiviação de herbicidas após simulação de lâminas de precipitação de 60 mm.

Vermelho: > 30%

Amarelo: < 30%

Verde: 0%

Fonte: Guerra, 2014

ESCORRIMENTO SUPERFICIAL - *Runoff*

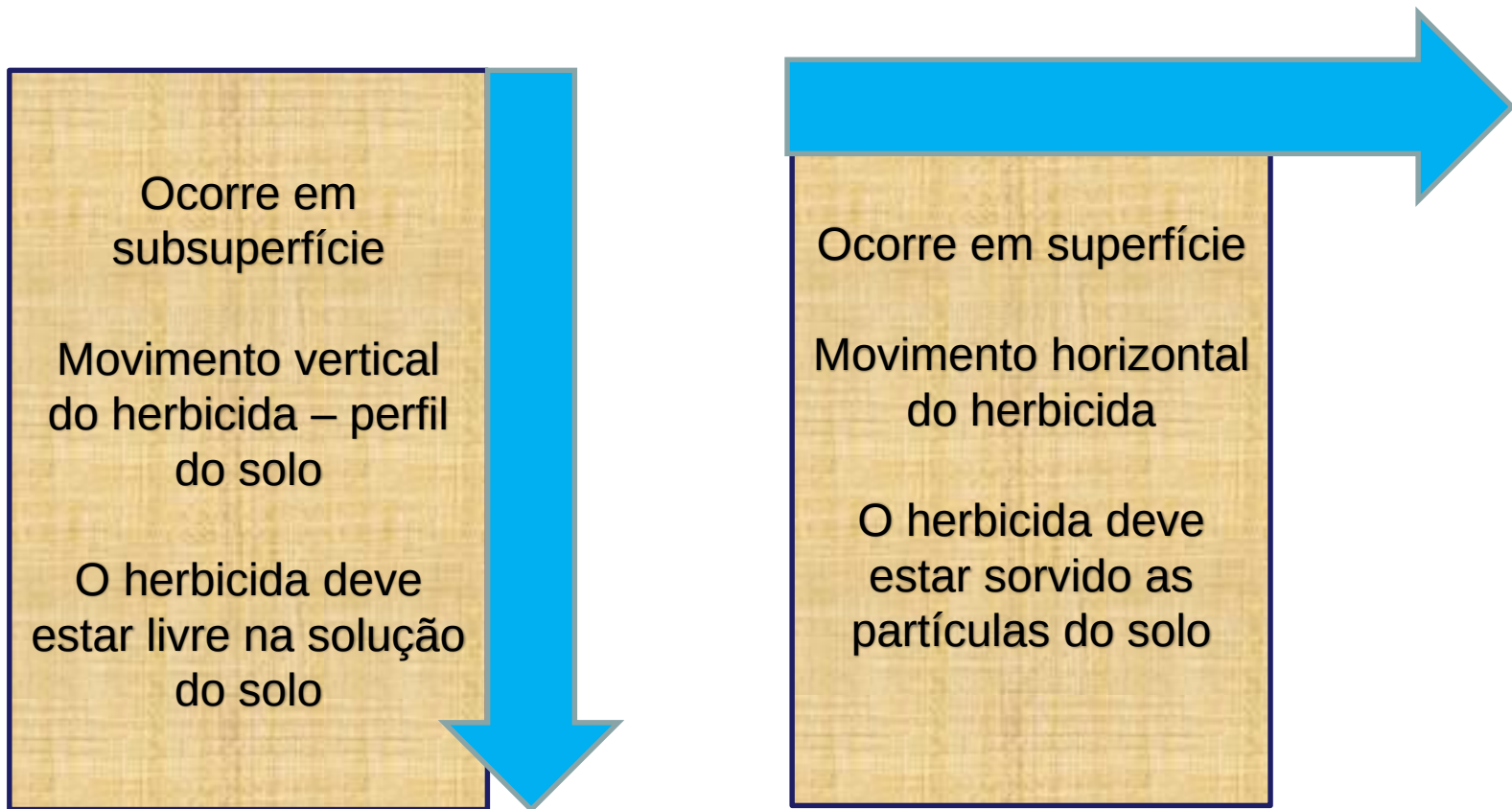
Movimentação superficial das partículas coloidais do solo juntamente com os herbicidas

- fatores:
 - Umidade do solo
 - tipo de solo
 - características do herbicida
 K_{ow} , S , K_d
 - cobertura do solo
- QUANTIDADE – A perda por esse processo normalmente não excede 1 a 2% do herbicida aplicado

CADÊ O
HERBICIDA
QUE
TAVA
AQUI?



