

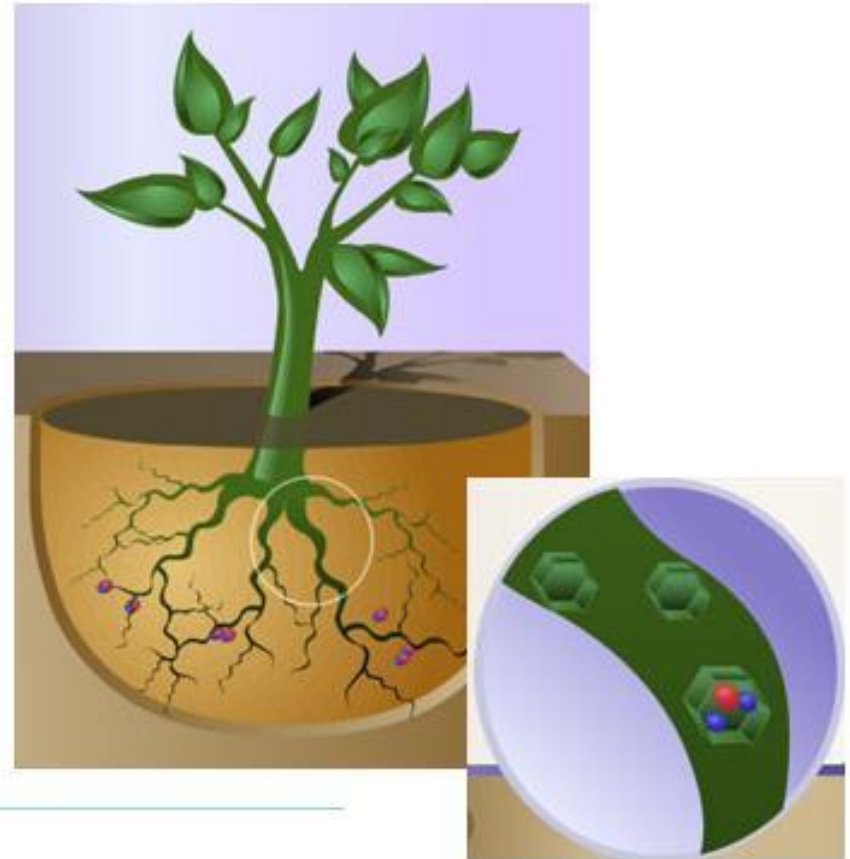
# Fitorremediação, Bioindicadores e Hiperacumulação

**Table 1: Types of Phytoremediation Systems**

Treatment Method	Mechanism	Media
Rhizofiltration	Uptake of metals in plant roots	surface water and water pumped through troughs
Phytotransformation	Plant uptake and degradation of organics	surface water, groundwater
Plant-Assisted Bioremediation	Enhanced microbial degradation in the rhizosphere	soils, groundwater within the rhizosphere
Phytoextraction	Uptake and concentration of metals via direct uptake into plant tissue with subsequent removal of the plants	soils
Phytostabilization	Root exudates cause metals to precipitate and become less bioavailable	soils, groundwater, mine tailings
Phytovolatilization	Plant evapotranspires selenium, mercury, and volatile organics	soils, groundwater
Removal of organics from the air	Leaves take up volatile organics	air
Vegetative Caps (Vegetative cover)	Rainwater is evapotranspired by plants to prevent leaching contaminants from disposal sites	soils

# Fitoextração

- Absorção dos contaminantes pelas raízes;
- Translocação para a parte aérea (biomassa);
- Metais pesados – hiperacumuladoras;



# Vantagens

- *In-situ* – não há necessidade de escavação do solo ou bombeamento da água, evitando prejuízo ao ecossistema;
- Mais barata que as tecnologias convencionais;
- Baixo impacto;
- Recuperação de metais valiosos

Tratamento	Custo (\$/ton)
Tratamento químico	75-425
<b>Fitorremediação</b>	<b>5-40</b>

Fonte: Glass, 1999

# Desvantagens



- Falta de informação sobre plantas metalófitas;
- Baixa tolerância da planta a metais;
- Disponibilidade dos metais para extração pelas raízes;
- Risco de contaminação ao longo da cadeia alimentar;

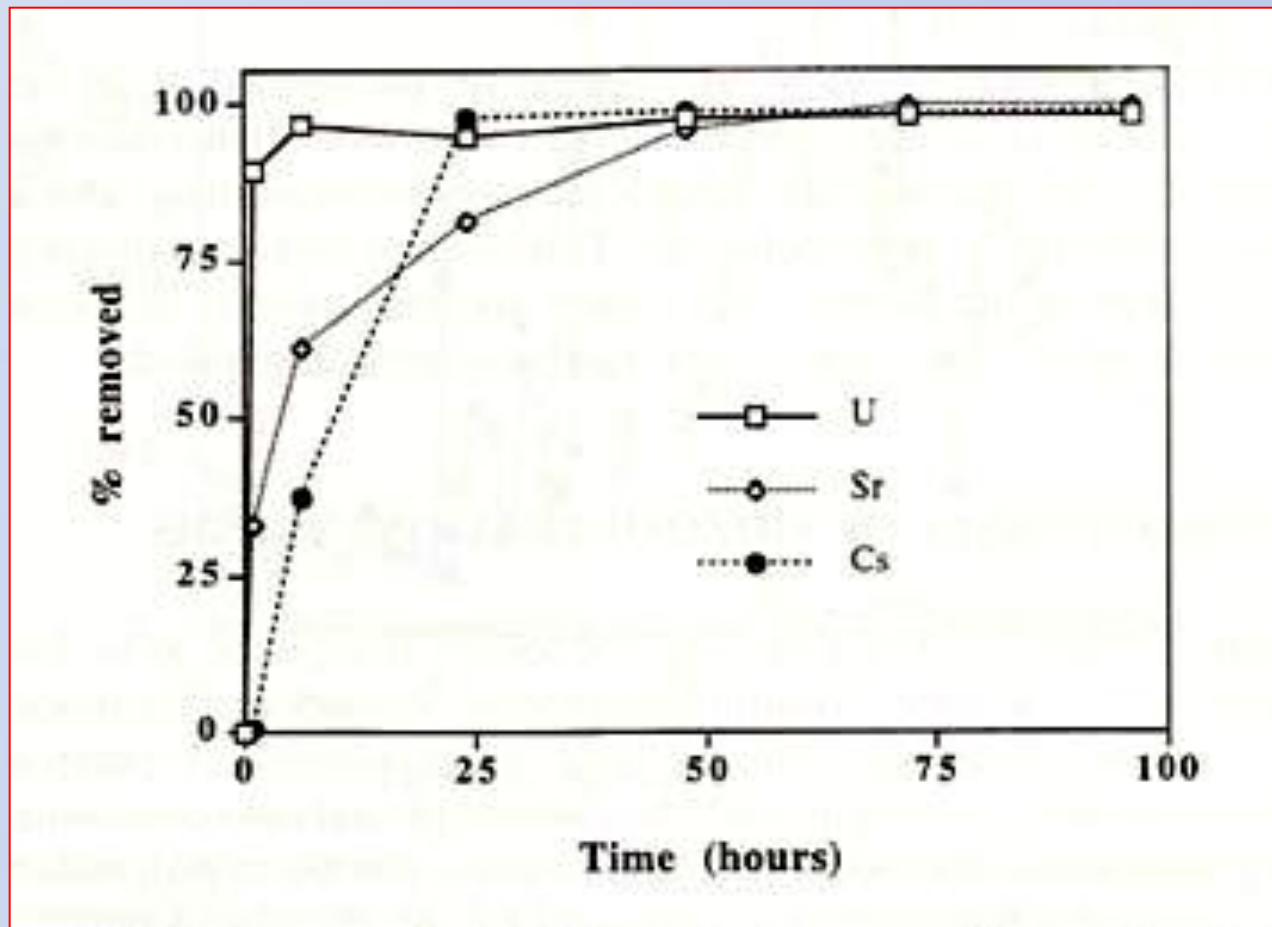
# Rizofiltração - fitofiltração

- Uso de plantas para remoção de contaminantes na água;



