

# INTERAÇÕES ALELOPÁTICAS ENTRE PLANTAS

Pedro Luís da C. A. Alves

Depto. de Biologia Aplicada - FCAV - UNESP  
Laboratório de Plantas Daninhas - LAPDA



**LAPDA**  
laboratório de  
plantas daninhas





ABR 90  
FUI 23

LA CATEDRAL  
Tienda  
Natur

# Interferência

```
graph TD; A[Interferência] --> B[Direta]; A --> C[Indireta]; B --> D[Competição]; B --> E[Alelopatia]; B --> F[Parasitismo]; C --> G[Hospedeiras]; C --> H[Práticas Culturais]; C --> I[Qualidade];
```

Direta

Competição

Alelopatia

Parasitismo

Indireta

Hospedeiras

Práticas Culturais

Qualidade

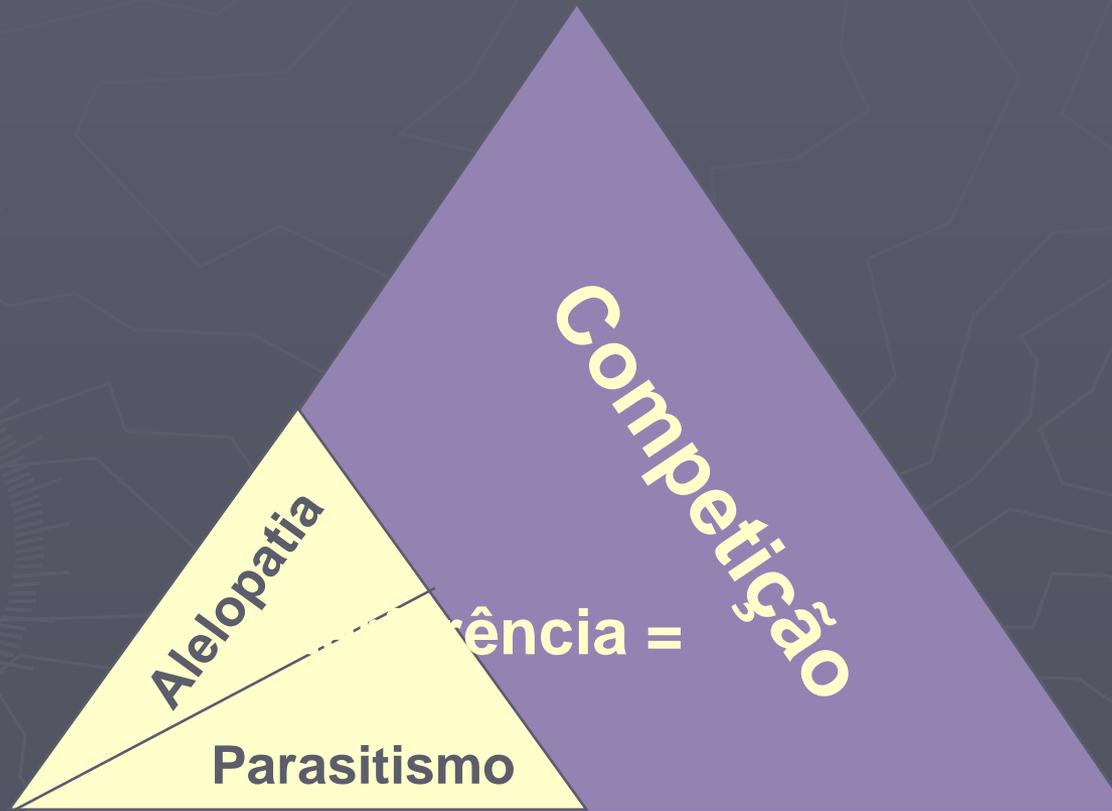
# INTERFERÊNCIA DIRETA

planta x planta



# INTERFERÊNCIA DIRETA

planta x planta



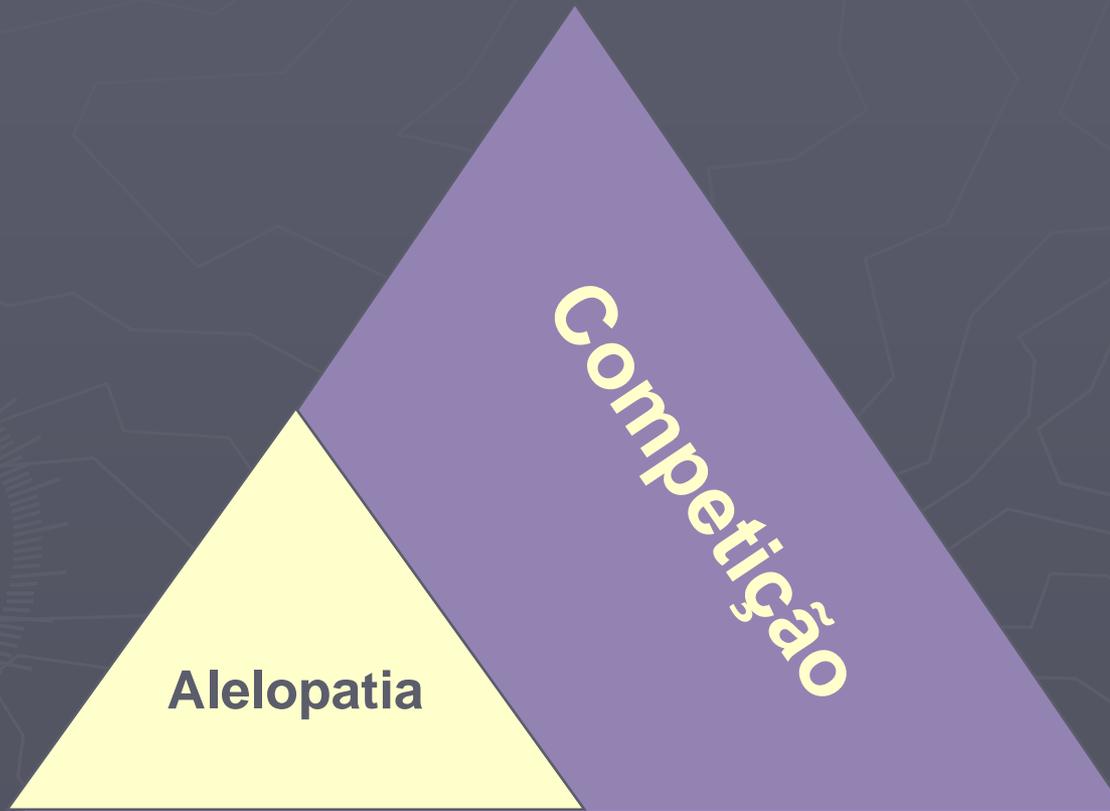
# INTERFERÊNCIA DIRETA

## COMPETIÇÃO

- Se estabelece quando as plantas passam a recrutar do ambiente os mesmos recursos necessários ao crescimento e desenvolvimento, como a água, nutrientes, luz, etc.
- É mais acentuada quanto mais próximas ecologicamente forem as espécies

# INTERFERÊNCIA DIRETA

planta x planta



# ALELOPATIA

Termo cunhado em 1937 por Hans Molisch  
(*allelo* = mútuo, *pathos* = prejuízo)

" Interações bioquímicas  
estimulatórias ou inibitórias  
entre plantas, incluindo  
microorganismos"

# RICE (1974)

"Qualquer efeito prejudicial, direto ou indireto, de uma planta sobre outra pela produção de compostos químicos que são liberados no meio"

# Sociedade Internacional de Alelopatia (1996)

"Qualquer processo envolvendo metabólitos secundários produzidos pelas plantas e microorganismos que influencia o crescimento e o desenvolvimento de sistemas agrícolas e biológicos (incluindo animais)"

WHITTAKER (1978)

COMPOSTOS QUÍMICOS = ALELOQUÍMICOS

ALELOQUÍMICOS AFETAM:

- ESTADO SANITÁRIO
- CRESCIMENTO/DESENVOLVIMENTO
- COMPORTAMENTO OU BIOLOGIA DE POPULAÇÕES



# Relação das principais espécies

Posição	Planta daninha	Σ I.R.
1º	Tiririca	1299
2º	<u>Corda-de-viola (IPOHF)</u>	249
3º	<u>Corda-de-viola (IPONI)</u>	177
4º	Erva-de-andorinha	158
5º	Caruru	137
6º	Malva vermelha	132
7º	<u>Corda-de-viola (IPOQU)</u>	125
8º	Maria pretinha	100
9º	Assa peixe	95
10º	Buva	83
11º	Guaco	78
12º	Capim-marmelada	41
13º	Leiteiro	40
14º	Capim-colchão	23
15º	<u>Corda-de-viola (MRRCI)</u>	21

# Relação das principais espécies

Subgrupo	Categorias	Nº de registros	Nível de infestação média
A1	BRADC	11	81,8%
A2	CYPSS	26	67,7%
A3	CORDAS	33	49,0%
A4	BRAPL	7	22,9%
A5	AMASS	9	30,0%
A6	ARHHY	7	41,1%
A7	EPHHL	6	36,7%
A8	POROL	5	48,6%
A9	PANMA	1	90,0%
A10	SIDSS	9	37,2%
A11	DIGSS	8	81,4%
A12	PANMA+CYPSS/DIGSS/CORDAS	8	17%+(9,4%/11,4%/4%)
A13	CYPSS+DIGSS	12	29,2%+37,1%
A14	DIGSS	11	33,6%