Lixiviação x Escorrimento Superficial

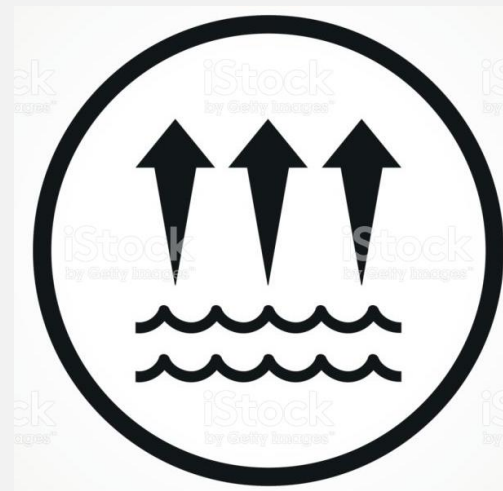


Em ambos os casos o transporte se dá pela água

VOLATILIDADE

É o processo pelo qual o herbicida da solução do solo passa para forma de vapor podendo se perder para a atmosfera por evaporação.

Perdas por volatilização podem chegar a 90%.
(Graveel e Turco, 1994)



PRESSÃO DE VAPOR - PV

É a pressão exercida por um vapor em equilíbrio com um líquido, em determinada temperatura – mmHg.

Pressão de vapor de alguns herbicidas utilizados no Brasil.

Herbicida	PV (mm Hg ⁻¹)	Temperatura (°C)	Volatilidade
2,4-D amina	5,5 x 10 ⁻⁷	30º	Baixa
Alachlor	1,6 x 10 ⁻⁵	25º	Média
Ametryn	8,4 x 10 ⁻⁷	20º	Baixa
Atrazine	2,9 x 10 ⁻⁷	25º	Baixa
Chlorimuron-ethyl	1,5 x 10 ⁻⁵	25º	Média
Clomazone	1,44 x 10 ⁻⁴	25º	Alta
Diuron	6,9 x 10 ⁻⁸	25º	Baixa
Fluazifop-butil	5,5 x 10 ⁻⁵	20º	Média
Glyphosate	1,84 x 10 ⁻⁷	45º	Baixa
Halosulfuron	< 1,0 x 10 ⁻⁷	25º	Baixa
Imazapyr	< 1,0 x 10 ⁻⁷	45º	Baixa
Imazaquim	2,0 x 10 ⁻⁸	45º	Baixa
Isoxaflutole	7,5 x 10 ⁻⁹	25º	Baixa
Linuron	1,7 x 10 ⁻⁵	20º	Média
Metolachlor	1,3 x 10 ⁻⁵	20º	Média
Nicosulfuron	1,2 x 10 ⁻¹⁶	25º	Baixa
Pendimethalin	3,0 x 10 ⁻⁵	25º	Média
Picloram	6,16 x 10 ⁻⁷	35º	Baixa
Sethoxydim	< 1,0 x 10 ⁻⁶	20º	Baixa
Sulfentrazone	1,0 x 10 ⁻⁹	25º	Baixa

