



## Quando tudo começou?

- ✓ Na década de 40 – poucos herbicidas – 2,4-D e alguns herbicidas não seletivos, mas hoje grande número.
- ✓ Na década de 70 – uma explosão de descobertas – necessidade de uma classificação que foi baseada não na estrutura química, mas como ele age na planta.
- ✓ Qual a importância deste Sistema? uma vez entendido a ação do produto na planta é possível selecionar o herbicida de forma adequada, utilizar estratégias de manejo da resistência e diagnosticar sintomas de injúrias, etc.



## Primeiro um pouco de terminologia

### Três conceitos importantes ...

#### Modo de ação dos herbicidas

- ✓ Sequência de eventos desde o contato do herbicida com a planta até seu efeito final

#### Mecanismo de ação dos herbicidas

- ✓ É o mecanismo bioquímico ou biofísico afetado pelo herbicida e que resulta na alteração do crescimento e desenvolvimento normal da planta podendo levar a morte
- ✓ Expressa nas plantas como mudanças: Anatômicas, Fisiológicas e Bioquímicas

#### Sítio (local) de ação dos herbicidas

- ✓ ponto exato numa estrutura onde se dá o acoplamento ou etapa de processo em que o herbicida exerce sua ação

**O mecanismo de ação dos herbicidas está sempre relacionado com processos fisiológicos e bioquímicos das plantas suscetíveis**

10/01/2016

pjchrist@usp.br

3



## Mais terminologia ...

#### Família de herbicidas

- ✓ Grupo de herbicidas que é denominado em relação as suas similaridades químicas

#### Nome comum

- ✓ Descreve o nome químico do ingrediente ativo do herbicida

#### Nome comercial

- ✓ Descreve o nome pelo qual um produto é comercializado químico do ingrediente ativo do herbicida
- ✓ Observe que somente o nome comum, ou o nome comercial não são suficientes para determinar de forma precisa o mecanismo de ação de um produto. Há necessidade de maiores informações

10/01/2016

pjchrist@usp.br

4



### Sítio (local) de absorção

- ✓ Pode ser confundido com sítio de ação
- ✓ Local onde o herbicida é absorvido pela planta. Existem três possibilidades: raiz (R), parte aérea (PA) (coleóptilo e caulículo) e folha (P)
- ✓ Se houver mais de uma região de absorção do herbicida pela planta, designa-se com principal região de absorção, por exemplo de absorvido R/PA, então a principal região de absorção deste herbicida é a parte aérea
- ✓ Herbicidas de uma mesma família química pode ter diferentes locais de absorção

**O conhecimento dos mecanismos de ação dos herbicidas é essencial para as recomendações de manejo de plantas daninhas**

10/01/2016

pjchrist@usp.br

5



## Como o sistema funciona

### Ilustrando com um exemplo ...

Categoria	Exemplo
Mecanismo de ação	Inibição da síntese de lipídeos
Sítio de ação	Inibição da acetil CoA carboxylase (ACCCase)
Família química	Ariloxifenoxipropionatos
Nome comum	Fluazifop-p-butil
Nome comercial	Fuzilade®

10/01/2016

pjchrist@usp.br

7

## Onde encontrar a classificação?

- ✓ Infelizmente esta informação não está no rótulo do produto
- ✓ Há necessidade do produtor procurar especialistas ou extensionistas
- ✓ Procurar na literatura ou internet
- ✓ No Brasil, uma classificação disponível é a da Embrapa soja

[http://www.cnpso.embrapa.br/download/tab\\_pla\\_daninha.pdf](http://www.cnpso.embrapa.br/download/tab_pla_daninha.pdf)

- ✓ No site do HRAC internacional pode ser encontrada da classificação por letras:

<http://www.hracglobal.com/Education/ClassificationofHerbicideSiteofAction.aspx>

- ✓ No site da WSSA tem um comparativo das classificações do HRAC e WSSA

<http://wssa.net/wp-content/uploads/HerbicideMOAClassification.pdf>

10/01/2016

pjchrist@usp.br

8

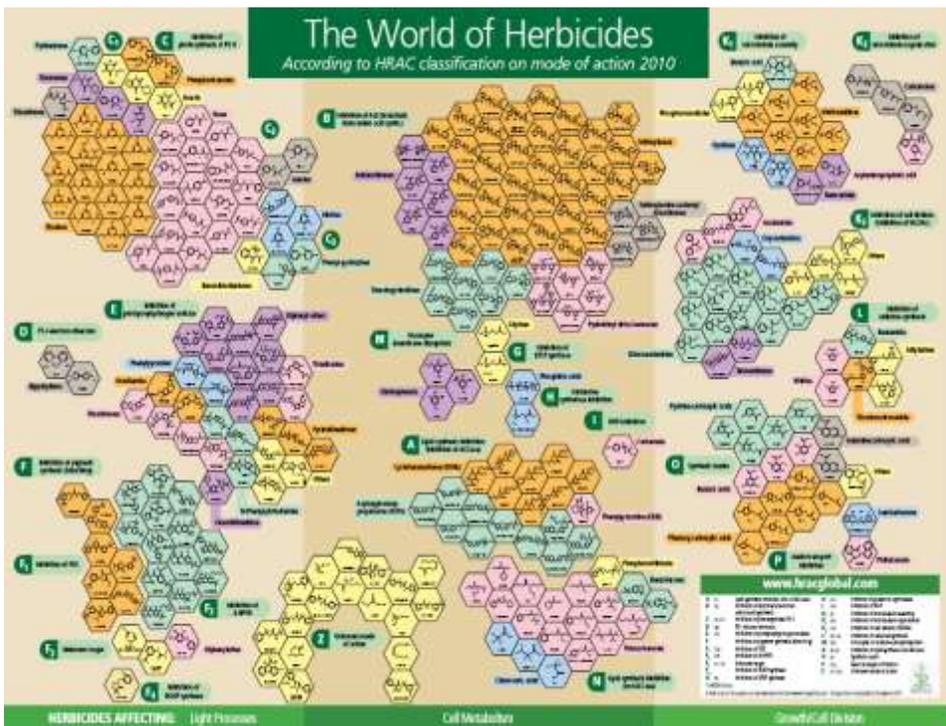
## Agrupamento dos herbicidas por mecanismo de ação