# RIZOFILTRAÇÃO:

Plantas terrestres foram testadas em relação à sua capacidade para concentrar  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$  da água de um lago perto da central nuclear de Chernobyl. O girassol acumula  $^{137}\text{Cs}$  nas raízes e  $^{90}\text{Sr}$  na parte aérea. Na parte aérea o girassol pode acumular  $2,5 \times 10^6$   $^{90}\text{Sr}$  Bq/kg peso seco.



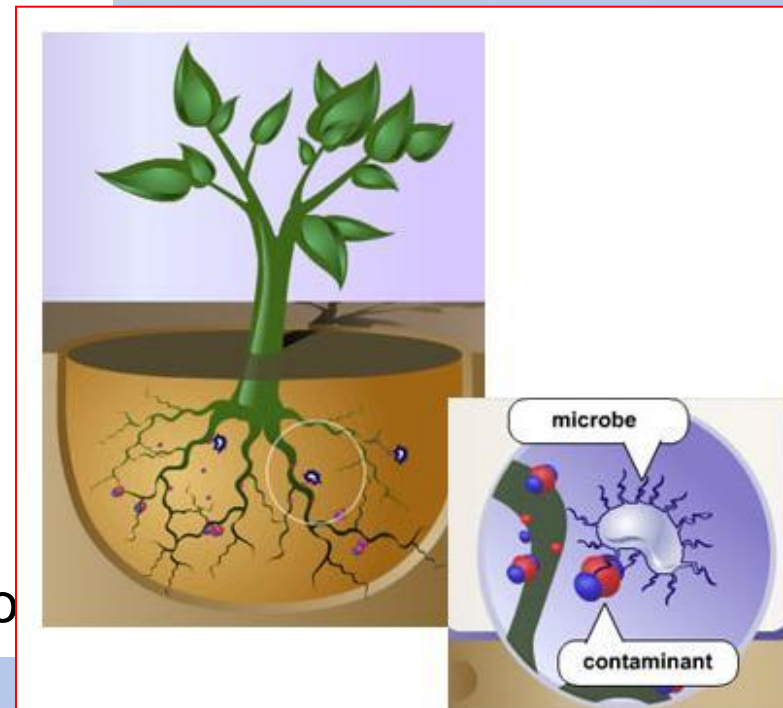
# FITO-ESTABILIZAÇÃO:

A fito-estabilização reduz o risco dos contaminantes presentes no solo **através do uso de compostos que induzem a formação de espécies químicas insolúveis** dos contaminantes.

As **formas menos solúveis** dos contaminantes metálicos são **menos susceptíveis a lixiviação** e menos interativas do ponto de vista biológico.

A **fito-estabilização não remove os contaminantes do solo, minimiza os efeitos tóxicos dos metais** – estratégia protetora. Reduz biodisponibilidade.

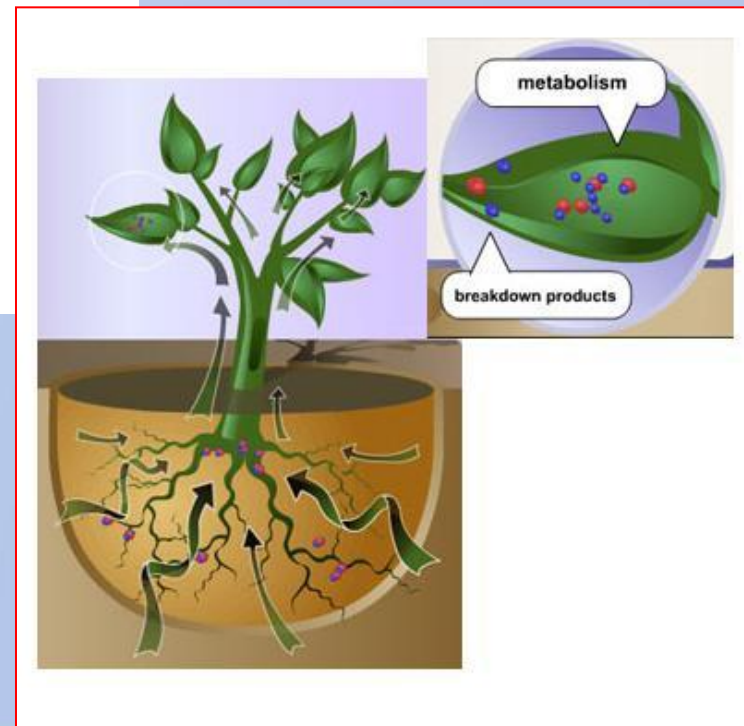
Produção de quelantes, enzimas, exsudato





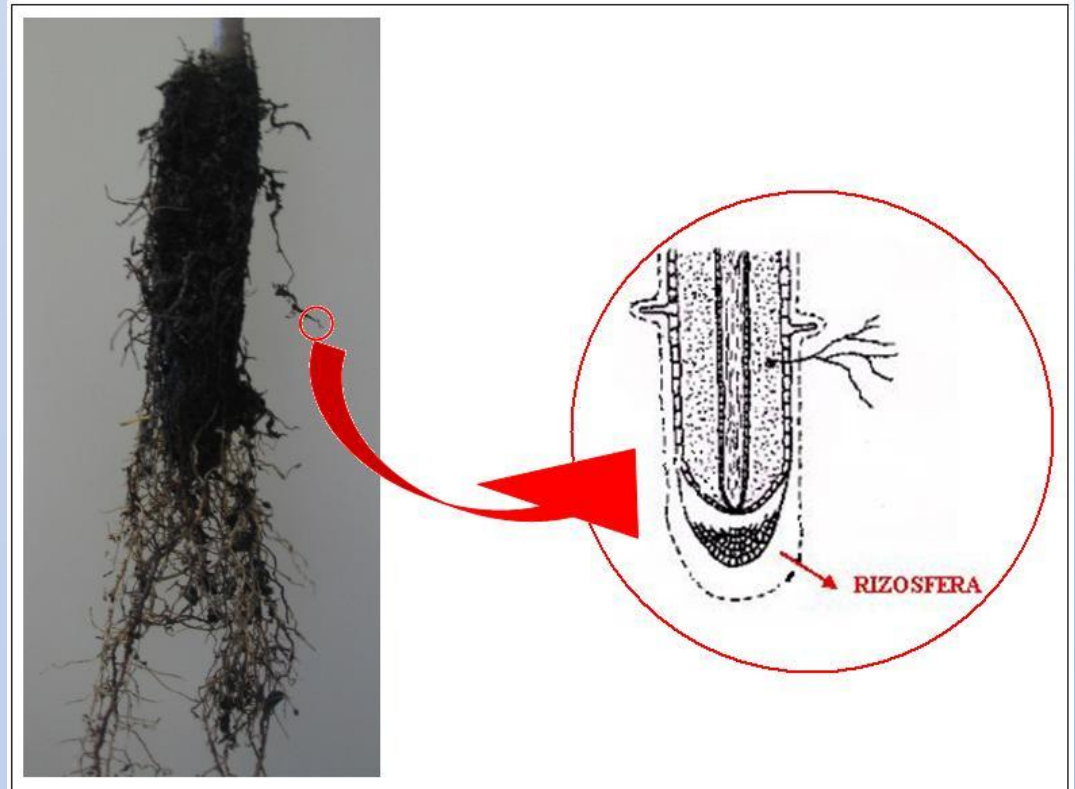
# Fitodegradação – fitotransformação

- Quebra dos contaminantes no interior dos tecidos vegetais;
- Quebra dos contaminantes ao redor das raízes - enzimas;
- Planta utiliza as moléculas degradadas para seu crescimento;