# FONTES DE ALELOQUÍMICOS

TODAS AS PARTES DA PLANTA

QUANTIDADE E COMPOSIÇÃO  
VARIAM COM A ESPÉCIE

Geralmente: folhas > concentração

# FATORES QUE AFETAM A PRODUÇÃO DE ALELOQUÍMICOS

TODOS OS QUE AFETAM AS ROTAS METABÓLICAS DO ÁCIDOS CHIQUÍMICO, MALÔNICO E MEVALÔNICO

CO<sub>2</sub>

Photosynthesis

**PRIMARY CARBON METABOLISM**

Erythrose-4-phosphate

Phosphoenolpyruvate

Pyruvate

3-Phosphoglycerate (3-PGA)

Tricarboxylic acid cycle

Acetyl CoA

Aliphatic amino acids

Shikimic acid pathway

Malonic acid pathway

Mevalonic acid pathway

MEP pathway

Aromatic amino acids

Nitrogen-containing secondary products

Phenolic compounds

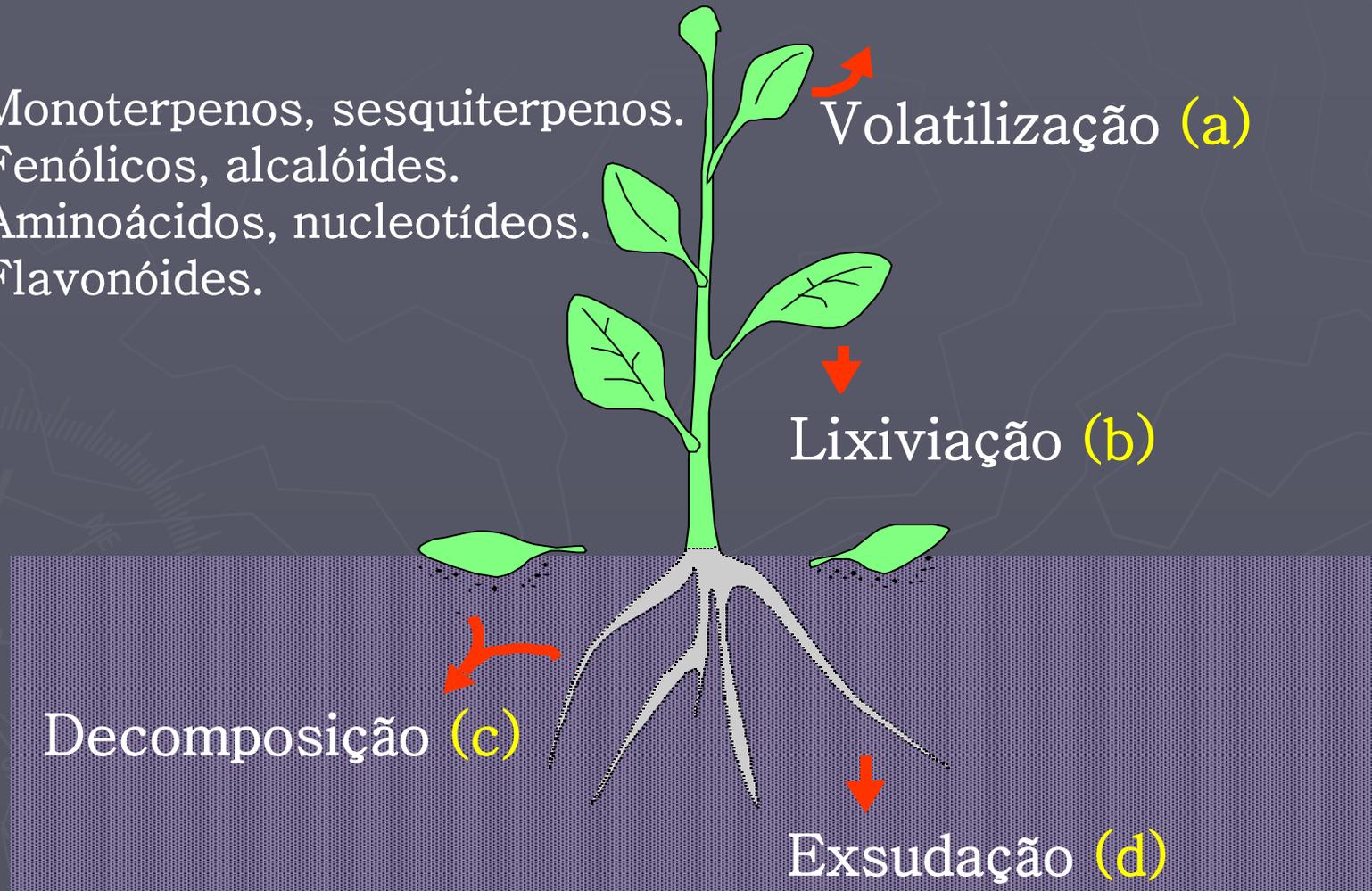
Terpenes

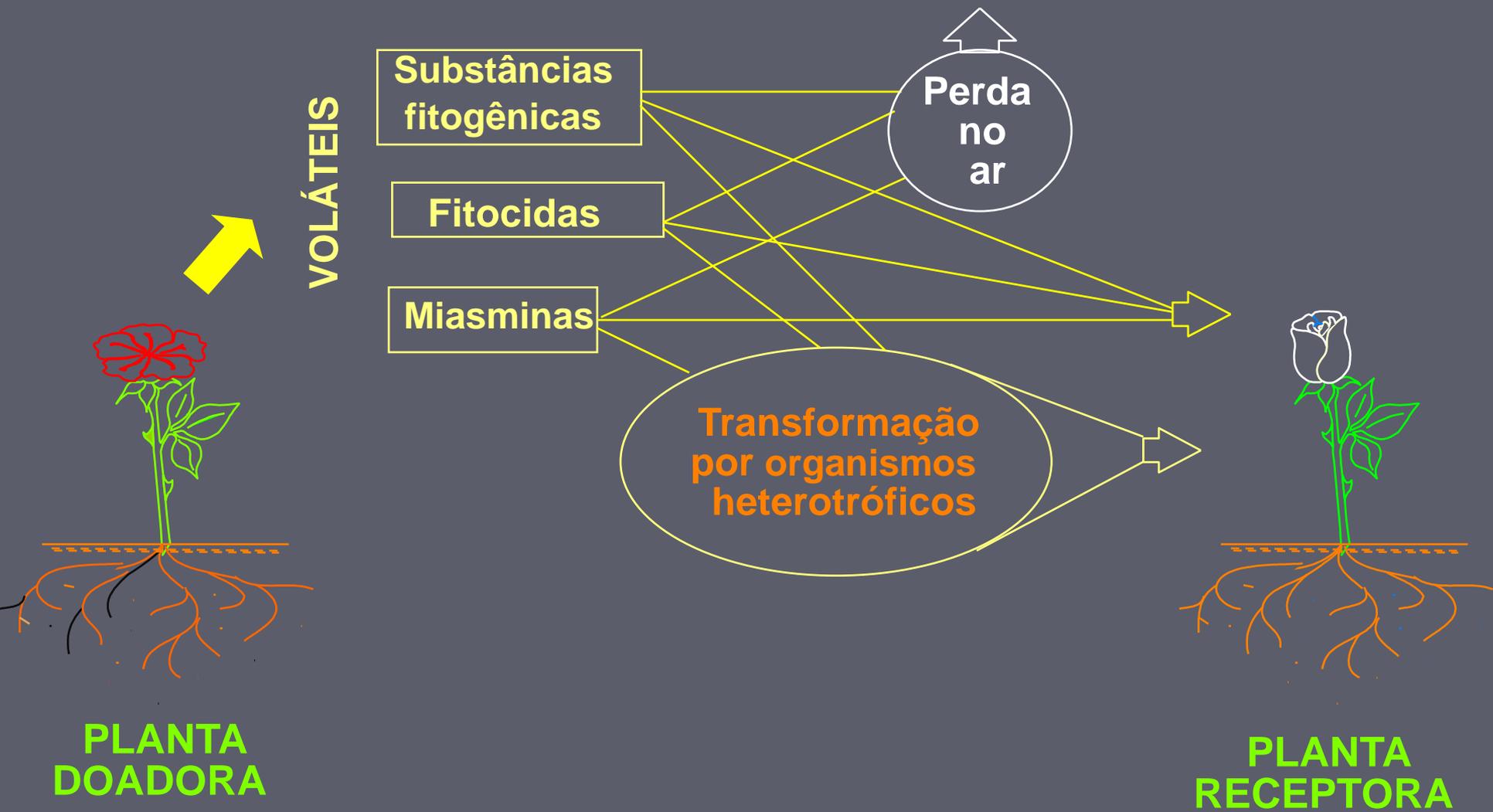
**SECONDARY CARBON METABOLISM**

# ALELOQUÍMICOS

## VIAS DE LIBERAÇÃO

- a) Monoterpenos, sesquiterpenos.
- b) Fenólicos, alcalóides.
- c) Aminoácidos, nucleotídeos.
- d) Flavonóides.