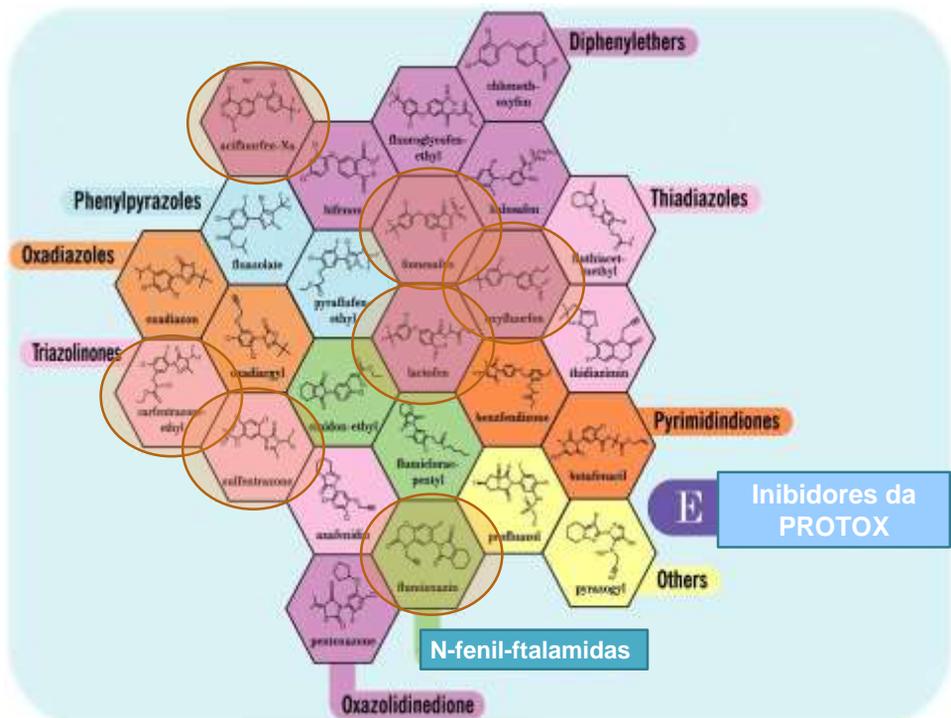
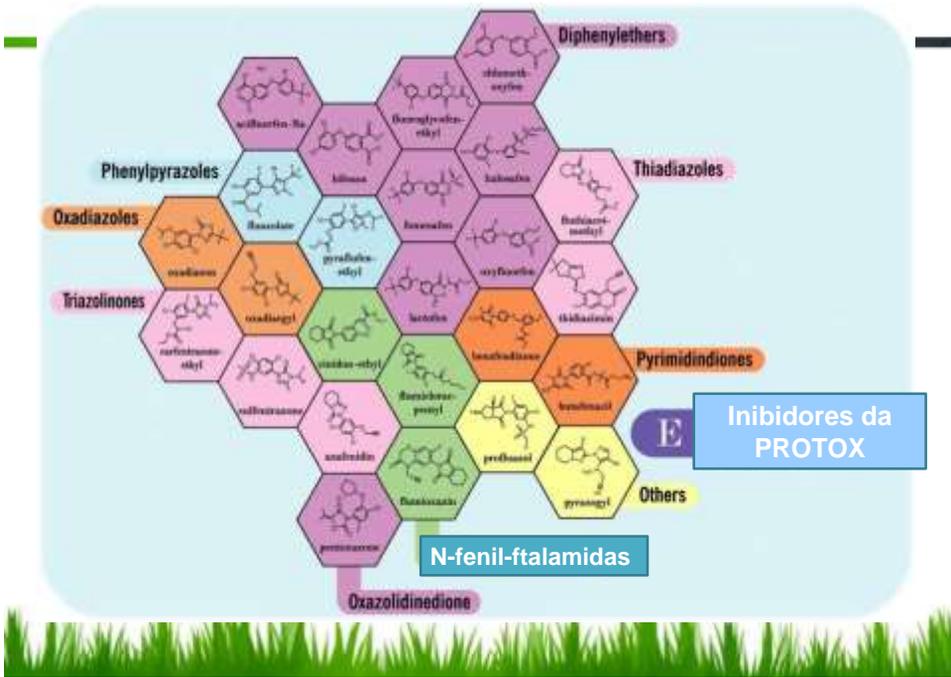
Herbicide Group Numbers									
1	2	3	15	23	4	5	6	7	8
16	9	10	11	12	13	27	14	17	25
26	18	19	20	21	28	29	22	24	NC

Classificação segundo a WSSA

- 1 - Inibidores da acetil CoA
- 2 - Inibidores da ALS – Plateau, etc
- 3, 15 e 23 Inibidores da Mitose - Trifluralina
- 4 - Auxinas sintéticas – 2,4-D
- 5, 6 e 7 - Inibidores do fotossistema II – Combine
- 8 e 16 - Inibidores da Biossíntese de lipídeos - Dual
- 9 - Inibidores da EPSPS - Glyphosate
- 10 - Inibidores da Glutamina sintetase
- 11, 12, 13, 27 – Inibidores da biossíntese de caroteno - Provenge
- 14 – Inibidores da Protocx - Boral

- 17, 25, 26 – Inibidores da síntese de ácidos nucleicos
- 18 – Inibidores da síntese de Dihidropteroato
- 19 – Inibidores do transporte de auxinas
- 20, 21, 28, 29 – Inibidores da síntese de celulose - Indaziflam
- 22 – Inibidores do fotossistema I - Paraquat
- 24 – Inibidores da fotofosforilação oxidativa - MSMA
- NC – não classificado





<http://www.plantprotection.org/hrac>



<b>A</b> <sup>(1)</sup>	Lipid synth. inh. (inh. of ACCase)	<b>H</b> <sup>(16)</sup>	Glutamine synth. inhibition
<b>B</b> <sup>(2)</sup>	Inhibition of ALS (branched chain amino acid synth.)	<b>I</b> <sup>(18)</sup>	DHP inhibition
<b>C</b> <sup>(5,6,7)</sup>	Inhibition of photosynthesis PS II	<b>K<sub>1</sub></b> <sup>(3)</sup>	Inh. of microtubule assembly
<b>D</b> <sup>(22)</sup>	PS I inhibition	<b>K<sub>2</sub></b> <sup>(23)</sup>	Inh. of microtubule organisation
<b>E</b> <sup>(14)</sup>	Inhibition of protoporphyrinogen oxidase	<b>K<sub>3</sub></b> <sup>(15)</sup>	Inhibition of cell division
<b>F</b>	Inhibition of pigment synthesis (bleaching)	<b>L</b> <sup>(20,21)</sup>	Inhibition of cellulose synth.
<b>F<sub>1</sub></b> <sup>(12)</sup>	Inhibition of PDS	<b>M</b> <sup>(24)</sup>	Uncoupler
<b>F<sub>2</sub></b> <sup>(28)</sup>	Inhibition of 4-HPPD	<b>N</b> <sup>(8,26)</sup>	Lipid synth. inh. (not ACCase)
<b>F<sub>3</sub></b> <sup>(11,13)</sup>	Unknown target	<b>O</b> <sup>(4)</sup>	Synthetic auxins
<b>G</b> <sup>(9)</sup>	Inhibition of EPSP synthase	<b>P</b> <sup>(19)</sup>	Auxin transport inhibition
		<b>Z</b> <sup>(8,17,25,27)</sup>	Unknown mode of action

To order a free copy of this poster please contact Dr Peter Boutsalis at  
 Novartis Crop Protection, Biology Weed Control Research, CP 2.52 CH-4332 Stein, Switzerland  
 Tel: ++41 62 8686 503 Fax: ++41 62 8686 439 E-mail: peter.boutsalis@cp.novartis.com  
 CONCEIVED AND PREPARED (2000) BY DR. L. WAELDER/NOVARTIS CROP PROTECTION, CH-4002 BASEL  
 COMPLEMENTARY INFORMATION BY DR. R.R. SCHMIDT/BAYER AG IS GRATEFULLY ACKNOWLEDGED.