# Rizorremediação

- Tratamento biológico dos contaminantes aumentado pelas atividades dos microrganismos na rizosfera de plantas;
- Relação simbiótica na rizosfera, uma área de intensa atividade microbiana devido aos exsudatos liberados pela raiz;



**Table 2: Advantages and Limitations of Phytoremediation**

<b>Advantages of Phytoremediation</b>	<b>Limitations of Phytoremediation</b>
<i>in situ</i>	Limited to shallow soils, streams, and groundwater
Passive	High concentrations of hazardous materials can be toxic to plants
Solar driven	Mass transfer limitations associated with other biotreatments
Costs 10% to 20% of mechanical treatments	Slower than mechanical treatments
Transfer is faster than natural attenuation	Only effective for moderately hydrophobic contaminants
High public acceptance	Toxicity and bioavailability of degradation products is not known
Fewer air and water emissions	Contaminants may be mobilized into the groundwater
Generate less secondary wastes	Potential for contaminants to enter food chain through animal consumption

**Table 3: Estimates of Phytoremediation Costs Versus Costs of Established Technologies**

<b>Contaminant</b>	<b>Phytoremediation Costs</b>	<b>Estimated Cost using Other Technologies</b>	<b>Source</b>
Metals	\$80 per cubic yard	\$250 per cubic yard	Black (1995)
Site contaminated with petroleum hydrocarbons (site size not disclosed)	\$70,000	\$850,000	Jipson (1996)
10 acres lead contaminated land	\$500,000	\$12 million	Plummer (1997)
Radionuclides in surface water	\$2 to \$6 per thousand gallons treated	none listed	Richman (1997)
1 hectare to a 15 cm depth (various contaminants)	\$2,500 to \$15,000	none listed	Cunningham et al. (1996)

## Table 6: Advantages of *Populus* sp. in Phytoremediation

(*Populus* sp. = choupos ou álamos)

- ▶ Greater than 25 species worldwide
- ▶ Fast growing ( 3 to 5 meters/year)
- ▶ High transpiration rates (100 liters/day optimally for 5 year old tree)
- ▶ Not part of food chain
- ▶ Trees can be used for paper production or as biomass for energy
- ▶ Long lived (25-30 years)
- ▶ Grow easily from cuttings
- ▶ Can be harvested and then regrown from the stump

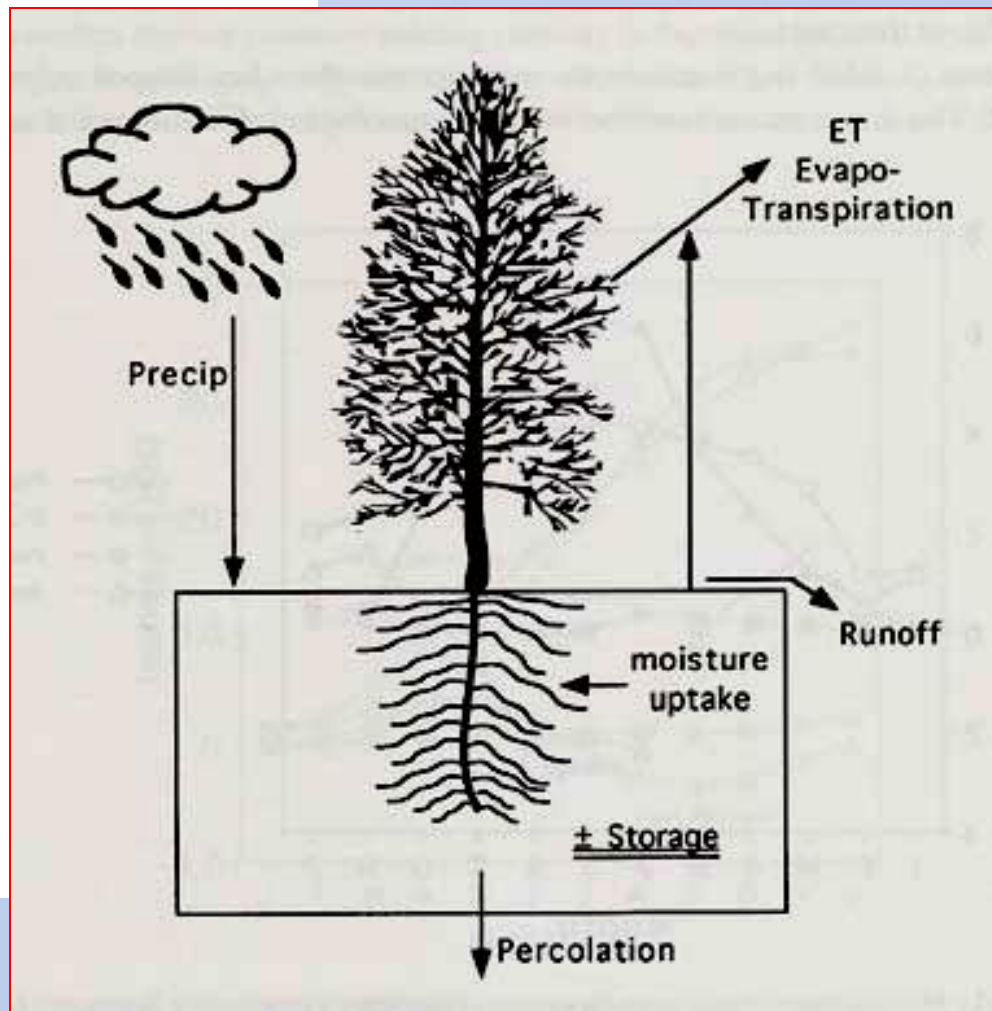
Source: Adapted from Gordon (1997) and Schnoor et al. (1995)

Stump = cepo/toco

## Fito-estabilização com choupo:

Os choupos são árvores de crescimento rápido e têm sido utilizados na estabilização de solos e diminuição da migração vertical de poluentes.