Fonte: Adaptado de Rodrigues e Almeida, 2011

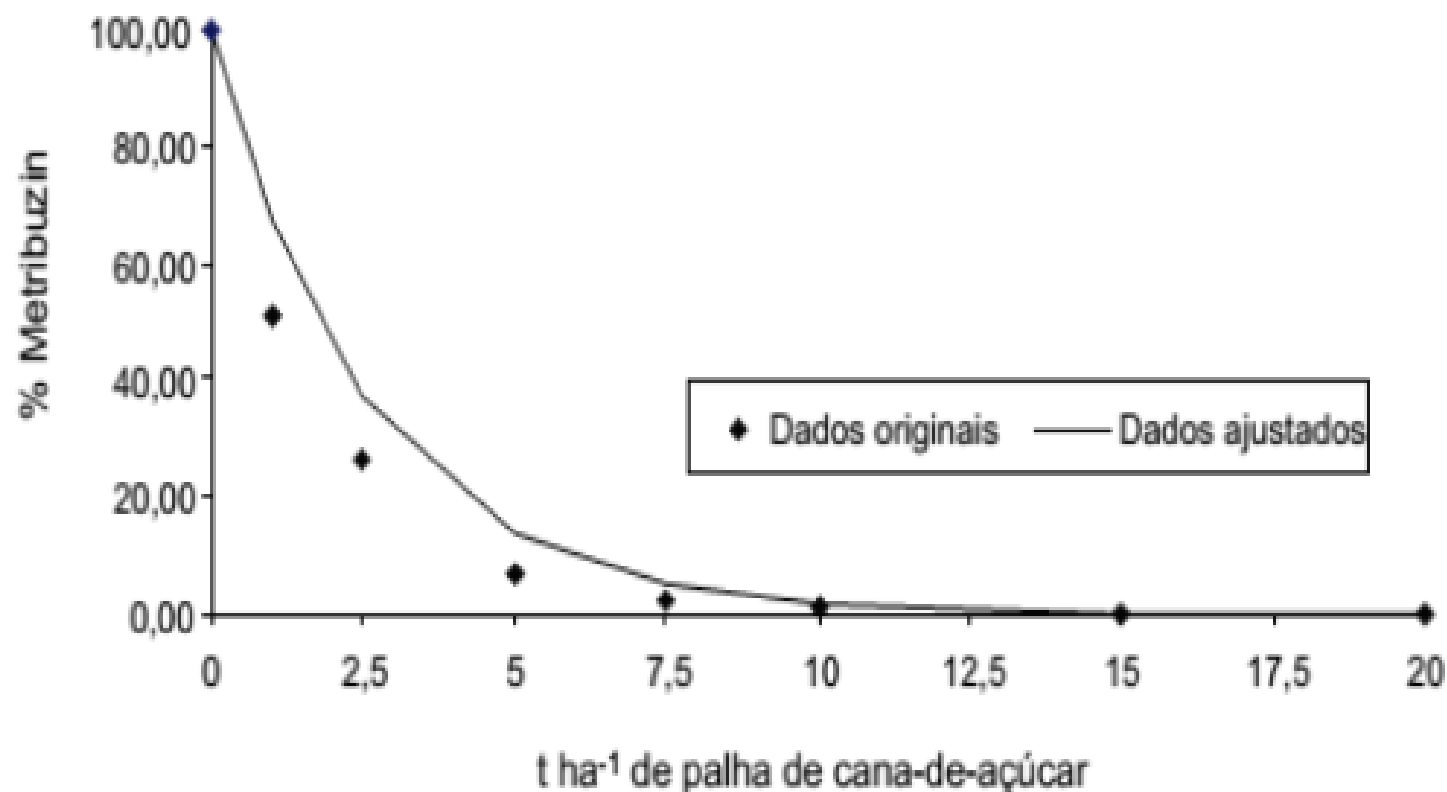
Tabela 17 - Efeito da profundidade de incorporação na volatilização da Trifluralina

	Prof. cm	Perda %	Tempo dias
Solo 0,5% m.o.	2,5	22	120
Solo 4% m.o.	15,0	3,4	90
Solo úmido	0	90	7
Solo úmido	0	87	2
Solo seco	0	25	2