### Classificação dos herbicidas de acordo com o mecanismo de ação baseado no HRAC, comparado com o WSSA

HRAC	WSSA	Mecanismo de ação	HRAC	WSSA	Mecanismo de ação
A	1	Inibidores da síntese de lipídeos (ACCase) – Sethoxydin, clethodim, fluzazifop	K1	3	Inib. da formação de microtúbulos – pendimethalin, trifluralina
B	2	Inibidores da ALS – Imazapic, imazayr	K2	23	Inibidores da organização de microtúbulos – sem importância
C1 C2 C3	5,7,6	Inibidores do fotossistema II – Atrazina, diuron, ametrina	K3	15	Inibidores da divisão celular - metolachlor
D	22	Inibidores do fotossistema I - Paraquat	L	20,21	Inibidores da síntese de celulose – sem importância
E	14	Inibidores do protoporfirino oxidase – Lactofen, saflufenacil	M	24	Desaclopadores – sem importância
F1	12	Inibidores da PDS – sem importância	N	8,26	Inibidores da síntese de lipídeos (não ACCase) – sem importância
F2	28	Inibidores da 4-HPPD - isoxaflutole	O	4	Auxinas sintéticas – 2,4-D, picloran
F3	11	Sítio de ação desconhecido - clomazone	P	19	Inibidores do transporte de auxinas – sem importância
G	9	Inibidores da EPSPs - glyphosate	Z	8,17	Modo de ação desconhecido – MSMA
H	10	Inibidores da glutamina sintetase – Amônio glufosinato	NC		Sem importância
I	18	Inibidores da DHP – sem importância			



## Quais são os diferentes mecanismos de ação dos herbicidas?

Os principais processos bioquímicos com seus respectivos mecanismos de ação do herbicidas são os seguintes:

- ✓ **Síntese de aminoácidos nas plantas**
  - ✓ Grupo G/6 – inibidores da EPSPS
  - ✓ Grupo B/2 – inibidores da ALS
  - ✓ Grupo H/10 – inibidores da GS
- ✓ **Captura da energia luminosa pela planta (fase luminosa da fotossíntese)**
  - ✓ Grupos C<sub>1</sub>/5, C<sub>2</sub>/7, C<sub>3</sub>/6 – Inibidores do fotossistema II
  - ✓ Grupo D/22 – inibidores do fotossistema I
  - ✓ Grupo E/14 – Inibidores da PROTOX
  - ✓ Grupos F<sub>2</sub>/27 e F<sub>3</sub>/13 – inibidores da biossíntese de carotenóides
- ✓ **Síntese de ácidos graxos**
  - ✓ Grupo A/1 – inibidores da ACCase

Os grupos representados por letras e subscritos são resultantes da classificação feita pelo HRAC, e os números são resultantes da classificação feita pela WSSA

- ✓ **Reguladores de crescimento**
  - ✓ Grupo O/4 – atuam como se fossem auxinas
- ✓ **Crescimento inicial das plantas**
  - ✓ Grupo K<sub>1</sub>/3 – atuam na divisão celular (mitose)
  - ✓ Grupo K<sub>3</sub>/15 – atuam na síntese de ácidos graxos de cadeia muito longa
- ✓ **Reguladores de crescimento**
  - ✓ Grupos O/4 – atuam como se fossem auxinas
- ✓ **Desconhecido o processo bioquímico que atua**
  - ✓ Grupo A/17 – MSMA

Os grupos representados por letras e subscritos são resultantes da classificação feita pelo HRAC, e os números são resultantes da classificação feita pela WSSA

## Introdução ao controle químico



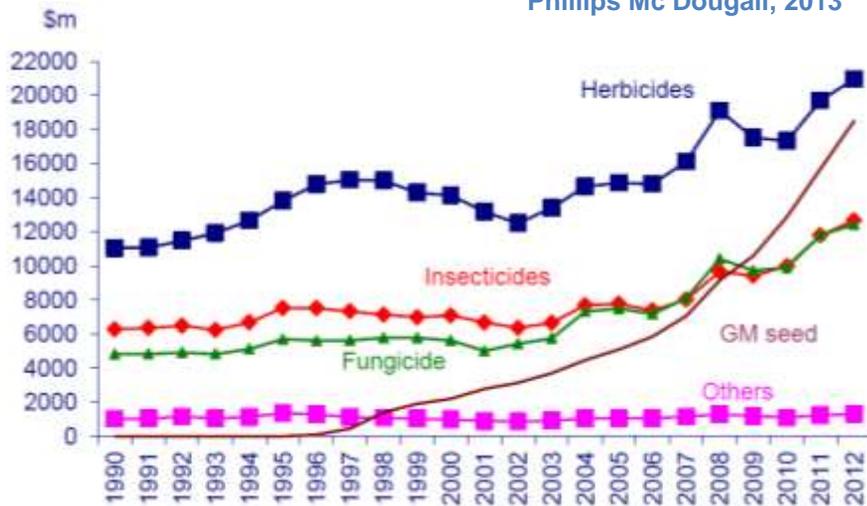
Definição de herbicida

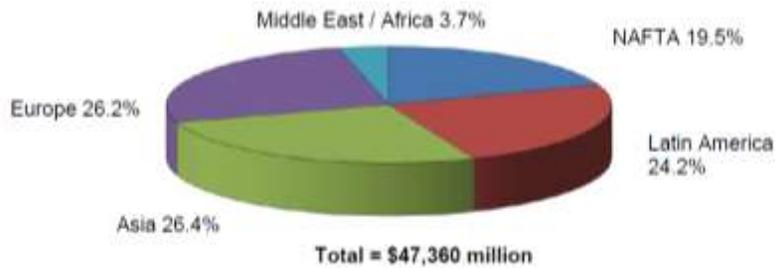
**Produto fitossanitário usado no controle de plantas daninhas.**



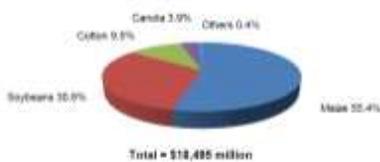
### Setor de produtos de proteção de plantas desde 1990

Phillips Mc Dougall, 2013

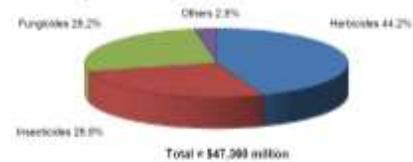




Value of GM Seed Market by Crop 2012



Conventional Crop Protection Market 2012



**Distribuição das vendas em milhões de dólar por região no mundo e o Mercado de produto em 2012**

## Produtos fitossanitários Desenvolvimento de mercado por região

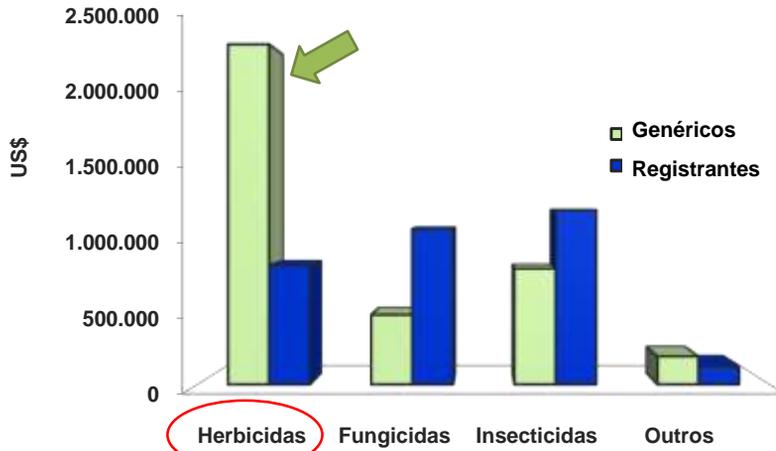
Região	2007 (bilhões USD)	2008 bilhões USD)	Crescimento (%)
NAFTA	7,6	8,4	11,7
América Latina	6,2	8,8	42,0
Europa	10,6	13,6	28,7
Ásia	7,8	9,5	21,0
Outros	1,3	1,5	15,4
Total Global	33,4	41,7	25,0