O controle hidráulico depende da profundidade e densidade das raízes, condutividade hidráulica do solo, taxa de crescimento das árvores, fatores climáticos



(*Populus sp.* = choupos ou álamos)

Jonathan Chappell  
Phytoremediation of TCE using *Populus*

TCE =trichloroethylene

**Table 9: Mechanisms of TCE Phytoremediation by the *Populus sp.***

Process	Product
Metabolism <sup>a</sup>	chloral hydrate, trichloroethanol di- and trichloroacetic acid
Incorporation <sup>a</sup>	Insoluble residue
Mineralization <sup>a</sup>	CO <sub>2</sub>
Transpiration <sup>a</sup>	TCE vapor
Rhizospheric degradation via microorganisms	CO <sub>2</sub> <sup>b</sup> , dehalogenation metabolites such as <i>cis</i> -1,2-dichloroethylene <sup>c</sup> , vinyl chloride <sup>d</sup> , and others

a - Newman et al. (1997)

b -Walton and Anderson (1990)

c - Gordon et al. (1997)

d - Workshop on Phytoremediation of Organic Contaminants (1996)

**Table 10: Some Plant Species Containing Dehalogenase**

Plant Species	Half-life (hours) of Hexachloroethane
Algae <i>Nitella</i> (stonewort)	90
<i>Anthrocerotae</i> sp.	120
Algae <i>Spirogyra</i>	95
<i>Myriophyllum spicatum</i> (parrot feather)	120
<i>Populus</i> sp.	50

Source: Adapted from Schnoor et al. 1995.

**Dehalogenase:** é um tipo de enzima que catalisa a remoção de um átomo de halogênio [flúor (F), cloro (Cl), bromo (Br), iodo (I), e astatínio (At)] a partir de um substrato.



**Table 11: Estimated Costs of Treating PCE in the Groundwater***Groundwater:* águas subterrâneas

(Assumes PCE plume averages 1 ppm, the remedial goal is 5 ppb, there is no pooled PCE in the aquatard, plume is in the aqueous phase, and the remediation time is 30 years)

Treatment Technology	Total Present Cost ( x \$1,000)	Cost / Pound PCE removed	Cost / 1,000 Gallons Treated
Pump and treat with air stripping and carbon absorption	\$9800	\$1600	\$8.90
Iron reactive barrier	\$3900	\$640	\$5.30
Biobarrier (substrate enhanced anaerobic bioremediation)	\$3100	\$520	\$4.20
In situ bioremediation (substrate enhanced, recirculating source zone)	\$1300	\$220	\$1.80
Natural attenuation (intrinsic bioremediation)	\$890	\$150	\$1.20

## Appendix B - Some Representative Examples of Phytoremediation Projects

Name and Location	Party Conducting Treatment	Type of Contaminant	Type of Treatment
Aberdeen Proving Grounds Aberdeen, Maryland	DOD, EPA ERT	TCE in groundwater	Poplars used to contain the movement of the plume (movimento de colunas de água)
Carswell Air Force Base Ft. Worth, TX*	DOD, EPA	TCE in groundwater	Cottonwoods to contain the movement of the plume
Chernobyl Nuclear Power Plant Chernobyl, Ukraine and a DOE site in Ashtabula, OH	Phytotech, Inc	Radionuclides	Rhizofiltration in a continuous flow system
Chevron Ogden, UT*	Phytokinetics, Inc., EPA (monitoring)	Petroleum hydrocarbons	Poplars used to contain the movement of the contaminant plume
Edward Sears New Gretna, NJ	EPA ERT	Solvents in groundwater	Poplars used to contain the movement of the contaminant plume
Lakeside Landfill Beaverton, Oregon	Ecolotree	Landfill cap	Poplar tree cap used to prevent landfill from leaching
Metal plating facility in Findlay, OH*	Phytotech, Inc.	Metals in soils (lead, chromium, nickel, zinc, and cadmium)	Plants used to extract metals from soils.
Milan Army Ammunition Plant Tennessee	DOD	Explosives in groundwater (TNT, RDX, HMX, DNT)	Constructed wetland containing nitrogen reducing species of plants