APLICAÇÃO SOBRE A PALHA

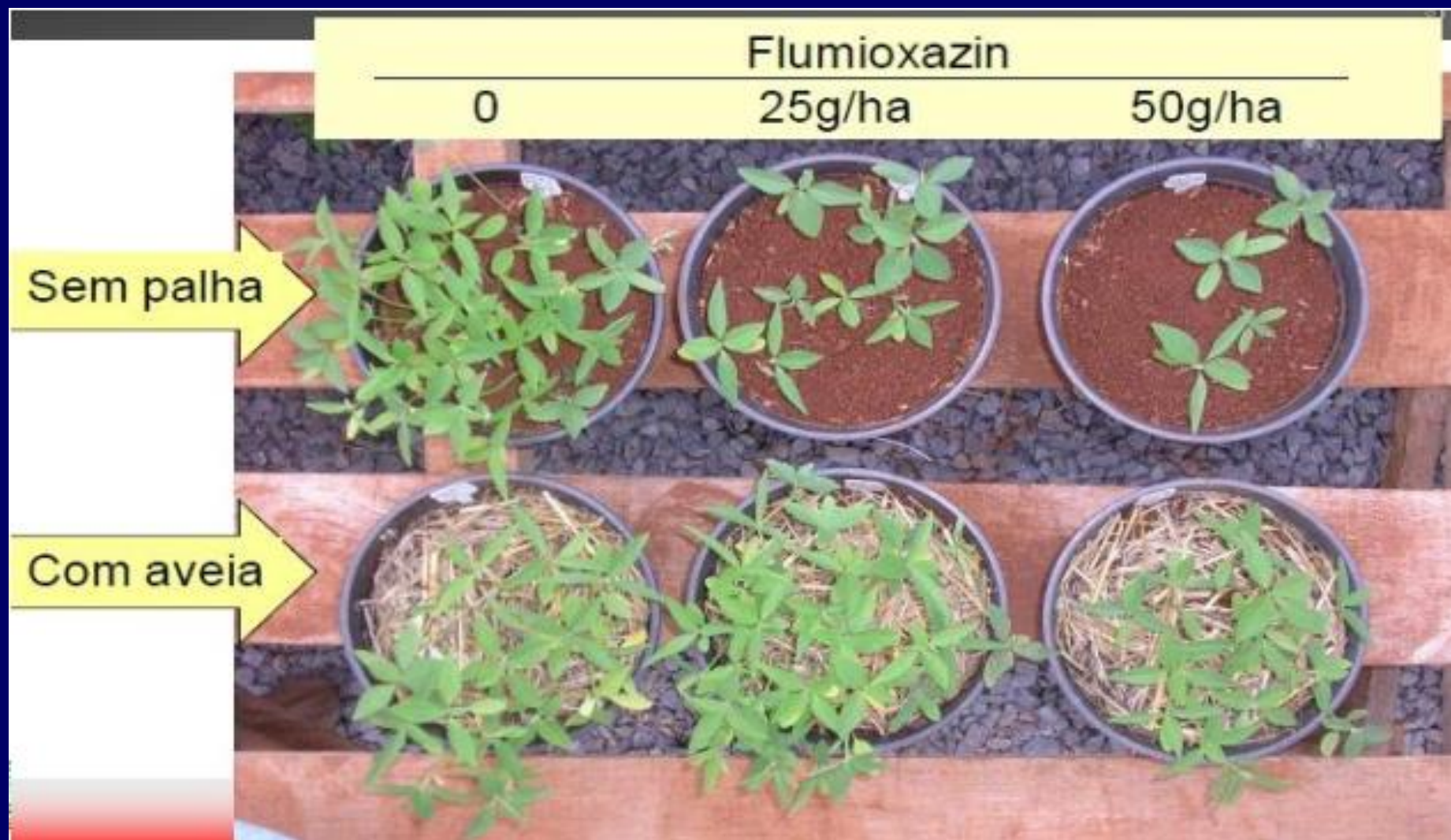
- Aumenta o tempo de exposição do herbicida no ambiente e sem contato com o solo
- Pode sorver a palha
- Fotodegradação
- Evaporação
- Eficácia de controle
- Características do herbicida adequadas:
 K_{ow} , S, PV

Transposição do metribuzin no momento da aplicação, em diferentes quantidade de palha de cana de açúcar



Fonte: Rossi et al., 2013

Guerra, 2015



DEGRADAÇÃO

BIÓTICA

- Microrganismos – enzimas promovem a catálise da reação, ativação ou destoxificação;
- Promovem a mineralização.
- f (°C, umidade)
- Ex.: (Rouchaud et al., 2000) $t_{1/2}$ diuron de 81 para 37 dias.