**Brasil 7,1 bilhões**

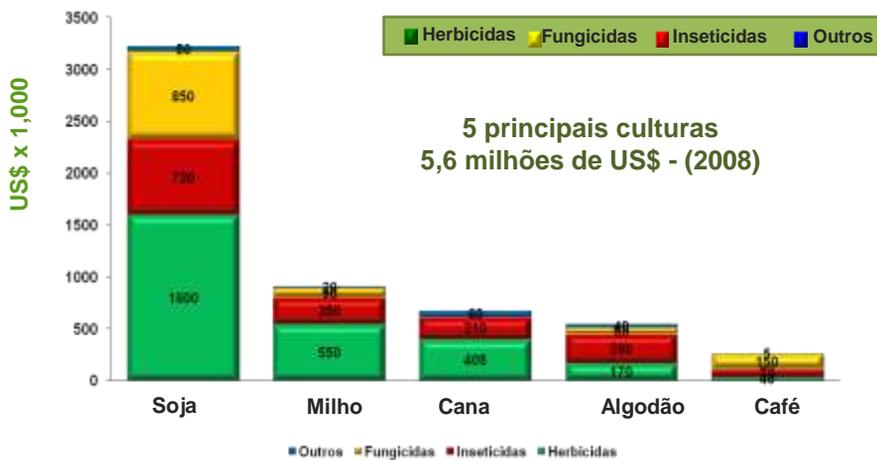
Fonte: Phillips McDougall Agriservice

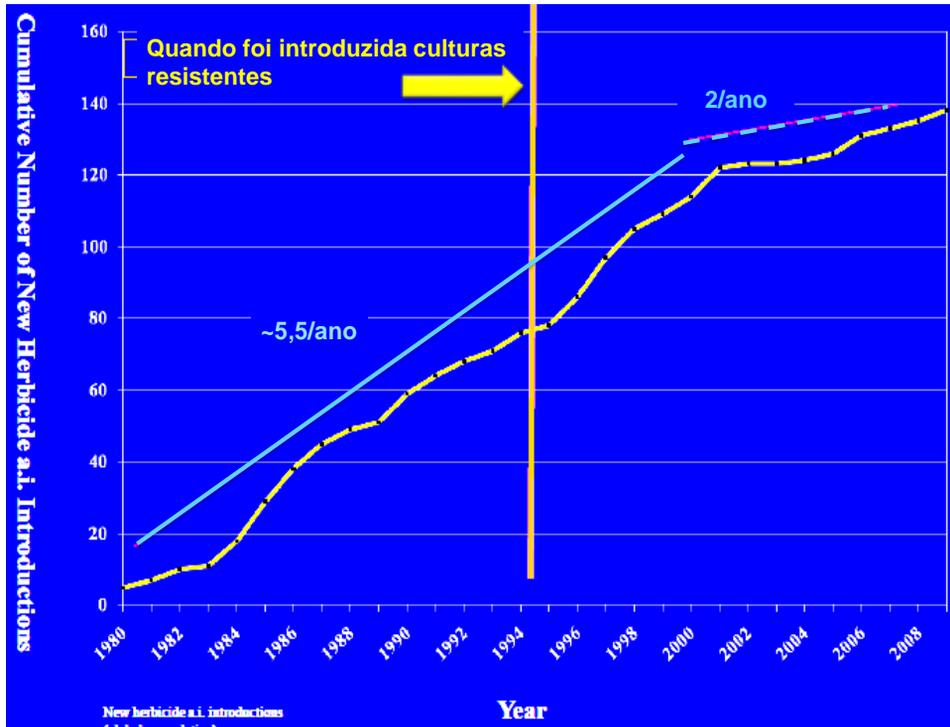
Produtos fitossanitários - Genéricos x Registrantes

**Mercado 2008**  
(por segmento)



Distribuição do Mercado por cultura





## Classificação dos herbicidas

Os herbicidas podem ser classificados de acordo com a época e método de aplicação

A seleção adequada do herbicida deve ser de acordo com:

- ✓ Eficácia de manejo da(s) planta(s) daninha(s) alvo
- ✓ Seletividade do herbicida ou tolerância da cultura

## Herbicidas foliares x de solo

### ✓ Herbicidas foliares

Absorção do ingrediente ativo ocorre pelas folhas das plantas daninhas (chamados de pós-emergentes):

- ✓ Glyphosate, 2,4-D, dicamba, paraquat

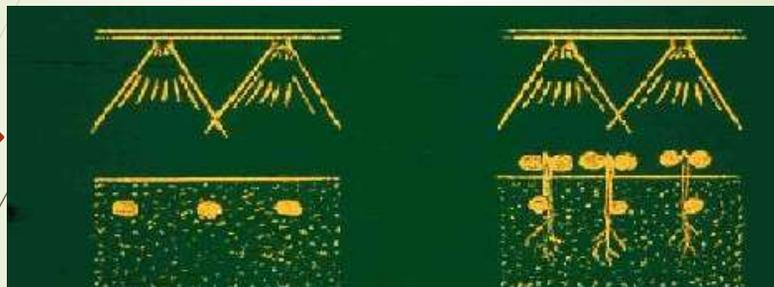
### ✓ Herbicidas de solo

Absorção do ingrediente ativo ocorre pelas raízes ou estruturas subterrâneas das plantas daninhas (chamados de pré-emergentes):

- ✓ Atrazina, trifluralina, metolachlor, etc.

- ✓ Residuais
- ✓ Pré-emergência
- ✓ Herbicida de solo

- ✓ Herbicidas foliares
- ✓ Pós-emergentes



## Herbicidas seletivos x não seletivos

### ✓ Herbicidas seletivos

Controla certas espécies sem afetar negativamente o crescimento de outras planta

A seletividade pode ser devido a absorção diferencial, translocação na planta ou diferenças físicas (morfológicas) entre as espécies.

### ✓ Herbicidas seletivos

A seletividade dos herbicidas pode ser decorrente da destoxificação nas plantas ou por não converter a molécula em uma forma ativa.