\* SITE demonstration project

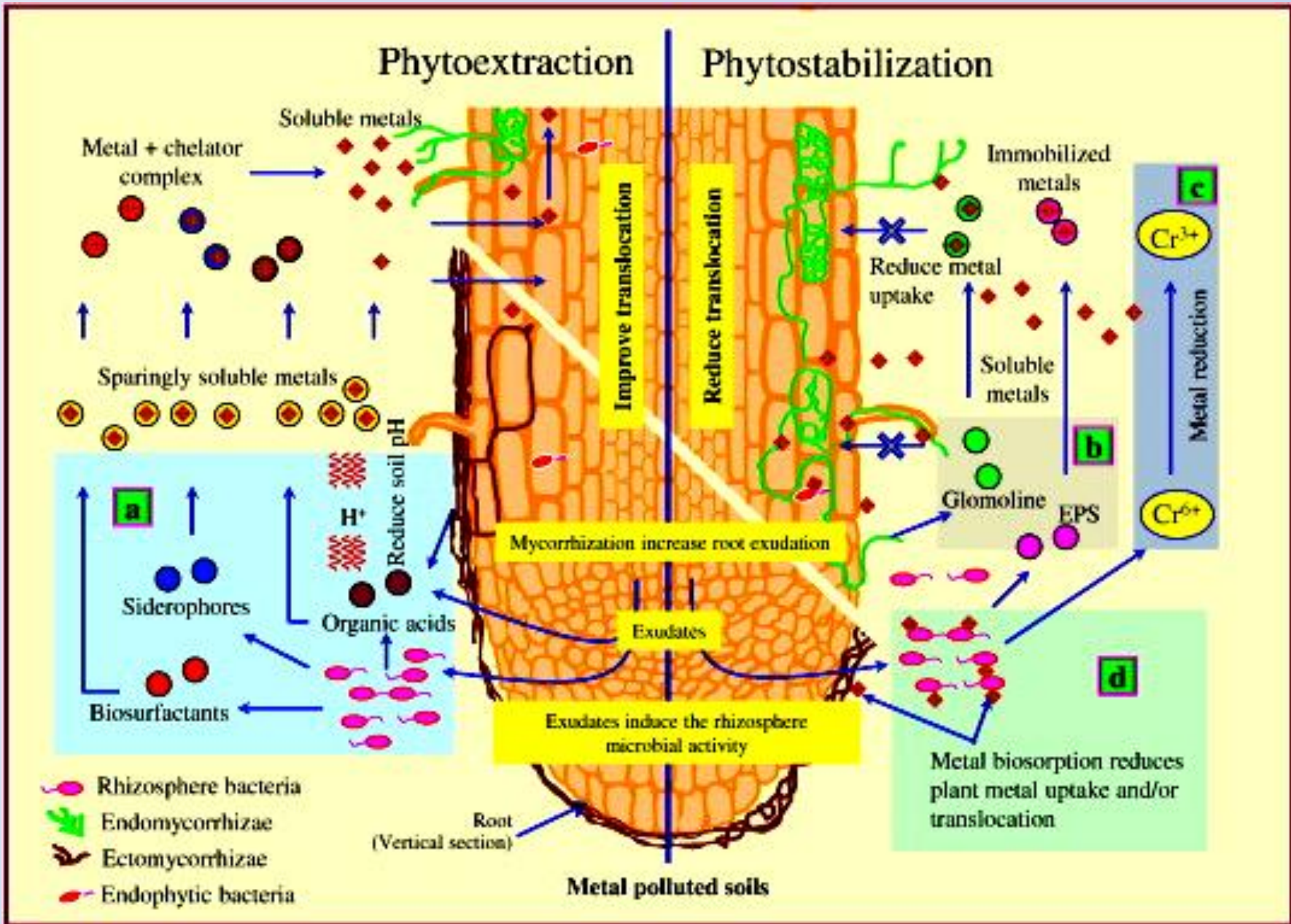
## Appendix C: Phytoremediation Enzymes

**Table 1: Some Enzymes Found to be Involved in Phytoremediation**

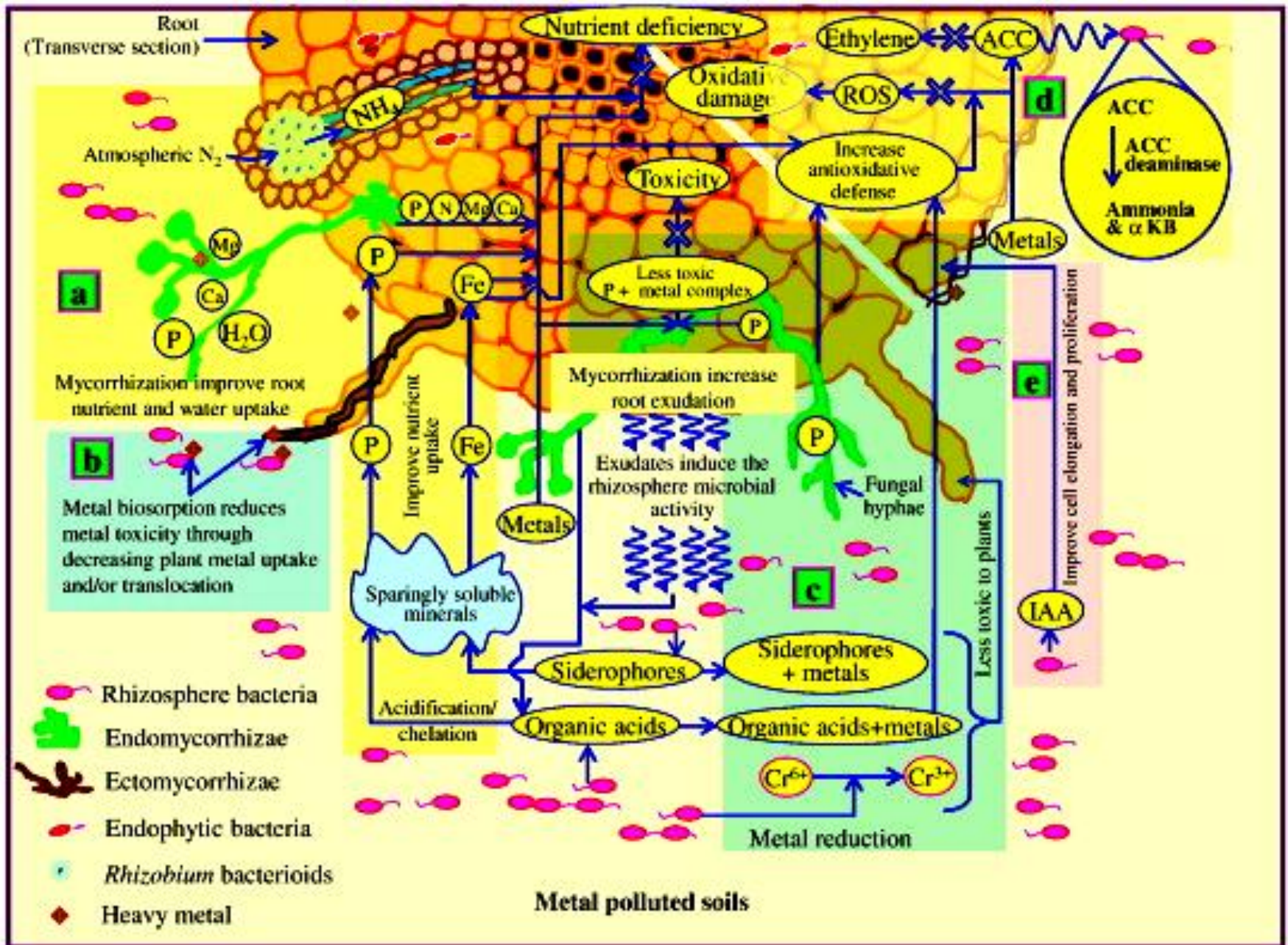
Enzyme	Pollutant Degraded	Some Plants Known to Produce Enzyme
Dehalogenases <sup>1,2</sup>	chlorinated solvents, ethylene containing compounds	<i>Populus</i> sp. (Hybrid poplars), <i>Myriophyllum spicatum</i> (parrot feather), Algae <i>Nitella</i> (stonewort), Algae <i>spirogyra</i> , <i>Anthrocerotea</i> sp.
Lactase <sup>1</sup>	oxidative step in munitions degradation	Algae <i>Nitella</i> (stonewort), <i>Myriophyllum spicatum</i> (parrot feather)
Nitroreductase <sup>1</sup>	munitions (TNT, RDX, etc.)	<i>Populus</i> sp. (Hybrid poplars), <i>Myriophyllum spicatum</i> (parrot feather), <i>Lemna minor</i> (duckweed), Algae <i>Nitella</i> (stonewort), plus more
Nitrilase <sup>3</sup>	herbicides	
Peroxidases <sup>3,4</sup>	phenols	<i>Armoracia rusticana</i> (Horseradish)

## Appendix D - Phytoremediation Web Sites

Page Name	Address
Bioresource Engineering - Oregon State University	<a href="http://www.bre.orst.edu">www.bre.orst.edu</a>
Dr. Ilya Raskin's Laboratory	<a href="http://cook~college.rutgers.edu/~halpern/index.html">cook~college.rutgers.edu/~halpern/index.html</a>
Envirobiz - Chevron Grows New Remediation Technology: Alfalfa and Poplars	<a href="http://www.envirobiz.com/newsdaily/960502e1.htm">www.envirobiz.com/newsdaily/960502e1.htm</a>
Environmental Security Technology Certification Program - Cleanup Projects page	<a href="http://scaffold.walcoff.com/estcp2/projects/cleanup/index.html">scaffold.walcoff.com/estcp2/projects/cleanup/index.html</a>
Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center: Phytoremediation - Technology Overview	<a href="http://www.gwrtac.org/html/tech_over.html#PHYTOREM">www.gwrtac.org/html/tech_over.html#PHYTOREM</a>
HSRC's Phytoremediation page	<a href="http://www.engg.ksu.edu/HSRC/phytorem">www.engg.ksu.edu/HSRC/phytorem</a>
Hyperaccumulators and Phytoremediation	<a href="http://bob.soils.wisc.edu/~barak/soilscience326/agres.htm">bob.soils.wisc.edu/~barak/soilscience326/agres.htm</a>
Phytoremediation at Utah State University	<a href="http://www.usu.edu/~cpl/phytorem.html">www.usu.edu/~cpl/phytorem.html</a>
Phytotech, Inc.	<a href="http://www.phytotech.com">www.phytotech.com</a>
Poplars and Willows on the World Wide Web	<a href="http://poplar1.cfr.washington.asedu">poplar1.cfr.washington.asedu</a>
The RTDF Phytoremediation of Organics Action Team	<a href="http://www.rtdf.org/phyto.htm">www.rtdf.org/phyto.htm</a>
USDA Economic Research Service - Industrial Uses of Agricultural Materials page	<a href="http://www.econ.ag.gov/epubs/pdf/IUS6/INDEX.HTM">www.econ.ag.gov/epubs/pdf/IUS6/INDEX.HTM</a>