ABIÓTICA

- Hidrólise
- Hidroxilação
- Metilação
- Oxidação
- Fotólise (1-4mm, 290-450 nm)
- Ex.: Sulfonilureias em pH baixo são degradadas por hidrólise, e em pH alto são biodegradadas.

DEGRADAÇÃO MICROBIANA

É a degradação da molécula pelos microrganismos presentes no solo.

Principais vias de degradação:

Catabolismo: Utiliza o pesticida como fonte de energia, fazendo parte de sua composição.

Cometabolismo: Utiliza outra fonte de energia para o seu desenvolvimento, degradando o herbicida devido sua atividade, com produção de ácidos ou enzimas excretadas.

Tabela 5. Potencial de solubilização de fosfato inorgânico avaliado em três épocas nos solos franco-arenoso e argiloso submetidos à aplicação de herbicidas

Potencial de solubilização de fosfato inorgânico (mg P)			
Solo franco-arenoso			
Herbicida	Época de avaliação		
	5 DAA ⁽¹⁾	20 DAA	70 DAA
Testemunha	0,60 Ba ⁽²⁾	0,62 Bab	0,87 Aa
Sulfentrazona	0,52 Ba	0,39 Bc	0,95 Aa
Isoxaflutol	0,53 Ba	0,44 Bbc	0,96 Aa
Oxyfluorfem	0,54 Ba	0,61 Ba	1,00 Aa
CV	14,06%		
Solo argiloso			
Herbicida	5 DAA	20 DAA	70 DAA
Testemunha	0,65 Ca	1,35 Aa	1,05 Ba
Sulfentrazona	0,47 Ba	0,80 Ab	0,78 Aab
Isoxaflutol	0,53 Aa	0,77 Ab	0,62 Ab
Oxyfluorfem	0,59 Aa	0,74 Ab	0,71 Ab
CV	21,61%		

⁽¹⁾DAA: dias após a aplicação dos herbicidas; ⁽²⁾Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, para cada solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Silva, G. S., Melo, C. A. D., Fialho, C. M. T., Santos, L. D. T., Costa, M. D., & da Silva, A. A. (2014). Impacto de sulfentrazona, isoxaflutol e oxyfluorfem sobre a microbiota de dois solos florestais. Solos e Nutrição de Plantas Bragantia, Campinas, 73(3), 292-299.

Tabela 6. Percentagem de raízes de eucalipto colonizadas por fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) em solo franco-arenoso e argiloso submetidos à aplicação de herbicidas

Percentagem de colonização micorrízica por FMAs (%)		
Herbicida	Solo franco-arenoso	Solo argiloso
Testemunha	22,67 a ⁽¹⁾	22,39 a
Sulfentrazona	11,80 b	9,60 b
Isoxaflutol	13,30 ab	14,33 b
Oxyfluorfem	18,41 ab	14,23 b
CV	29,44%	21,67%

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, para cada solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10%.

TABELA 18. Perdas por fotodecomposição de diferentes dinitroanilinas em um solo limo-argiloso após 7 dias de exposição a luz solar.

Dinitroanilina	Perdas em %
Isopropalin	8,2
Butralin	9,0
Pendimethalin	9,9
Benefin	17,1
Trifluralin	18,4
Oryzalin	26,2
Fluchloralin	30,4
Nitralin	40,6
Proflenalin	47,6
Dinitramine	72,3