Exemplos de herbicidas seletivos:

**2,4-D e dicamba** – controla plantas daninhas do tipo folha larga mas as gramíneas são tolerantes

**Metribuzin** – controla capim colchão mas em doses recomendadas não afeta a cana de açúcar

## ✓ Herbicidas não seletivos

Controla a planta daninha independente da espécie. Estes herbicidas também podem ser chamados de herbicidas de ação total

Exemplos de herbicidas seletivos:

**Glyphosate, glufosinate de amônio, paraquat** – estes herbicidas são também chamados de herbicidas foliares.

Importante destacar que a seletividade é função direta da dose. Glyphosate em baixas doses pode ser seletivo

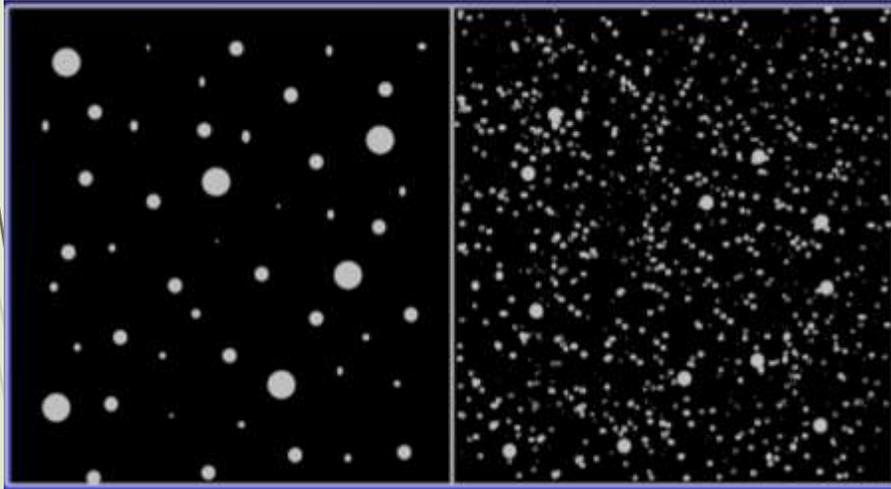
## Herbicidas de contato x sistêmicos

### ✓ Herbicidas de contato

São herbicidas que controlam apenas a porção dos tecidos verdes da planta com o qual entram em contato. Portanto, uma cobertura uniforme de pulverização e gotículas de pulverizadores menores são essenciais para um controle adequado (a planta toda tem que ser pulverizada).

**Exemplos:** Paraquat, ametrina, flumizyn, etc. Se apenas parte das folhas são pulverizadas, o herbicida permanece apenas nas folhas pulverizadas

## Cobertura foliar de uma pulverização



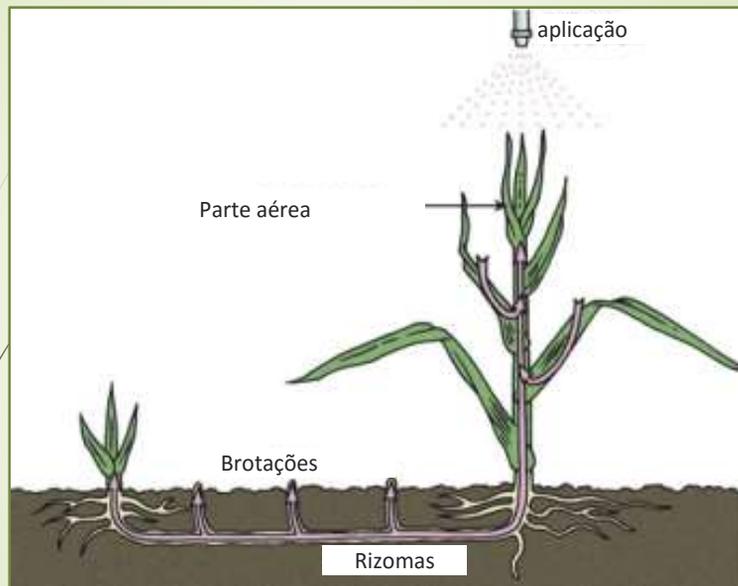
## ✓ Herbicidas de contato

Herbicidas de contato não controlam plantas perenes com estruturas de propagação vegetativa como rizomas, tubérculos e bulbos. Aplicações repetitivas nas rebrotas podem eventualmente esgotar as reservas da planta, mas o melhor nesta situação é usar herbicidas sistêmicos

**Herbicidas de contato devem ser usados apenas em plantas daninhas com ciclo de vida anual.**

## ✓ Herbicidas sistêmicos

- ✓ São transportados através do sistema vascular das plantas, xilema ou floema
- ✓ Normalmente requerem dias ou semanas para controlar a planta daninha (necessita ser transportado pela planta)
- ✓ São mais eficientes em plantas perenes que herbicidas de contato



## Momento de aplicação

Os herbicidas podem ser classificados como...

- ✓ Pré plantio
- ✓ Pre-emergência
- ✓ Pós-emergência

### Pré plantio (fumigantes do solo)

- ✓ São usados em áreas com culturas de alto valor comercial
- ✓ São herbicidas não seletivos
- ✓ Controlam as sementes
- ✓ Metan sódio, dozomet (brometo de metila)



### Préemergentes

- ✓ Devem ser aplicados e ativados no solo antes da germinação das sementes (tanto anuais como perenes)
- ✓ Formam uma fina barreira na superfície e nos primeiros centímetros de solo
- ✓ Os seedlings em emergência entram em contato com a região tratada de herbicida, absorve o herbicida, para em seguida ser controlada
- ✓ Os herbicidas de pré-emergência quando aplicado em solo seco necessitam de pelo menos 20 mm de chuva ou irrigação para sua ativação
- ✓ Quando o herbicida permanece na superfície do solo por tempo prolongado antes da ativação pela água há possibilidade de perdas por volatilização e fotodecomposição
- ✓ Não controla sementes em dormência. Controla a semente em processo de germinação e emergência

### Pós emergentes

- ✓ São aplicados diretamente na planta daninha emergida, e são geralmente com maior eficácia nos seedlings. Importante o conhecimento da fenologia da plantas nas fases vegetativas iniciais de desenvolvimento.
- ✓ Geralmente requer aplicações múltiplas para controle adequado. Podem ser de absorção foliar ou radicular, seletivos ou não seletivos, de contato ou sistêmicos.
- ✓ Deve ser aplicado em plantas daninhas crescendo ativamente
- ✓ O ideal é que a planta daninha não esteja sob condições de stress hídrico
- ✓ Em área onde será feita roçagem, aplicar pelo menos dois dias antes.

### Pós emergentes

- ✓ Penetram na planta através da cutícula foliar. Quando em crescimento ativo a cutícula foliar é mais fina, permitindo penetração mais fácil
- ✓ Quando a planta está sob condições de stress-seca, a cutícula torna-se mais espessa para conservação de água na planta e assim a penetração do herbicida é dificultada
- ✓ Em temperaturas a acima de 35 C as plantas ficam estressadas e o herbicida pode se tornar mais volátil e derivar para plantas não alvo
- ✓ Não aplicar herbicidas de pós-emergência imediatamente antes de uma chuva ou irrigação.
- ✓ Dependendo do herbicida este pode ser lavado para o solo antes da penetração na folha, sendo o tempo necessário para absorção pode ser de 1 h a 12 hs, dependendo do herbicida

### Pós emergentes

- ✓ A retenção do herbicida na folha é afetada...
  - ✓ Tamanho da folha
  - ✓ Forma da folha
  - ✓ Superfície da folha
  - ✓ Ângulo da folha
- ✓ Dependendo das características foliares há necessidade da adição de surfactante ativadores de superfície
  - ✓ Adjuvantes são produtos químicos adicionados a uma formulação ou no tanque de pulverização para melhorar a qualidade da calda de pulverização ou aumentar a eficácia do herbicida
  - ✓ Normalmente quando necessário a adição de adjuvante há indicação na embalagem/bula do produto.