sparingly = moderadamente



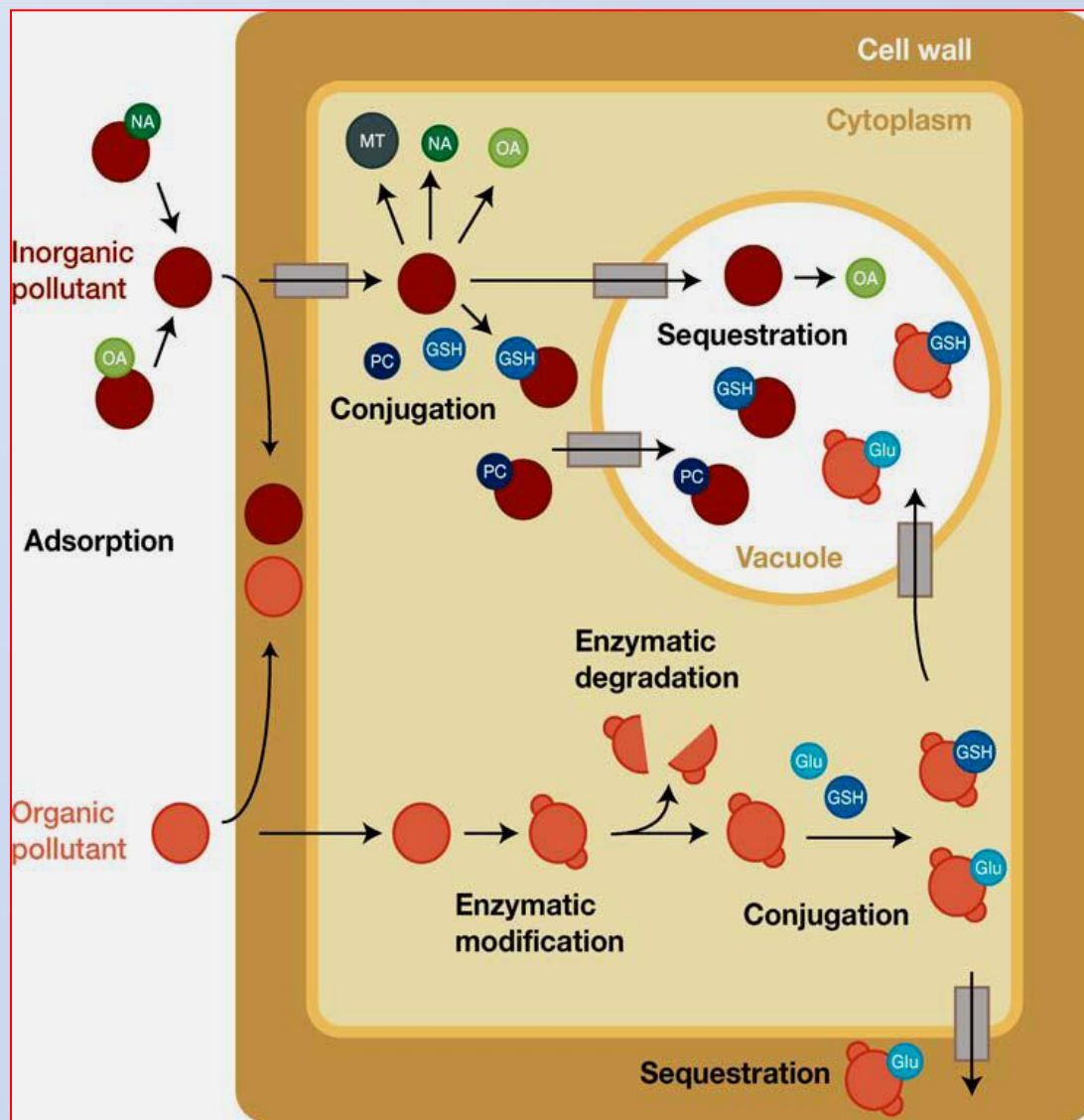


Figura 3. Mecanismos de tolerância radicular, compostos inorgânicos e poluentes orgânicos em células vegetais. Desintoxicação geralmente envolve a conjugação seguida pelo seqüestro de ativos no vacúolo e apoplasto, onde o poluente pode fazer menos mal. Quelantes são indicados GSH: glutathione, Glu: glicose, MT: metalotioneínas, NA: nicotianamina, OA: ácidos orgânicos, PC: fitoquelatinas. Transportadores ativos são mostrados como caixas com flechas.

# Fitorremediação



Uso de plantas *in situ*  
para:

- Estabilizar;
- Remediar;
- Reduzir;
- Restaurar

Locais contaminados  
(aquáticos ou  
terrestres)



# Características das plantas

Facilidade de cultivo

Rápido crescimento

Alta produção de biomassa

Tolerância aos contaminantes

Sistema radicular abundante

Capacidade de extrair e acumular metais



## Aquatic and Terrestrial Plant Species with Potential to Remove Heavy Metals from Stormwater

Åsa Fritioff\* and Maria Greger

*Department of Botany, Stockholm University, Stockholm, Sweden*

Acúmulo de  
Pb nas  
raízes e Cd  
no caule

Acúmulo de Zn, Cu e Pb



*Potamogeton natans* – espiga-de-água



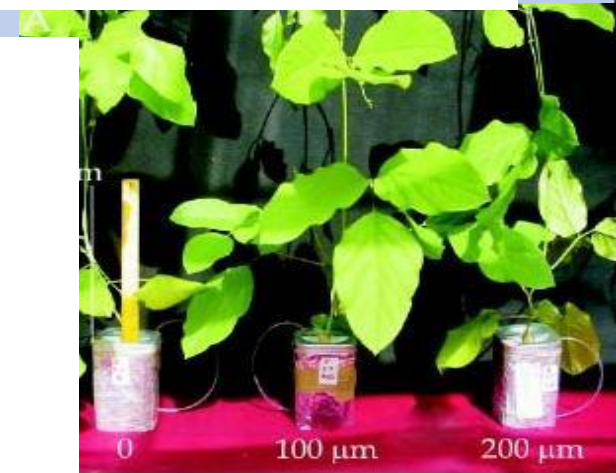
*Filipendula ulmaria* – barba-de-bode

# ABSORÇÃO DE CHUMBO E POTENCIAL DE FITORREMEDIAÇÃO DE *CANAVALIA ENSIFORMES* L. (1)

SOLANGE ROMEIRO (2); ANA MARIA MAGALHÃES ANDRADE LAGÔA (2\*);  
PEDRO ROBERTO FURLANI (3); CLEIDE APARECIDA DE ABREU (3);  
BRUNO FERNANDO FARIA PEREIRA (3)

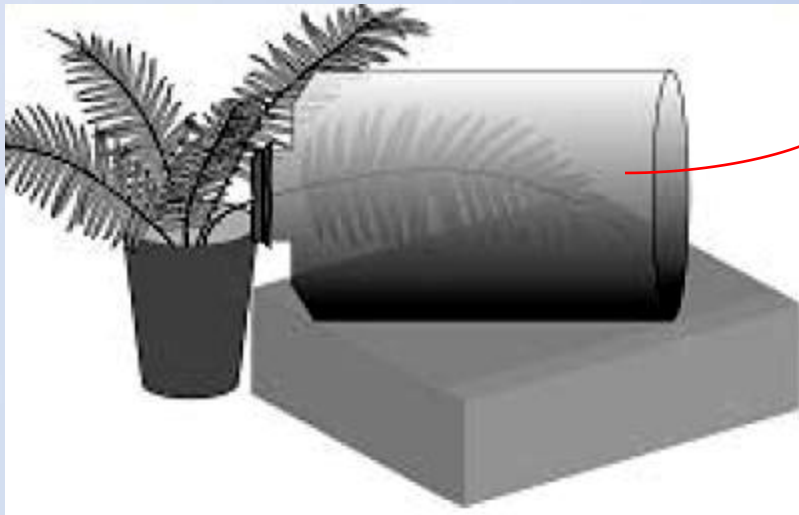
- **Feijão-de-porco**: tolerante e hiperacumuladora de Pb,  
principalmente nas raízes;