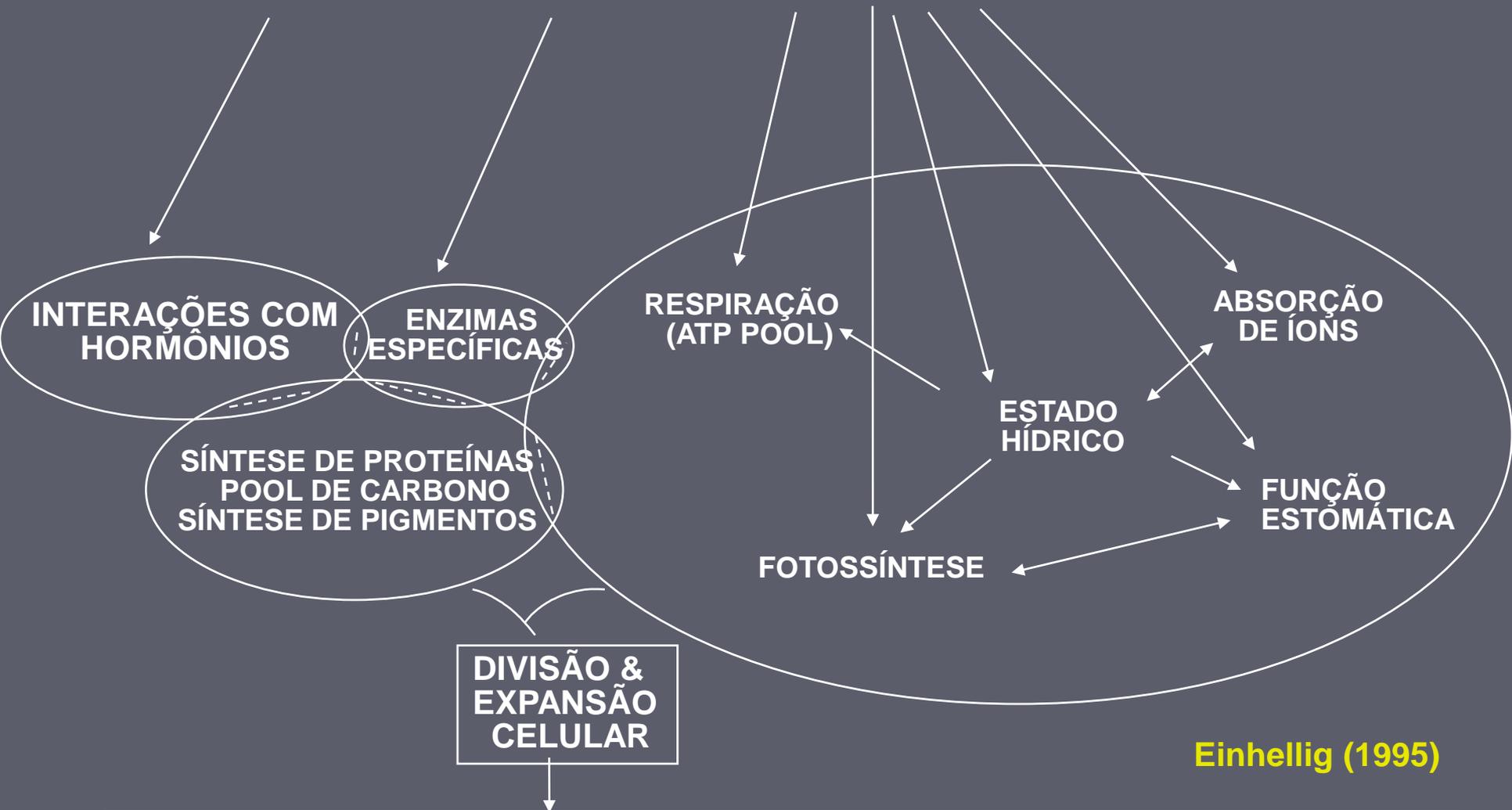




# MODO DE AÇÃO DOS ALELOQUÍMICOS

# PERTURBAÇÕES NA MEMBRANA

(LIGAÇÃO - TRANSPORTE - ENERGÉTICA - ESTRUTURA)



Einhellig (1995)

**INIBIÇÃO DO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA PLANTA**

# MECANISMOS DE AÇÃO

Novos modos de atuação estão sempre sendo relatados ou investigados

Até o momento, os aleloquímicos aparentemente atuam em alvos moleculares distintos dos herbicidas comerciais

# MECANISMOS DE AÇÃO

As quinonas juglona e sorgoleone inibem a evolução de  $O_2$  no cloroplasto e afetam funções mitocondriais:  
categoria C (HRAC)

# MECANISMOS DE AÇÃO

Algumas lactonas sesquiterpênicas como artemisina, dihidrozaluzanim C e isozaluzanim C estão sendo estudadas:

Artemisina: afeta a evolução de  $O_2$  mitocondrial, inibe a mitose e gera fases mitotóticas aberrantes

Inibe crescimento radicular e causa clorose

Dihidrozaluzanim C: 0,1 – 1 mM afeta a integridade das membranas e a biossíntese de aminoácidos: *novo mecanismo de ação*

# Aplicações Práticas da Alelopatia

- ✓ Uso de plantas alelopáticas
- ✓ Identificação de compostos
- ✓ Síntese de compostos

# Aplicações Práticas da Alelopatia

- ✓ Uso de plantas alelopáticas
- ✓ Identificação de compostos
- ✓ Síntese de compostos

# COBERTURA VIVA

## CULTURAS SUFOCANTES



Resultado das interações competitivas e alelopáticas entre plantas (inter e intraespecíficas)



Milheto (*Pennisetum glaucum*)

# Culturas sufocantes - milho

Acessos	% Supressão	
	Total	<i>C. album</i>
HHB-68	72,3	73,0
8804Ax833-2	71,1	72,6
HHB-60	57,5	57,3
81AxHC-4	38,5	41,1
HHB-67	32,6	74,8
HHB-50	18,0	52,4

# Culturas sufocantes

Com o melhoramento genético, pode-se obter cultivares que auxiliem no manejo das plantas daninhas

Alteração na arquitetura e vigor

# Culturas alelopáticas

A manifestação dos efeitos vai depender do genótipo, do estágio de desenvolvimento e das condições ambientais

# Culturas alelopáticas



Sorgo: ácidos *p*-hydroxybenzóico, clorogênico e *p*-hidroxibenzilaldeído (produtos da quebra enzimática do glicosídeo cianogênico - durrin), *p*-benzoquinona - sorgoleone

# Efeito do sorgoleone a 0,6 kg i.a./ha na matéria fresca de PD (g)

Espécies	Test.	Trat.	% Inib.
<i>Solanum</i> spp.	2,2	0,2	90
<i>A. retroflexus</i>	5,8	1,1	82
<i>Chenopodium album</i>	11,9	8,8	26
<i>Portulaca oleracea</i>	2,3	1,1	53
<i>Sena obtusifolia</i>	1,4	0,5	60

Czarnota et al. (2001)

# Uso prático das culturas

Explorar a potencialidade da cultura:

- Rotação de culturas
- Culturas intercaladas
- Cobertura morta
  - ✓ Plantio direto
  - ✓ Cultivo mínimo

# Cobertura morta

## EFEITO SUPRESSOR

Somatório de efeitos:

- ✓ Físicos
- ✓ Químicos
- ✓ Biológicos



# Cobertura morta

## EFEITOS QUÍMICOS

- Alelopatia
  - ✓ Lixiviação
  - ✓ Decomposição

# ALELOPATIA - CANA

Auto alelopatia em cana-soca em Taiwan  
redução da brotação e da produção pela  
decomposição das folhas

Ácidos fenólicos (5), fórmico, acético, oxálico,  
malônico, tartático e málico

Presença de *Fusarium oxysporum* na rizosfera



menor crescimento

# ALELOPATIA - CANA

Os ácidos hidroxâmicos = metabólitos secundários em gramíneas:

- cultivadas e selvagens
- em sementes, plântulas e plantas adultas de cereais como trigo, milho ou centeio
- espécie, idade da planta, temperatura, fotoperíodo e órgão analisado

# ALELOPATIA - CANA

A atividade alelopática dos ácidos hidroxâmicos é a capacidade de se ligarem aos receptores da auxina nas plantas

- impedido o crescimento das mesmas;
- inibindo a fotossíntese nos cloroplastos

# ALELOPATIA - CANA

- Singh et al. (2003) isolaram de cana 'Col K 8102':
  - 2,4-dihidroxi-1,4-benzoxazin-3-one (DIBOA)
  - Benzoxazolin-2-one (BOA)
  - Efeito inibitório a 0,45 e 1,25 mM

# ALELOPATIA - CANA

- A susceptibilidade toxicológica das plantas dicotiledôneas ao BOA e DIBOA é superior à das monocotiledôneas em cerca de 30% (Barnes e Putnam, 1987).
- Ao testar o efeito de BOA e de herbicidas (linuron e fluometuron), os autores concluíram que também BOA é muito ativo quando comparado aos herbicidas.