## Pós emergentes

- ✓ **Dentre os adjuvantes incluem:**
  - ✓ **Surfactantes**
  - ✓ **Óleos vegetais metilados**
  - ✓ **Óleos minerais concentrados**
- ✓ **Os agentes ativadores de superfície permitem a redução da tensão superficial entre a água e sólidos (superfície das folhas) ou outros líquidos**
- ✓ **Classes de adjuvantes:**
  - ✓ **Agentes molhantes**
  - ✓ **Espalhantes – permite a formação de uma camada uniforme sobre a folha tratada**
  - ✓ **Adesivos – permite maior aderência da folha, impedindo a lavagem da gota de pulverização.**

## Seletividade de herbicidas a culturas de interesse



## Seletividade

“Capacidade agrônômica de matar algumas plantas sem injuriar outras (Anderson, 1983)”

“Medida de resposta diferencial entre as espécies de plantas a um determinado herbicida (Oliveira Jr., 2001)”



A seletividade do herbicida é a base para o sucesso do controle químico

- ✓ > diferença (cultura/planta daninha) > segurança de aplicação seletiva
- ✓ A seletividade não deve ser avaliada apenas pelos sintomas visuais de fitotoxicidade
- ✓ Existem produtos que reduzem a produtividade da cultura sem manifestar sintomas visuais
- ✓ Alguns produtos provocam injúrias acentuadas, mas permitem à cultura manifestar plenamente seu potencial produtivo

Um herbicida seletivo é aquele que é muito mais tóxico para algumas plantas do que para outras dentro dos limites de:

- a) Uma faixa específica de doses;
- b) Método de aplicação e
- c) Condições ambientais que precedem e sucedem a aplicação.

“O mais correto fosse julgar se determinado tratamento, e não um herbicida especificamente, é seletivo para determinada cultura”

“Por tratamento seletivo entende-se aquele que controla plantas indesejáveis (plantas daninhas) sem afetar seriamente aquelas que são de interesse (as culturas)”

“A espécie que não sofre injúrias é considerada tolerante e a injuriada susceptível”

## Fatores que determinam a seletividade

### 1. Fatores relacionados às características do herbicida ou ao método de aplicação

#### Dose

A dose de aplicação de um herbicida deve ser tal que as plantas daninhas sejam efetivamente controladas com pouco ou nenhum dano para as plantas cultivadas.

Comparação da atividade herbicida e taxa de metabolismo de imazethapyr em plantas de soja e milho. Fonte – Shaner & Mallipudi (1991).

Milho	24	21
* Dose segura é considerada a dose mais alta que resulta em menos de 15% de injúria a cultura.		

10/01/2016

© Chris Weiland/USDA

15

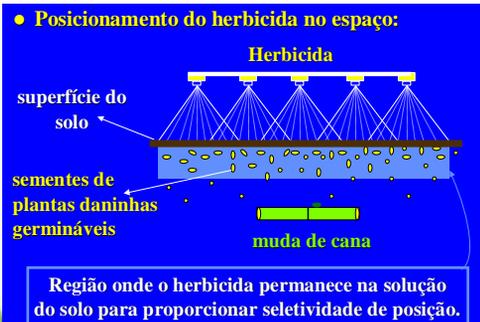
#### Formulação

- ✓ Formulação granulada em pastagens x formulações líquidas
- ✓ Adição de adjuvantes podem aumentar ou diminuir a seletividade de um herbicida
- ✓ Adição de antídotos aumentam a seletividade de um herbicida

#### Localização espacial ou temporal do herbicida em relação a planta

##### Localização espacial do herbicida (seletividade de posição)

A seletividade de herbicidas obtida pelo posicionamento físico é discutida aqui em referência a qualquer fator que resulte na separação espacial entre tecidos sensíveis da cultura e doses tóxicas dos herbicidas.

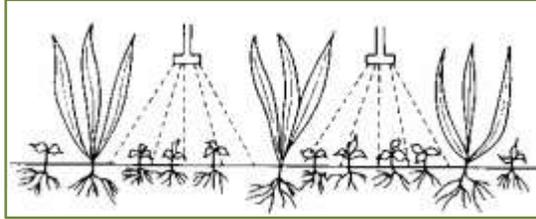


Seletividade de posição de um herbicida aplicado ao solo (residual)



### Seletividade de posição em aplicações em pós-emergência

É obtida ao evitar-se que o herbicida entre em contato com a cultura em locais de absorção preferencial dos herbicidas, tais como folhas ou gemas, ao mesmo tempo fazendo-o entrar em contato com as plantas daninhas já emergidas.



## 2. Fatores relacionados às características das plantas

### A - Seletividade associada à retenção e absorção diferencial

As características das folhas que influenciam na seletividade são basicamente aquelas que afetam a interceptação e a retenção do herbicida pulverizado tais como superfície e ângulo de inserção foliar, forma, número e arranjo do dossel.



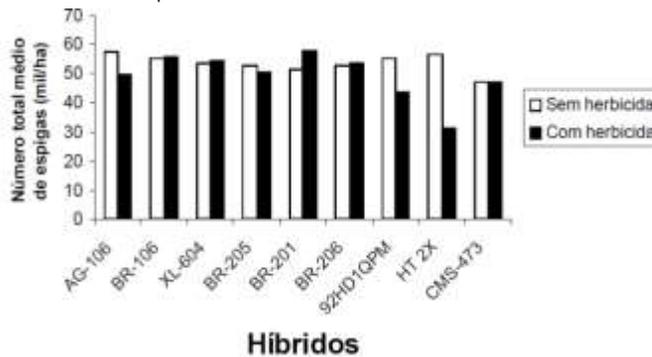
### Idade das plantas

Plantas jovens são mais susceptíveis a herbicidas do que plantas mais velhas, principalmente porque as plantas jovens possuem mais tecidos meristemáticos.

### Cultivar

Plantas jovens são mais susceptíveis a herbicidas do que plantas mais velhas, principalmente porque as plantas jovens possuem mais tecidos meristemáticos.

Número médio de espigas produzidas por híbrido de milho submetidos a 80 g/ha de nicosulfuron e respectivas testemunhas. Fonte – Damião Filho et al. 1996.



### *Tamanho da semente ou estrutura de propagação vegetativa*

A maior quantidade de reservas nas sementes ou órgãos de propagação vegetativa parece conferir maior tolerância aos herbicidas

### *B - Seletividade associada à translocação diferencial*

- ✓ Translocação é o movimento interno de água e substâncias dissolvidas de uma região para outra nas plantas. Após atravessar a camada cuticular, a maioria dos herbicidas precisa translocar-se no apoplasto ou no simplasto antes de chegar ao seu sítio de atuação.
- ✓ A intensidade e a quantidade total translocada às vezes desempenham um papel determinante na seletividade entre plantas.