-Potencial fitoextrator de Pb no solo;



# PHYTOEXTRACTION AND PHYTOVOLATILIZATION OF ARSENIC FROM AS-CONTAMINATED SOILS BY *PTERIS VITTATA*

Masayuki Sakakibara<sup>1</sup>, Aya Watanabe<sup>1</sup>, Sakae Sano<sup>2</sup>, Masahiro Inoue<sup>1</sup>, and Toshikazu Kaise<sup>3</sup>



- Espécie volatiliza arsênio;
- Vapor liberado pelas folhas contém compostos de arsênico, arsenito e arsenato;
- Planta absorve compostos, os quebra e volatiliza à medida que transpira;

## Plants against the global epidemic of arsenic poisoning

Itziar Alkorta<sup>a</sup>, Javier Hernández-Allica<sup>b</sup>, Carlos Garbisu<sup>b,\*</sup>

<sup>a</sup>Department of Biochemistry and Molecular Biology, Centro Mixto CSIC/UPV, University of the Basque Country, E-48080 Bilbao, Spain

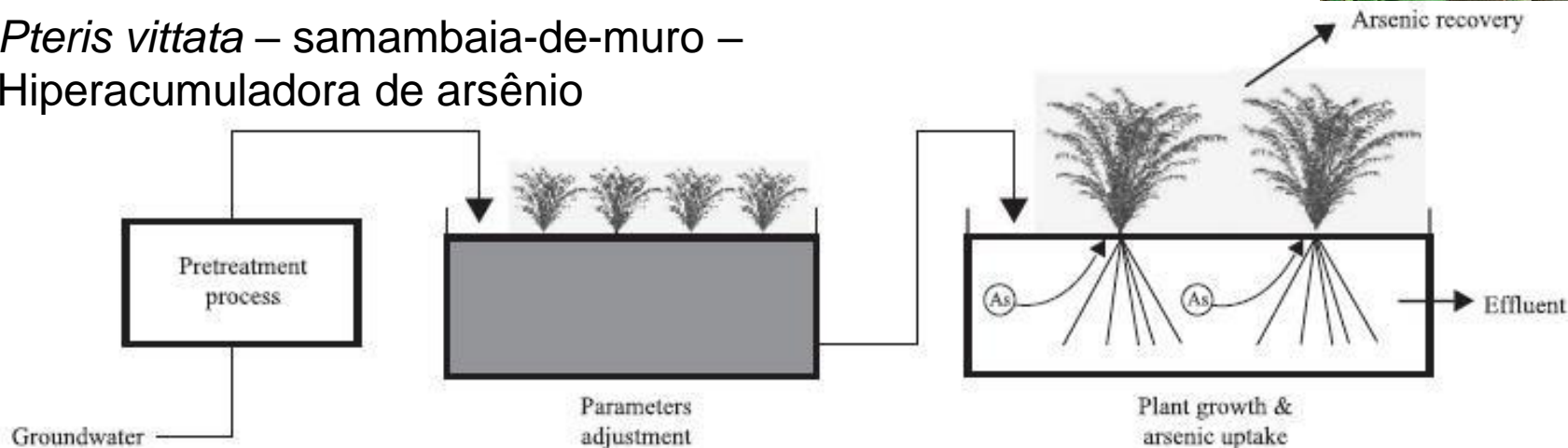
<sup>b</sup>Basque Institute of Agricultural Research and Development, NEIKER, c/ Berreaga 1, E-48160 Derio, Spain

Received 20 February 2004; accepted 6 April 2004

Available online 28 May 2004



*Pteris vittata* – samambaia-de-muro –  
Hiperacumuladora de arsênio



PROPOSED MODEL FOR *EX-SITU* RHIZOFILTRATION SYSTEM

Fig. 1. Proposed model for the ex situ rhizofiltration of arsenic.



ELSEVIER

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

SCIENCE @ DIRECT®

Science of the Total Environment 355 (2006) 187–203

Science of the  
Total Environment

An International Journal for Scientific Research  
into the Environment and its Relationship with Humankind

[www.elsevier.com/locate/scitotenv](http://www.elsevier.com/locate/scitotenv)

## Biomonitoring of trace elements in the leaves and fruits of wild olive and holm oak trees

Paula Madejón<sup>1</sup>, Teodoro Marañón\*, José M. Murillo

*IRNAS, CSIC, P.O. Box 1052, 41080 Sevilla, Spain*

Received 22 October 2004; accepted 18 February 2005

Available online 10 May 2005



available at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
[www.elsevier.com/locate/scitotenv](http://www.elsevier.com/locate/scitotenv)

## Animal excrement: A potential biomonitor of heavy metal contamination in the marine environment

Xuebin Yin<sup>a,b</sup>, Lijun Xia<sup>a</sup>, Liguang Sun<sup>a,\*</sup>, Honghao Luo<sup>a</sup>, Yuhong Wang<sup>c</sup>

- Biomonitoramento – avaliar influência da contaminação;

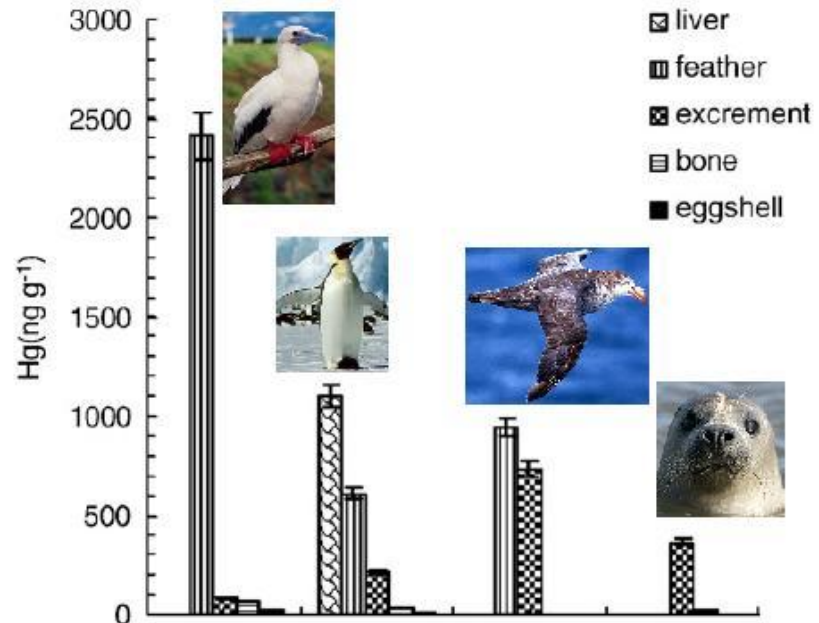


Fig. 2– Comparison of the Hg concentration in different tissues of animals.