# ALELOPATIA - CANA

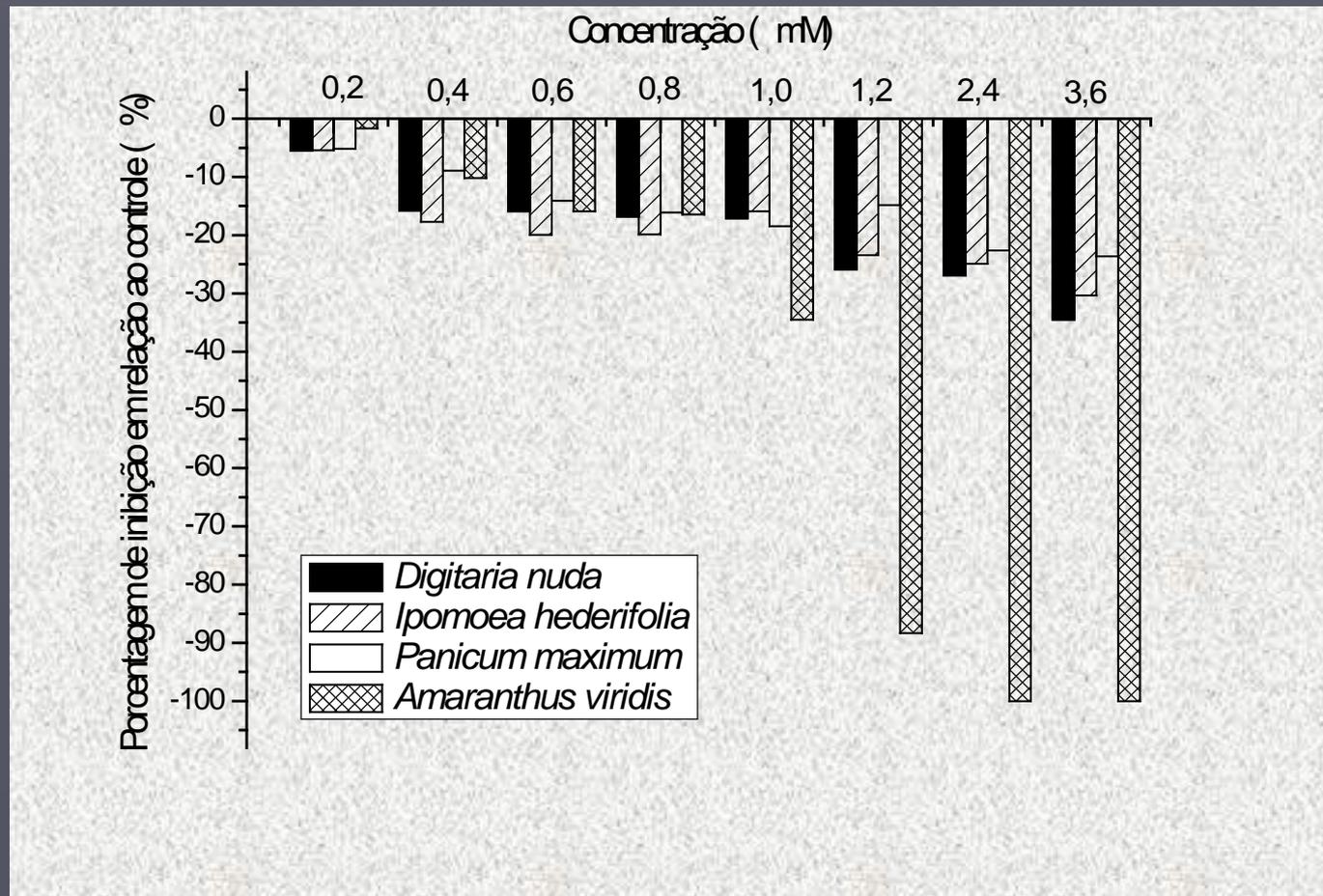
SINGH et al. (2009) - DIBOA e BOA:

- [ ] > 0,3 mM reduziram a brotação de cana-de-açúcar (>0,6 mM = inibição)
- reduziram o número de folhas por planta, altura da planta e massa seca da cana-de-açúcar
- [ ] < 0,3 mM não tiveram efeitos sobre a germinação de trigo e mostarda (> 0,5 mM = inibição; 90% de inibição em feijão-mungo).

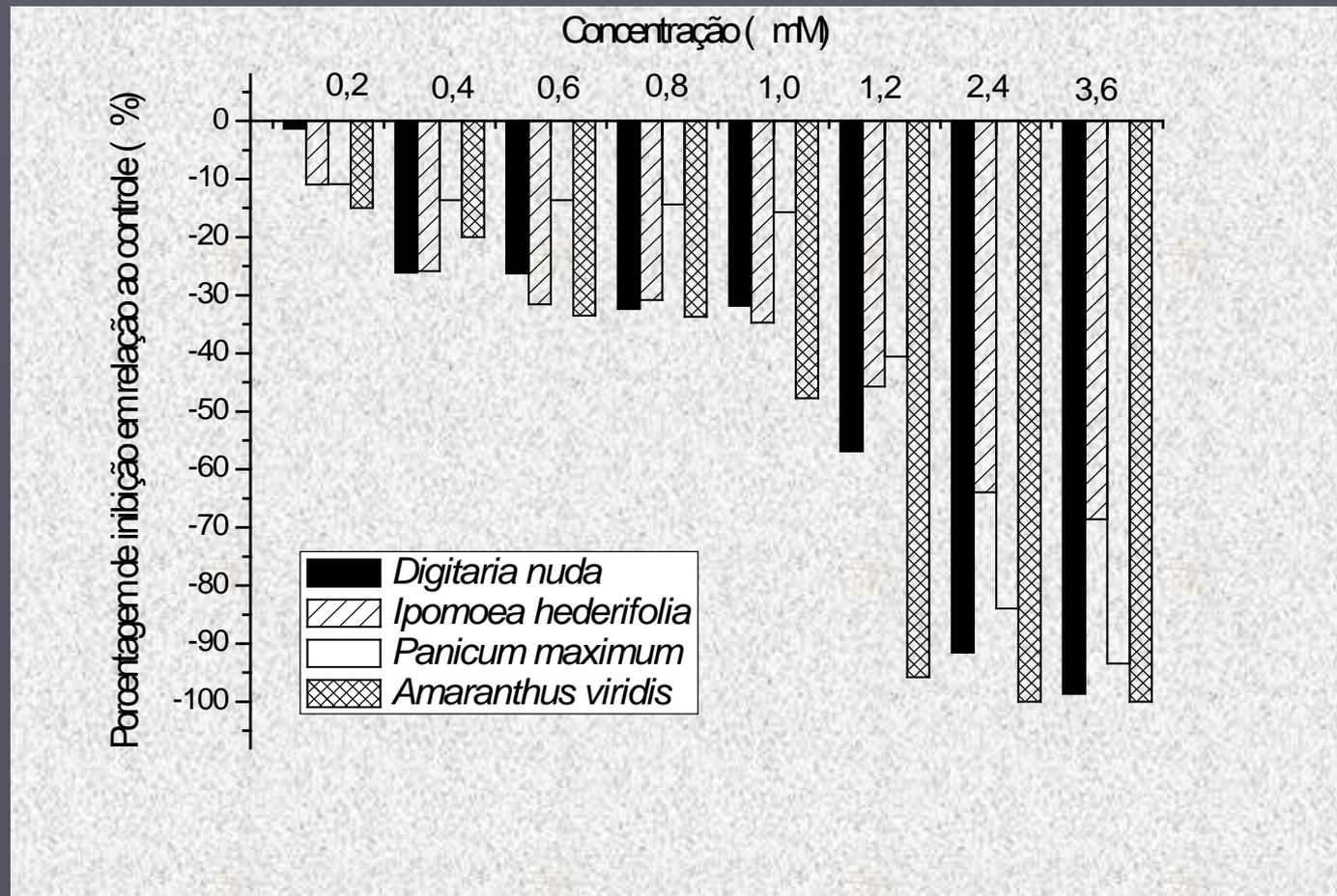
# Inibição da germinação de plantas daninhas pelo BOA (Yamauti et al., 2012)

Concentração (mM)	Germinação (%)			
	<i>Amaranthus viridis</i>	<i>Ipomoea hederifolia</i>	<i>Panicum maximum</i>	<i>Digitaria nuda</i>
Controle	54,75 a	21,71 a	78,85 a	23,75 a
0,2	37,75 ab	19,62 a	77,50 ab	22,57 ab
0,4	37,00 ab	19,50 a	78,28 abc	21,25 ab
0,6	22,71 bc	19,42 a	70,00 abc	20,75 ab
0,8	21,00 bc	17,00 a	65,25 c	20,00 abc
1,0	11,75 cd	17,00 a	67,25 bc	20,50 abc
1,2	0,25 d	16,50 a	66,28 bc	15,14 bc
2,4	0,00 d	12,50 a	46,28 c	12,50 c
3,6	0,00 d	12,50 a	45,71 c	4,25 d
CV (%)	59,00	40,00	11,42	27,28
DMS	19,58	11,23	11,97	7,82