### *C. Seletividade associada ao metabolismo diferencial (destoxificação)*

- ✓ A atividade bioquímica das plantas afeta a quantidade de herbicida absorvido que chega ao sítio de atuação, que pode ser suficiente ou não para que a toxicidade seja manifestada.
- ✓ O metabolismo diferencial é provavelmente o mais comum dos mecanismos que contribuem para a seletividade de herbicidas nas plantas.



Comparação da atividade herbicida do imazapyr e de seu principal metabólito nas plantas. Fonte – Shaner & Mallipudi, 1991.

Composto	Dose mínima (g/ha) para controle de 85% da população de:	
	milho	soja
Imazapyr	8	40
AC 247,087 (metabólito)	63	1000

Reações metabólicas nas plantas e principais grupamentos químicos afetados –

Fonte Zimadhal, 1993.

Reação química	Grupo químico afetado
Hidroxilação	triazinas, ácidos fenólicos
Oxidação	ácidos fenólicos
Descarboxilação	ácido benzóico e ácido picolínico
De(s)aminação	uréias, dinitroanilinas
Desulfonação	tiocarbamatos
Desalquilação	dinitroanilinas, triazinas
Hidrólise	carbamatos, sulfoniluréias
Conjugação com constituintes das plantas	derivados do ácido benzóico

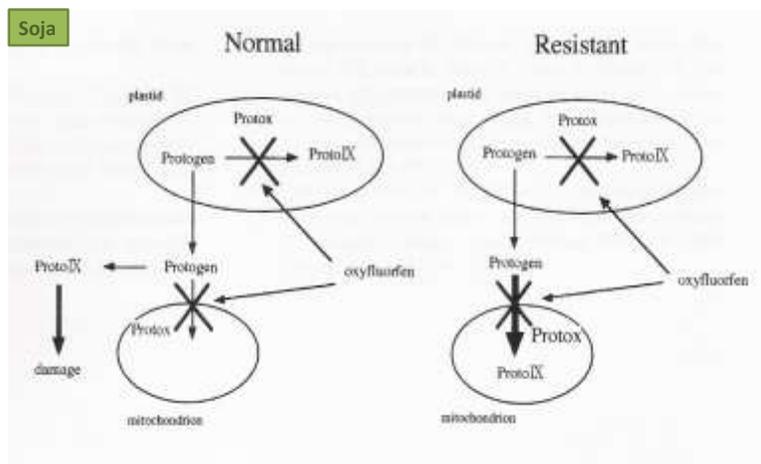


Resumo das fases do metabolismo de herbicidas em plantas. Adaptado de Van Eerd et al. (2003) e Shimabukuro (1985).

Características	Propriedades Iniciais	Fase I	Fase II	Fase III
<b>Reações</b>	Ação herbicídica	Oxidações, reduções, hidrólises, oxigenações, hidroxilações	Conjugação com aminoácidos, açúcar ou glutathiona	Conjugação secundária; compartimentalização em vacúolos ou integração a compostos da parede celular
<b>Solubilidade</b>	Lipofílicos	Intermediária	Hidrofílica	Hidrofílica ou insolúvel
<b>Toxicidade</b>	Alta - ação herbicídica	Modificada ou menos tóxica	Reduzida ou atóxico	Atóxico
<b>Mobilidade</b>	Variável em função do produto	Modificada ou reduzida	Limitada ou imóvel	Imóvel



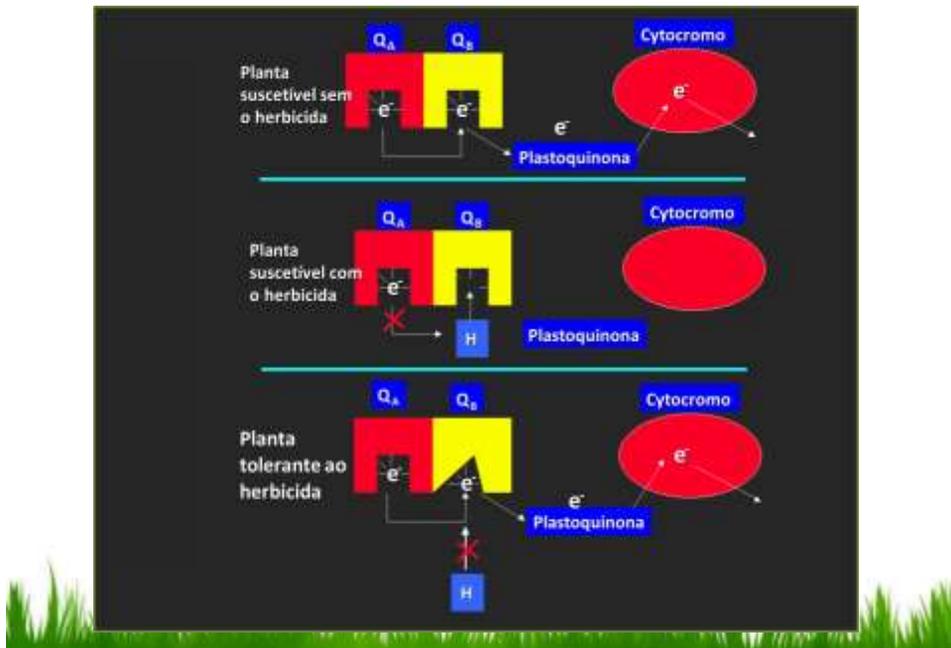
### Superprodução enzimática



Warabi et al., 2001



### Insensibilidade do sítio de ação



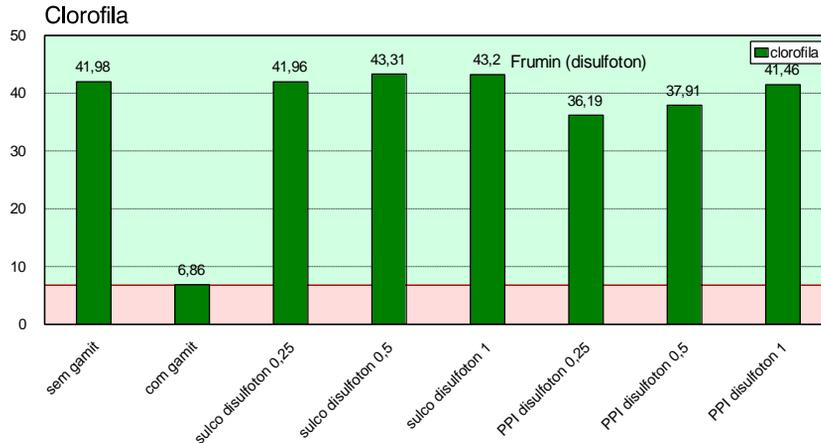
### Antídotos

- ✓ A seletividade para alguns herbicidas pode ser alcançada através do uso de substâncias químicas (antídotos) que protegem as plantas contra a ação tóxica dos herbicidas.
- ✓ Os mecanismos de ação exatos através dos quais os antídotos protegem as culturas ainda não foram completamente elucidados, mas as hipóteses de que os antídotos induzem uma rápida metabolização do herbicida e ou interagem com os herbicidas nos locais de atuação têm sido postuladas como sendo as mais prováveis.