Tempo de meia vida – $t_{1/2}$ ou DT_{50}

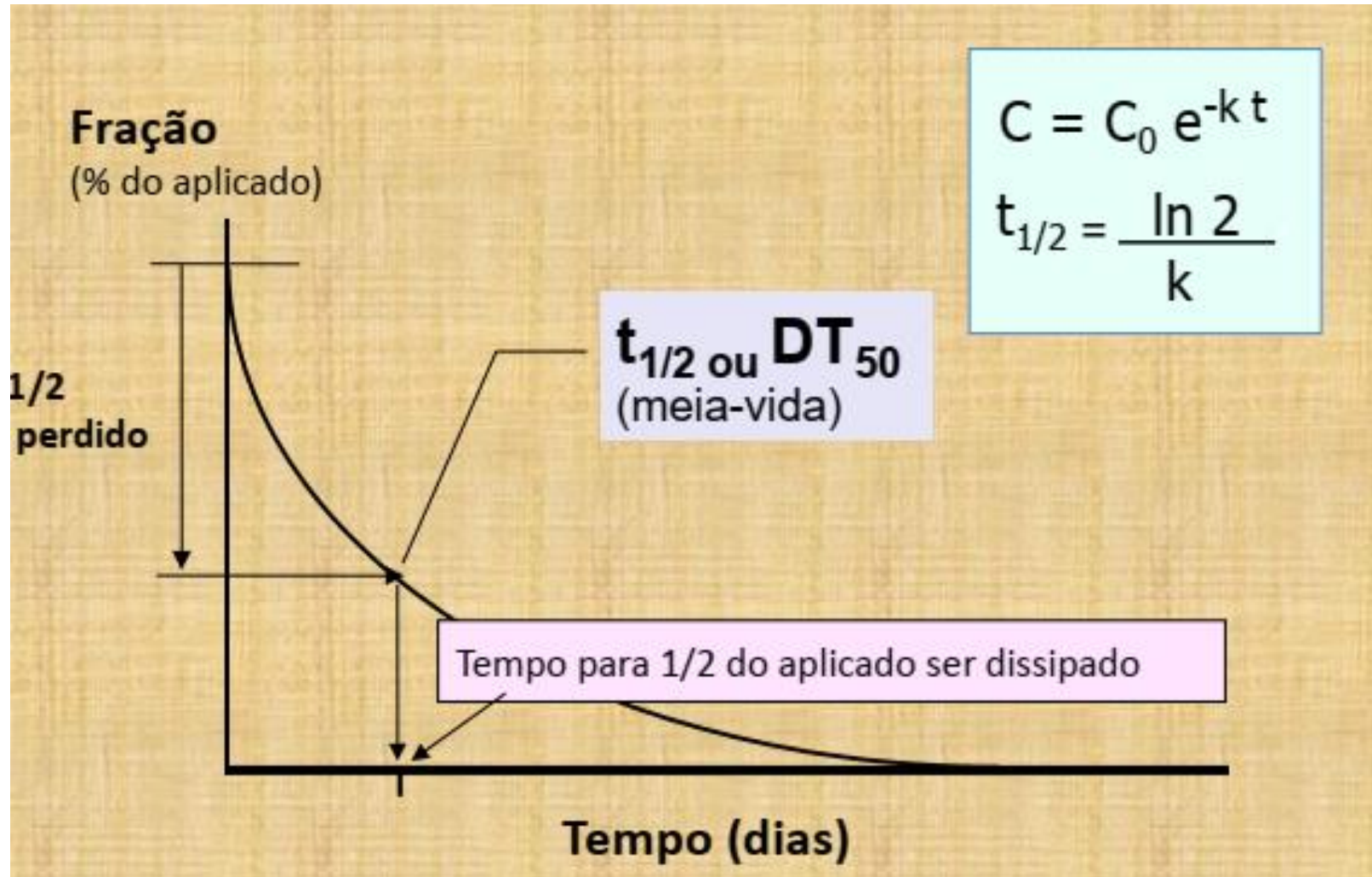


TABELA 21. Persistência e adsorção de um defensivo agrícola e seu potencial de contaminação de águas subterrâneas ou superficiais.