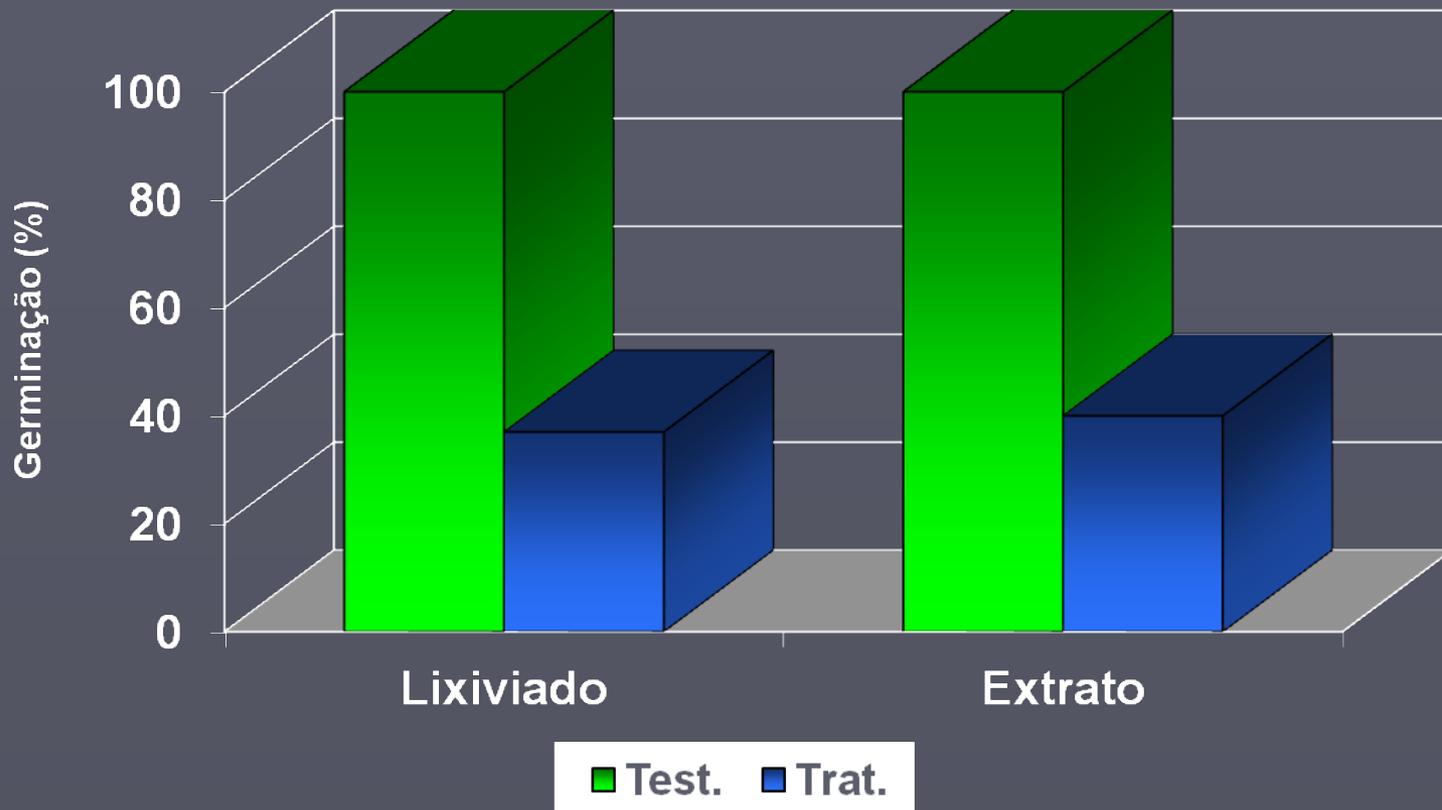
# Inibição do crescimento da PA de plantas daninhas pelo BOA (Yamauti et al., 2012)



# Inibição do crescimento do SR de plantas daninhas pelo BOA (Yamauti et al., 2012)



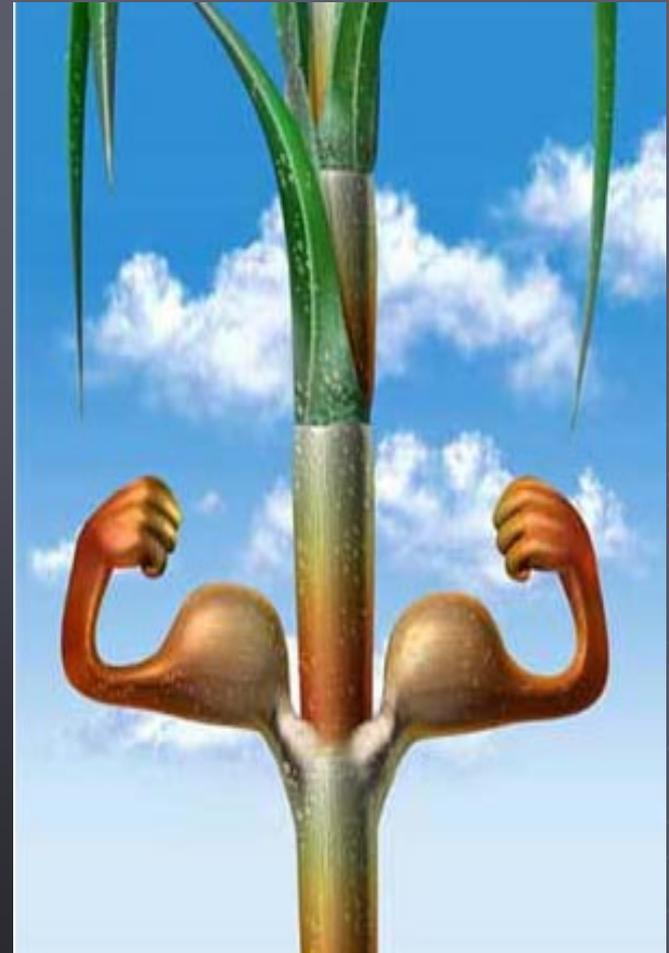
# Inibição da germinação de *Bidens pilosa* pela cana (Lorenzi, 1984)



# Culturas alelopáticas

Com a manipulação genética, pode-se obter cultivares que se defendam naturalmente da interferência imposta pelas plantas daninhas ou que atuem como fonte de aleloquímicos

**Transgênicos**



# TRANSGÊNICOS

Podem ser empregados de duas formas:

- Para a produção de herbicidas
- Para aumentar o potencial alelopático da cultura

# Culturas alelopáticas transgênicas

- Há formas naturais de alelopatia no banco de germoplasma de pepino, centeio, arroz e sorgo
- IRRI está estudando os genes envolvidos na alelopatia do arroz (IAC 165 x *E. cruz-galli*)

# Culturas alelopáticas transgênicas

- ✓ Através do conhecimento das vias biossintéticas, é possível identificar qual passo enzimático é limitante.
- ✓ Se for possível a remoção desta limitação (expressão gênica), espera-se maior produção do composto ou, inclusive, sua maior liberação

# Culturas alelopáticas transgênicas

Uma outra estratégia para aumentar a produção de aleloquímicos é aumentar o número de órgãos da planta ou do tipo de célula onde o composto é produzido

**Ex.** aumentar o número de raízes ou de pelos radiculares

# Culturas alelopáticas

Um dos objetivos recentes das pesquisas em alelopatia é a obtenção de cultivares alelopaticamente ativas

Por outro lado, seria muito mais interessante e barato usar o aleloquímico diretamente, como um herbicida

# Culturas alelopáticas

É possível ainda que microorganismos sejam geneticamente manipulados para a produção de fitotoxinas

Ex. Bialafós (*Streptomyces* spp.)

# Culturas alelopáticas

A principal limitação no emprego desta técnica é que um número muito limitado de vias bioquímicas para a síntese de fitotoxinas foi clonado