#### Exemplos de substâncias utilizadas como antídotos para herbicidas

	prevenir danos de metolachlor
Dichlormid (R-25788)	Utilizado na forma dos misturas formuladas comerciais Eradicane (EPTC+dichlormid), Sutan (butylate+dichlormid) e Vernam (vernolate+dichlormid)
Fenclorim (CGA-123407)	Usado no Japão para proteger o arroz de pretilachlor.
Flurazole	Usado para proteger sorgo de alachlor e acetochlor.
MG-191 e PPG-1292	Usado para proteger milho contra os ditiocarbamatos e cloroacetamidas (EPTC e butylate)

## Disulfoton



Velini, 2005

### Engenharia genética versus seletividade nas culturas: culturas transgênicas

- ✓ Consiste na modificação da constituição genética da cultura para conferir resistência à ação de um determinado herbicida. Resultados de experimentos a campo indicam que aparentemente a introdução do gene para resistência nestes híbridos não causa nenhum outro tipo de efeito negativo nas culturas.

Transformação de plantas visando resistência a herbicidas – Fonte – Brommonschenkel & Moreira, 1997.

Grupo ou herbicida	Gene transformado	Fonte do gene	Mecanismo de resistência*	Plantas transformadas
Sulfonilureias	acetolactato sintase	plantas	1	canola, arroz, linho, algodão, tomate, beterraba açucareira, melão.
Imidazolinonas	acetolactato sintase	plantas	1	feijão
Glyphosate	enolpiruvoyl shikimate 5-phosphate synthase	bactérias, plantas	1	tomate, canola, soja
Asulam	dihydropterate synthase	bactérias	1	feijão
Atrazine	proteína 'D1'	plantas	1	soja
Glufosinate	N-acetyl transferase	bactérias	2	milho, trigo, arroz, algodão, canola, batata, tomate, beterraba açucareira
Glufosinate	glutamina sintetase	plantas	3	feijão
Bromoxynil	nitrilase	bactérias	2	canola, algodão, batata, tomate

\*1 = Alvo bioquímico mutado; 2 = destoxificação; 3 = superprodução do alvo.

Os vários benefícios potenciais que podem advir do desenvolvimento de cultivares tolerantes a herbicidas foram enumerados por Harrison (1992) e Dyer et al. (1993):

- ✓ Aumento na margem de segurança dos herbicidas, reduzindo as perdas devido às injúrias;
- ✓ Redução do risco de dano às culturas pelo efeito residual de herbicidas usados na cultura anterior;
- ✓ Introdução de novos herbicidas para uso em culturas anteriormente susceptíveis.

Os riscos ou preocupações relacionados ao desenvolvimento desses cultivares também têm sido discutidos (Harrison, 1992; Dale, 1995, Darmency, 1996; Roger & Parkes, 1995; Williamson, 1996), e, resumidamente, englobam os seguintes aspectos:

- ✓ Preocupação do público em geral com relação à liberação de organismos geneticamente modificados no ambiente;
- ✓ Potencial de uso mais intensivo de herbicidas;
- ✓ Mal uso de herbicidas, levando à contaminação de mananciais aquáticos ou outros problemas ambientais;
- ✓ Extinção de plantas daninhas que contém genes de valor potencial;
- ✓ Preocupação de que cultivares tolerantes a herbicidas possam se tornar problemas como plantas daninhas ou que a resistência possa ser transferida através de fluxo gênico para outras espécies;
- ✓ Descaracterização de variedades cultivadas.



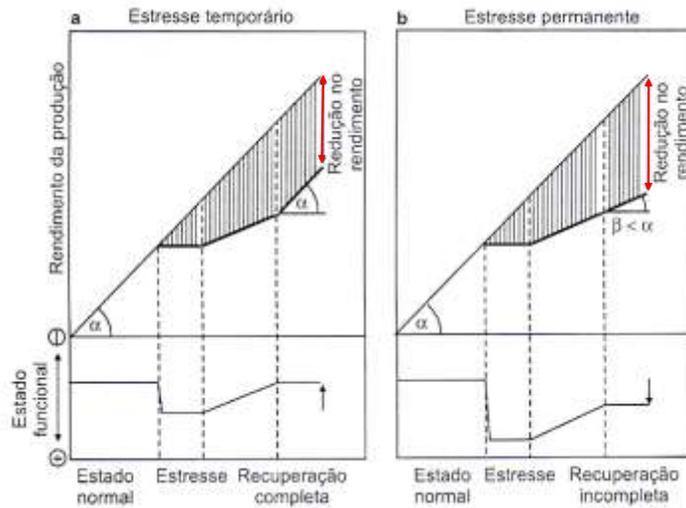
## CONDIÇÃO DE ESTRESSE

“Quando o limite da capacidade de ajuste da planta é alcançado, os distúrbios que antes não se manifestavam (latentes) aparecem na forma de doenças crônicas ou injúrias irreversíveis (Larcher, 2000)”

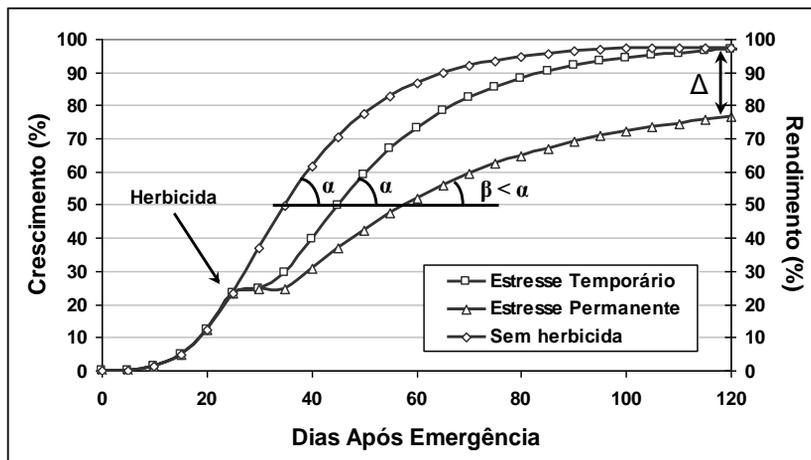
## FITOTOXICIDADE

“Injúrias visuais apresentadas pelas plantas em consequência da aplicação de defensivos agrícolas (herbicidas)”





Larcher, 2000



Modelos dos efeitos da fitotoxicidade de herbicidas sobre o crescimento e o rendimento agrícola. Estresse temporário: dano recuperado pela planta sem alterações definitivas sobre a taxa de crescimento ( $\alpha$ ). Estresse permanente: após a recuperação parcial, a taxa de crescimento é permanentemente prejudicada ( $\beta < \alpha$ ).  $\Delta$  representa a redução final de rendimento. Adaptado de Härtel (1976) e Larcher (2000).



isoxaflutole



glyphosate



chlorimuron



lactofen



clomazone



fluazifop-p-butyl