Produto	Pot. Lixiviação	Pot. Arrast. Sup.	Koc
Não Persistente		T $\frac{1}{2}$ < 30 dias	
dicamba	Grande	Pequeno	2
alachlor	Grande	Pequeno	15
cyanazine	Médio	Médio	170
Moderada / persistente		T $\frac{1}{2}$ 30- 100 dias	
carbofuran	Grande	Pequeno	22
atrazine	Grande	Médio	100
diuron	Médio	Grande	480
trifluralin	Pequeno	Grande	7000
Persistente		T $\frac{1}{2}$ > 100 dias	
terbacil	Grande	Médio	120
ethion	Pequeno	Grande	8890

COMO MINIMIZAR OS IMPACTOS ?







APLICAÇÃO ADEQUADA

- **Aplicação em condições ambientais e climáticas ótimas (temp. $< 30^{\circ}\text{C}$, UR $> 50\%$, ventos $< 10\text{ km/h}$, sem a possibilidade de chuva próxima).**
- **Utilizar equipamento regulado e em condições ótimas de uso.**
- **Utilizar produtos e doses recomendadas para as condições de solo**

**GOTAS DE MESMO TAMANHO TEM COMPORTAMENTO DIFERENTE
CONFORME AS CONDIÇÕES AMBIENTAIS**

Condições ambientais	Temp. = 20°C UR = 80%		Temp. = 30°C UR = 50%	
Diâmetro Inicial (µm)	Tempo até a extinção	Distância de queda	Tempo até a extinção	Distância de queda
50	12,5 s	12,7 cm	3,5 s	3,2 cm
100	50,0 s	6,7 m	14,0 s	1,8 m
200	200,0 s	81,7 m	56,0 s	21,0 m

Tabela 4 - Porcentagem do volume pulverizado composto por gotas com diâmetro inferior a 100 µm de pontas de jato plano defletor e jato plano defletor com indução de ar, com caldas de diferentes adjuvantes

Calda	Gotas < 100 µm (%)		
	Ponta de pulverização		Média
	TTI 11002	TT 11002	
Água	1,51	14,61	8,06a
Água + fosfatidilcolina	1,05	18,28	9,67a
Água + éter poliglicólico de monilfenol	1,02	19,09	10,06a
Água + ésteres de ácidos graxos	1,84	18,91	10,38a
Água + nonil-fenol etoxilado	1,46	18,26	9,86a
Média	1,38B	17,83A	
Valor de F (Calda x Ponta)	1,53 ^{ns}		
CV (%)	13,08		

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas, nas linhas, e minúsculas, nas colunas, diferem entre si a 0,05 de probabilidade pelo teste de Tukey. ^{ns} não significativo.

Terraceamento e curvas de nível



Conservacionista

X



Convencional

Tabela 18. Parâmetros físico-químicos dos principais herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar

Herbicidas	Parâmetros físico-químicos				
	S mg L ⁻¹	P mm Hg	pKa	Log K _{ow}	K _{oc} mL g ⁻¹
2,4-D amina	600	5,5x10 ⁻⁷	2,8	2,55	20
Ametrina	200	8,4x10 ⁻⁷	4,1	2,63	30
Amicarbazone	4.600	1,3 a 3,0x10 ⁻⁶	0	1,20	25
Carfentrazone	22.000	1,2x10 ⁻⁷	-	3,36	750
Clomazone	1.100	1,4x10 ⁻⁴	NI	2,54	300
Diuron	42	6,9x10 ⁻⁸	NI	2,77	477
Flumioxazin	1,79	2,4x10 ⁻⁶	NI	2,55	-
Glyphosate	15.700	1,8x10 ⁻⁷	2,6 a 10,3	-4,10	24.000
Hexazinone	33.000	1,4x10 ⁻⁷	2,2	1,05	54
Imazapic	2.150	<1,0x10 ⁻⁷	3,9	0,16 a 0,002	0,17 - 2,99
Imazapyr	11.272	<1,0x10 ⁻⁷	1,9 e 3,6	1,30	0,11 - 1,48
Isoxaflutole (DKN)	326	-	1,1	2,50	17
Isoxaflutole (IFT)	6,2	7,5x10 ⁻⁹	4,3	2,32	134
Mesotrione	2.200	<7,5x10 ⁻⁹	3,12	-	19 – 387