**Ex. DIMBOA e DIBOA**

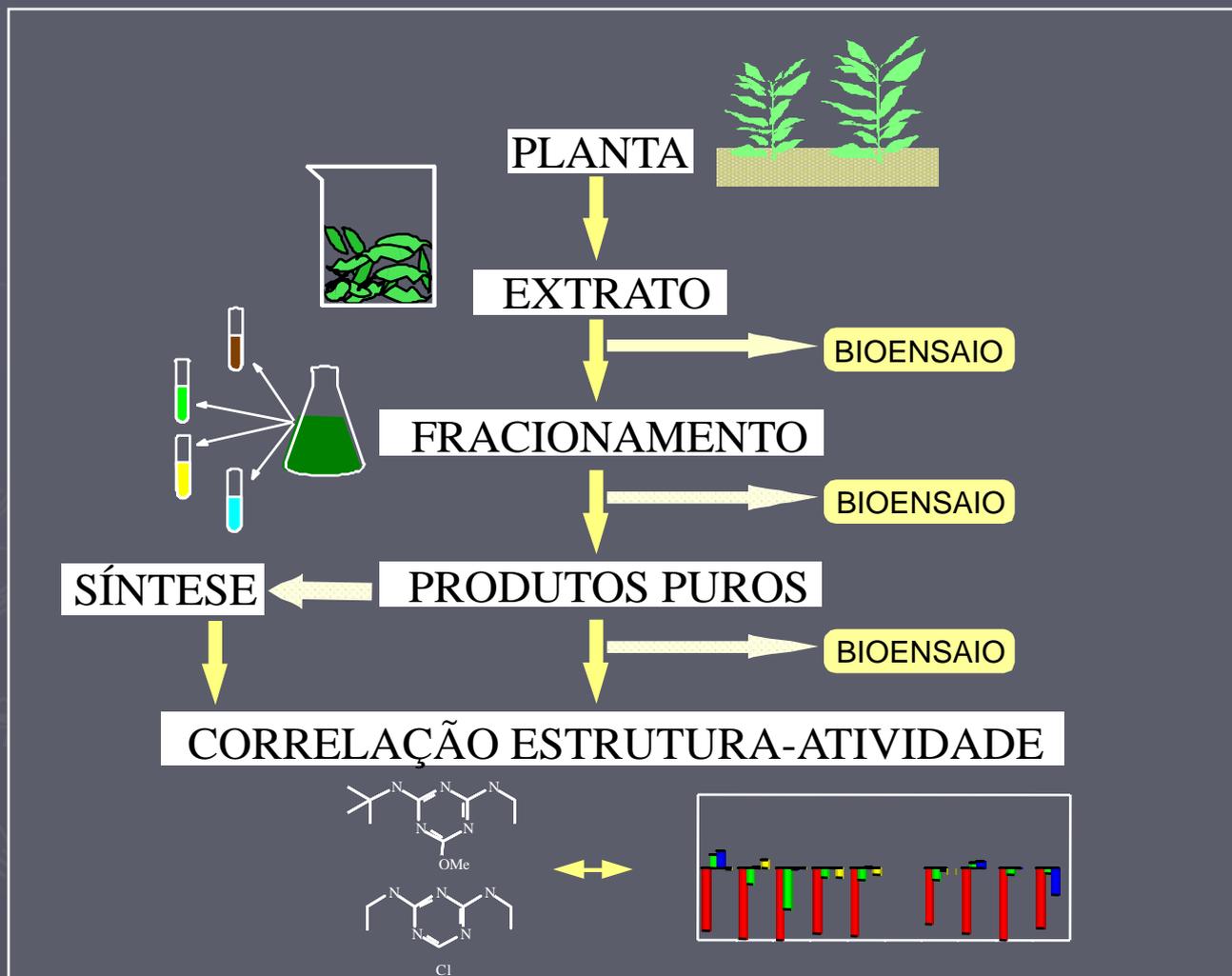
# Culturas alelopáticas

A biossíntese de ácidos hidroxâmicos (DIBOA) em centeio e milho, e as enzimas chaves e os genes envolvidos, já são conhecidos

# Aplicações Práticas da Alelopatia

- ✓ Uso de plantas alelopáticas
- ✓ Identificação de compostos
- ✓ Síntese de compostos

# ISOLAMENTO BIODIRIGIDO

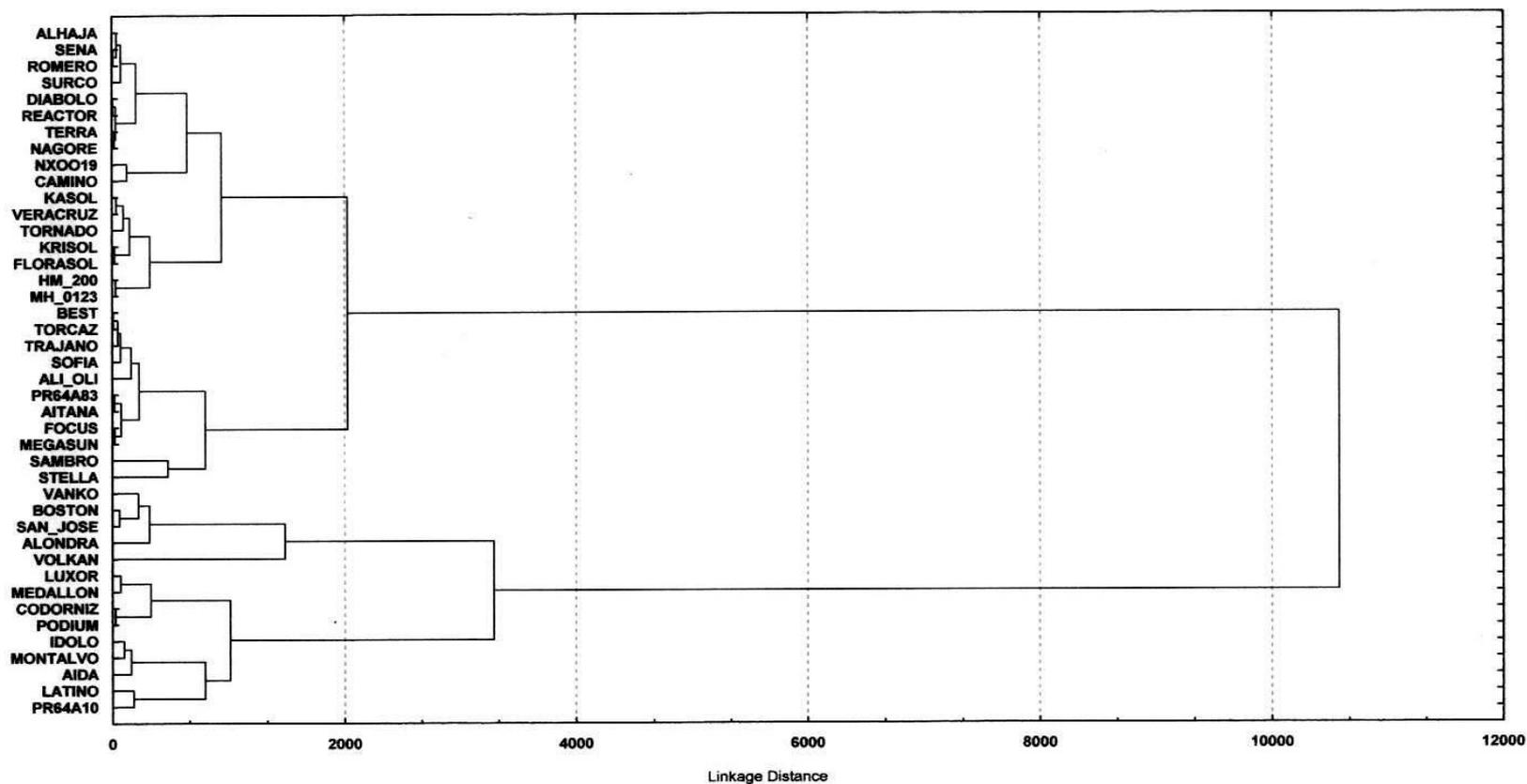




# ENSAIOS DE BIOATIVIDADE VARIETADES DE GIRASSOL



Agrupamiento 42 Variedades de Girasol  
Datos Coleóptilos

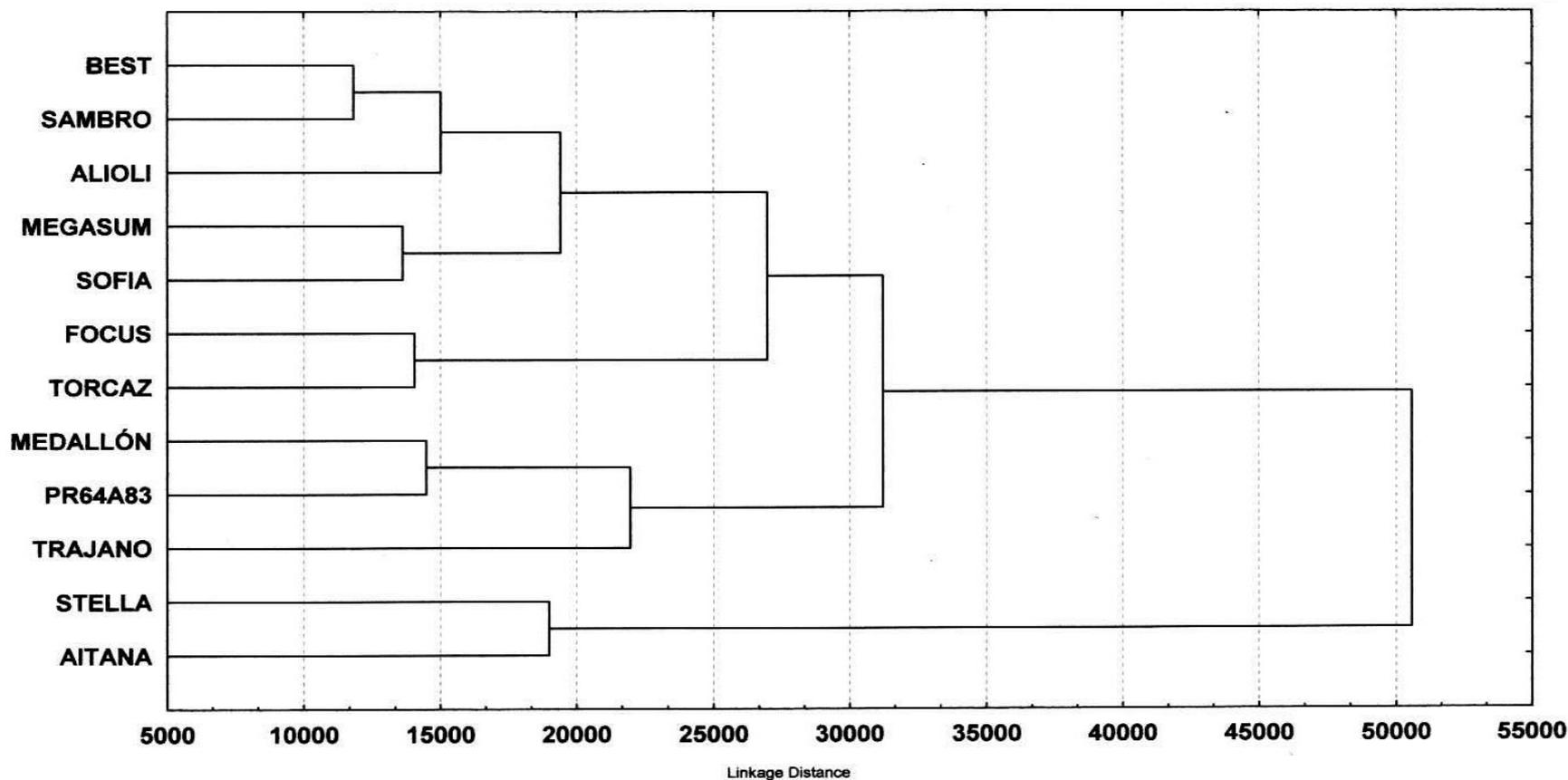


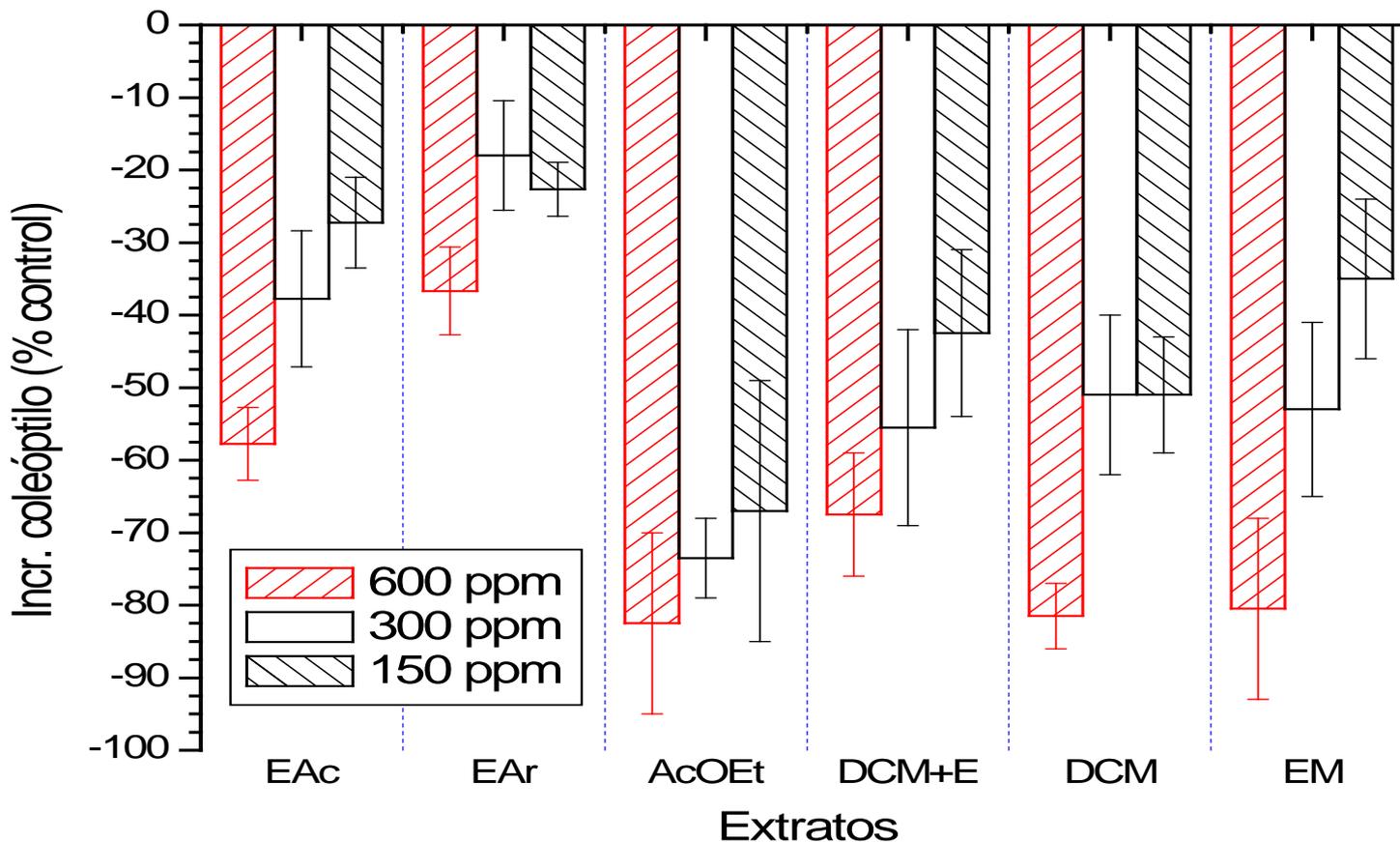


# ENSAIOS DE BIOATIVIDADE VARIEDADES DE GIRASSOL



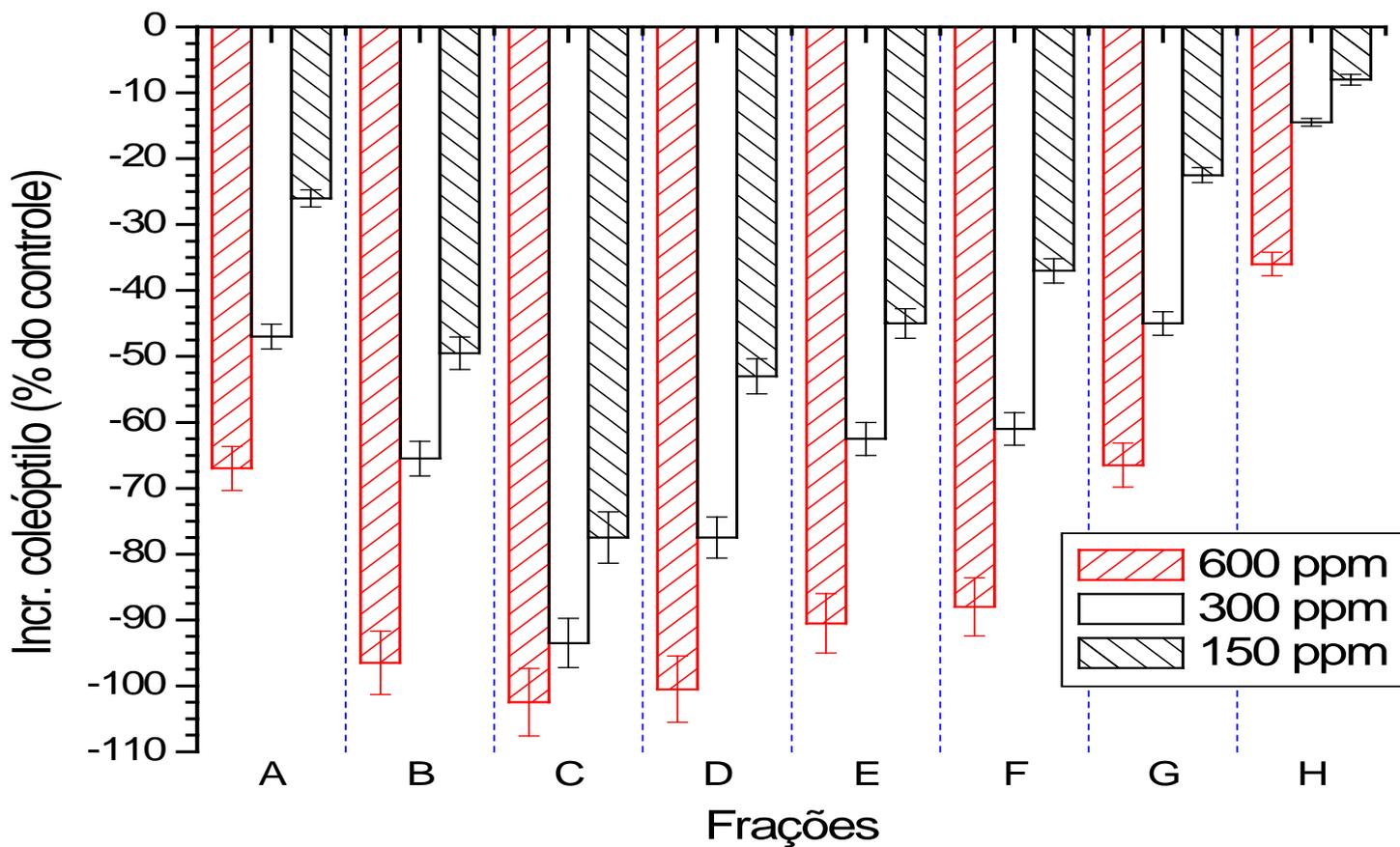
**Agrupamiento 12 Variedades de Girasol**  
**Datos Germinación y Crecimiento**







# ENSAIOS DE BIOATIVIDADE VARIEDADES DE GIRASSOL



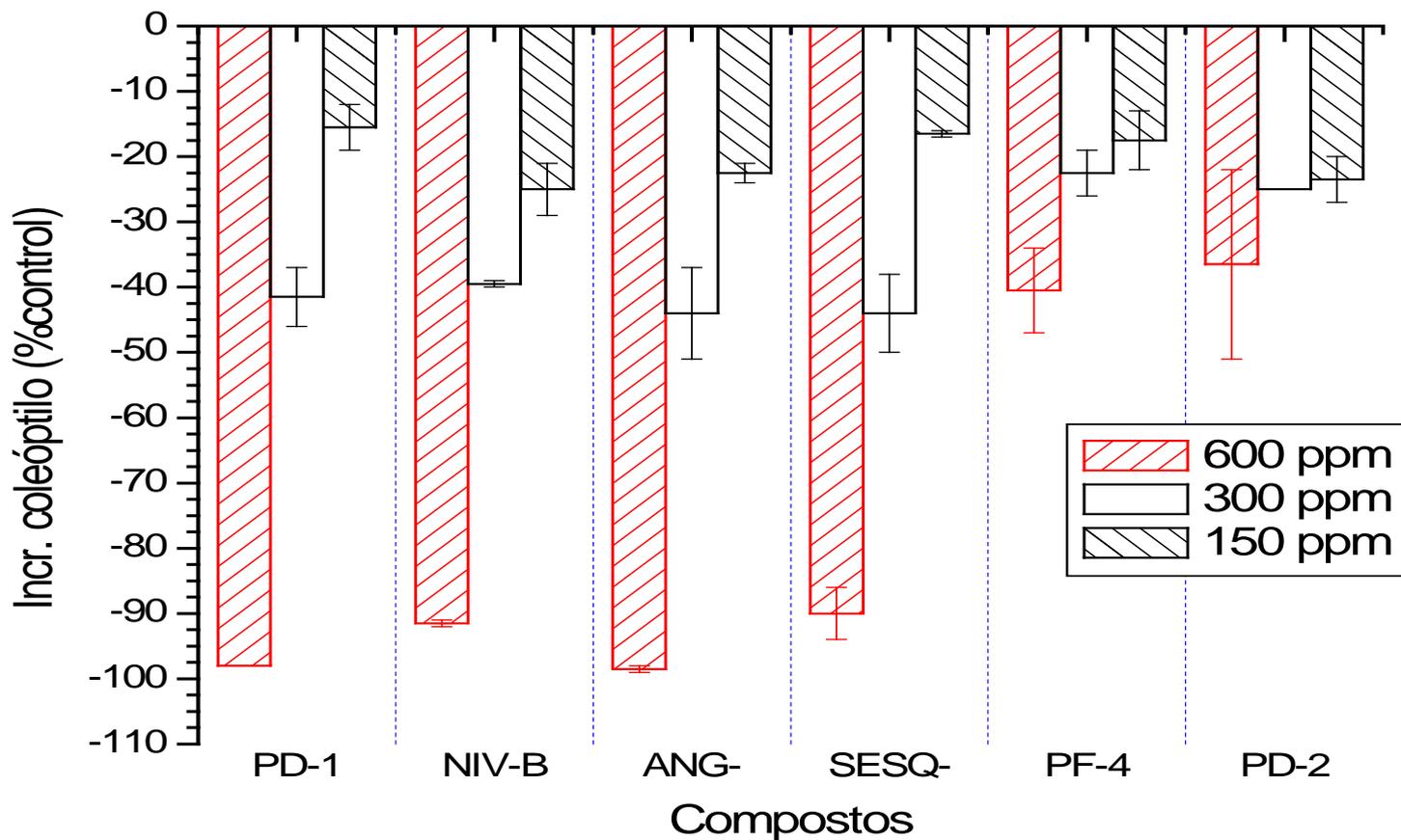


# ENSAIOS DE BIOATIVIDADE VARIEDADES DE GIRASSOL



Nº	Composto	Quantidade (mg)	Nº	Composto	Quantidade (mg)
1	Annuinona "A"	6	10	Tambulina	100
2	Annuinona "E"	20	11	Produto Novo	30
3	4,5-Dihidroblumeol "A"	3	12	Niveusina "B"	50
4	(3S,5R,6S,9R)-3,6-dihidroxi-5,6-dihidro- $\beta$ -ionol	5	13	15-hidroxi-3-deshidrodesoxifruticina	70
5	Ácido kaur-16-em-19-óico	10	14	11 $\beta$ H-dihidrochamissonina	10
6	Ácido 17-hidroxikauranóico A	5	15	8- $\beta$ -angeloiloxicumambranólida	10
7	Ác. angeloilgrandiflorico	3	16	Produto Novo -1	5
8	Laricirresinol	5	17	Leptocarpina	5
9	Pinorresinol	15	18	Dímero – PD 2	60

PD = annuolida "H", PD1 = helivypolida F e o dímero PD2 = helivypolida G



PD1 = helivypolida F e o dímero PD2 = helivypolida G, niveusina B (NIV-B), 15-hidroxi-3-deshidrodesoxifruticina (SESQ), 11  $\beta$  H-dihidrochamissonina (PF-4) e 8- $\beta$ -angeloiloxicumambranólida (ANG),

# Identificação de aleloquímicos

Ele ou seu sintético  
poderão ser utilizados  
como herbicida natural

# Seleção de aleloquímicos

A forma mais óbvia de se utilizar um aleloquímico como um herbicida é aplicá-lo diretamente como um herbicida sintético

# Seleção de aleloquímicos

São poucos os aleloquímicos usados diretamente como herbicidas:

- ▶ Bialafós - Japão
- ▶ Glufosinato, uma versão sintética da fosfinotricina (transgênicas)
- ▶ Ácido pelargônico - faz. orgânicas

# Seleção de aleloquímicos

A maioria dos compostos isolados em laboratório e que possuem ação herbicídica (atuam em concentrações milimolares em placas de Petri), possuem fraca ação no solo ou quando aplicados em plantas sob condições de campo

# Seleção de aleloquímicos

- Monoterpeno 1,8-cineole e seu derivado comercial - *cinmethylin*
- Considerado primeiro herbicida alelopático comercial (Argold).
- Não é produto natural, mas sua estrutura é muito similar ao natural.
- Mecanismo de ação ainda é desconhecido e parece ser novo.

# Seleção de aleloquímicos

- Os herbicidas comerciais tricetônicos, como sulcotrione e mesotrione, são derivados de uma fitotoxina estruturalmente similar, a leptospermone, uma constituinte de *Calistemon citrinus*
- Ambas inibem a atividade da *p*-hidroxifenilpiruvato dioxigenase .

# Seleção de aleloquímicos



# Seleção de aleloquímicos

- Tentoxina, isolado de *Alternaria alternata* com excelente atividade no solo; atua em diversos sítios e controla uma gama de plantas daninhas infestando as culturas da soja e milho .
- Hidantocidina, produzido por *S. hygrosopicus*, atua como um potente inibidor da adenilsuccinato sintetase
- Sorgoleone e vários análogos são estruturalmente similares a plasfoquinona, inibem o FSII

# Seleção de aleloquímicos

- Triclorina A (*I. tricolor*) potente desacoplador.
- Brassinoesteróides - isolado de diversos vegetais. Nova classe de hormônio vegetal ( $10^{-10}$  M).
- Grupo de diterpenos - guassinóides (Simaroubaceae) -  $10^{-5}$  M, atuam sobre a NADH-oxidase
- Lactonas sesquiterpênicas -  $10^{-6}$  a  $10^{-9}$  M

# Seleção de aleloquímicos

- Grande variedade de aleloquímicos: traçar estratégias para a escolha de candidatos a herbicidas naturais.
- Duas estratégias:
  - a) testar produtos que tenham sido isolados anteriormente para outros propósitos e
  - b) isolar produtos naturais guiado por bioensaios, a partir de plantas selecionadas por suas características etnobotânicas.

# Seleção de aleloquímicos

Portanto, o isolamento de novos compostos é talvez a melhor aproximação ao descobrimento de herbicidas naturais e, com eles, novos sítios de ação que poderão ter valor comercial

# Seleção de aleloquímicos

Há milhares de potentes fitotoxinas naturais, mas poucas de uso comercial.  
Por que?

- Síntese ser extremamente cara
- Meia vida ser extremamente curta
- As propriedades físico-químicas não permitirem que eles sejam bem absorvidos e/ou translocados na planta alvo

# Vantagens dos aleloquímicos

- Apresentam alta variabilidade estrutural.
- Atuam de forma seletiva e em baixas concentrações.
- Oferecem a possibilidade de caracterizar novos alvos celulares e novos mecanismos de ação.
- Cumprem os requisitos agronômicos, ambientais e econômicos referentes à agricultura sustentável.

Petsko et al. (1999).

# Perspectivas para o uso da alelopatia

- Intensificar o uso de culturas sufocantes e/ou alelopáticas no manejo de plantas daninhas;
- Explorar o uso de coberturas mortas, isoladas ou em mistura com herbicidas residuais;
- Explorar a biodiversidade brasileira visando a obtenção de produtos naturais com potencial de uso como defensivos agrícolas.



E é isso...

Obrigado

[plalves@fcav.unesp.br](mailto:plalves@fcav.unesp.br)