# Trabalho multi-disciplinar





# Papel do Biólogo

- Isolamento e identificação dos microrganismos;
- Experimentos avaliando toxicidade de poluentes aos organismos;
- Descoberta de espécies tolerantes;

# Papel do (Bio)químico

- Análises físico-químicas do solo e água;
- Determinação da disponibilidade do contaminante;

**Tabela 2 - Principais compostos contaminantes das águas subterrâneas e compostos onde estão presentes.**

<b>Contaminantes</b>	<b>Compostos onde estão presentes</b>
<b>Compostos Orgânicos Aromáticos</b>	
Benzeno, Etilbenzeno, Xilenos, Tolueno	Solventes, gasolina e, detergentes.
Alcali benzeno sulfonado	Detergente.
Estireno (Vinil benzeno)	Plásticos.
Naftaleno	Solvente, lubrificante, explosivos e fungicidas.
<b>Hidrocarbonetos oxigenados</b>	
Acetona, Éter, Varsol	Solvente e matéria prima industrial.
Ácido fórmico	Pesticidas, plásticos e refrigerantes.
Metanol	Combustível, solvente, matéria prima industrial.
<b>Hidrocarbonetos com Elementos específicos</b>	
Aldrin, Dieldrin, Endrin, Malathion	Inseticida.
Bromacil	Herbicida.
Tetracloroeto de carbono	Desengraxante, matéria prima industrial.
Clordano	Inseticida, emulsão de óleo.
Clorofórmio	Plásticos, refrigerantes.
Clorometano	Refrigerante, herbicida, síntese orgânica.
1, 2 Dicloroetano	Desengraxante, solvente, aditivo de gasolina.
Bifenila Policlorada (PCB)	Fluido de transformadores elétricos.
Tetracloroetano	Removedor de tinta, solvente, matéria prima industrial.
Tricloroetano	Pesticidas, desengraxante, solvente.
<b>Metais e cátions</b>	
As	Inseticidas, herbicidas, medicamentos.
Cd	Fungicidas e materiais fotográficos.
Cu	Tintas, galvanoplastia, inseticidas.
Cr	Galvanoplastia, tintas.
Pb	Baterias, aditivo de gasolina, tintas.
Hg	Aparatos elétricos, inseticidas, fungicidas, bactericidas, indústria farmacêutica.
Zn	Galvanoplastia, fungicidas, tintas.
<b>Não metálicos</b>	
Amônia	Fertilizantes, matéria prima industrial, fibras sintéticas, fluidos.
Cianeto	Produção de polímeros, metalurgia, pesticidas.
Nitratos, Nitritos, Fosfatos, Sulfatos, Sulfitos	Fertilizantes, conservantes, Pesticidas, fertilizantes.

# BIORREMEDIAÇÃO

- ❖ **Biorremediação natural:** processo passivo no qual os microrganismos autóctones (natural da região) transformam os contaminantes alvos em produtos finais inócuos – atenuação natural.
- ❖ **Biorremediação acelerada:** métodos de biorremediação que empregam técnicas para estimular a degradação dos contaminantes alvos, como adição de oxidantes, substrato, nutrientes inorgânicos, microrganismos específicos, etc.

# TIPOS DE BIORREMEDIAÇÃO

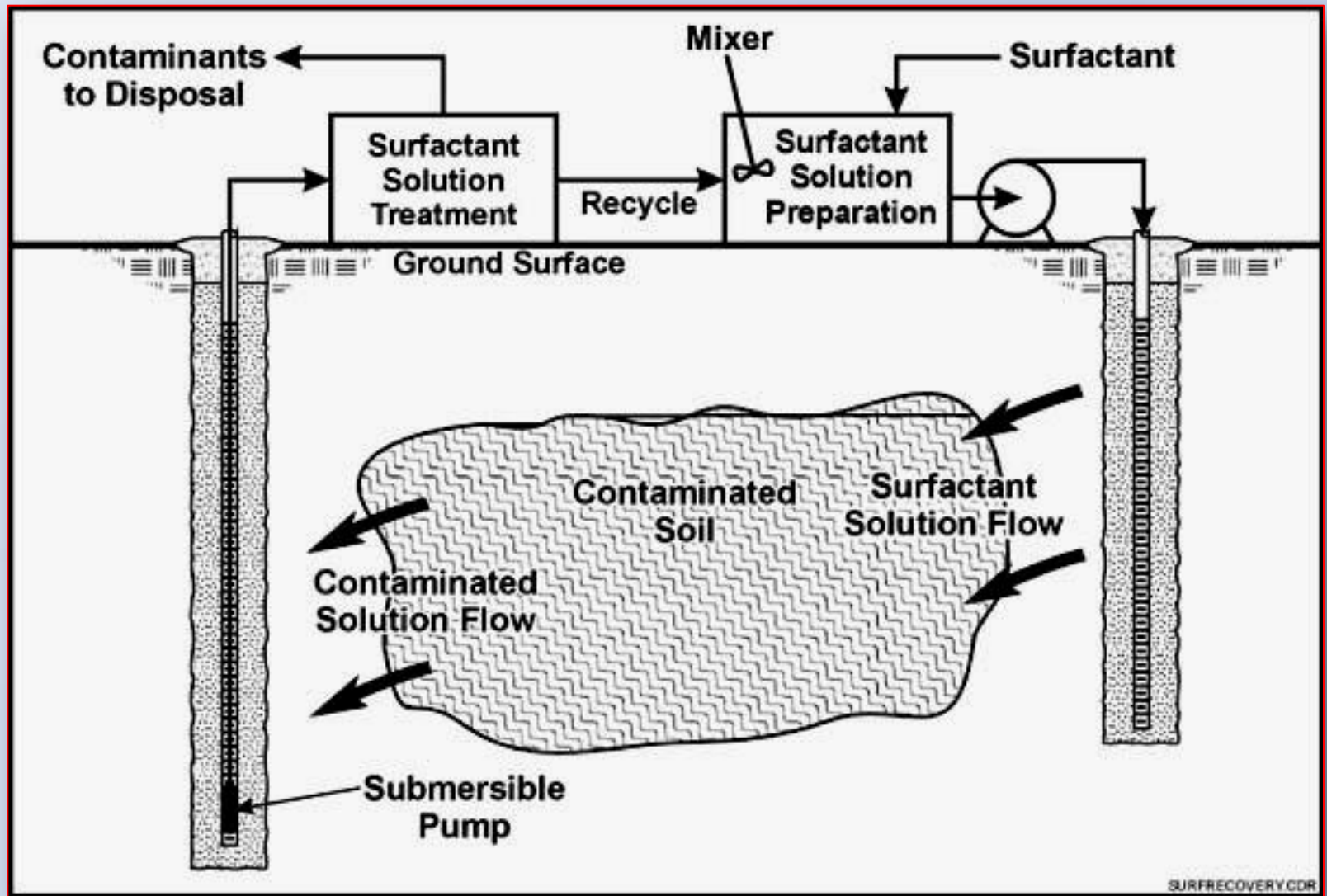
- ❖ **Bioaugmentação:** introduz misturas específicas de microrganismos em um ambiente contaminado ou em um biorreator para iniciar o processo da biorremediação.
- ❖ **Bioestimulação:** fornece nutrientes às populações de microrganismos autóctones, aumentando sua população, promovendo o crescimento e conseqüentemente o aumento da atividade metabólica na degradação de contaminantes.

# PROCESSOS ENZIMÁTICOS NA BIODEGRADAÇÃO

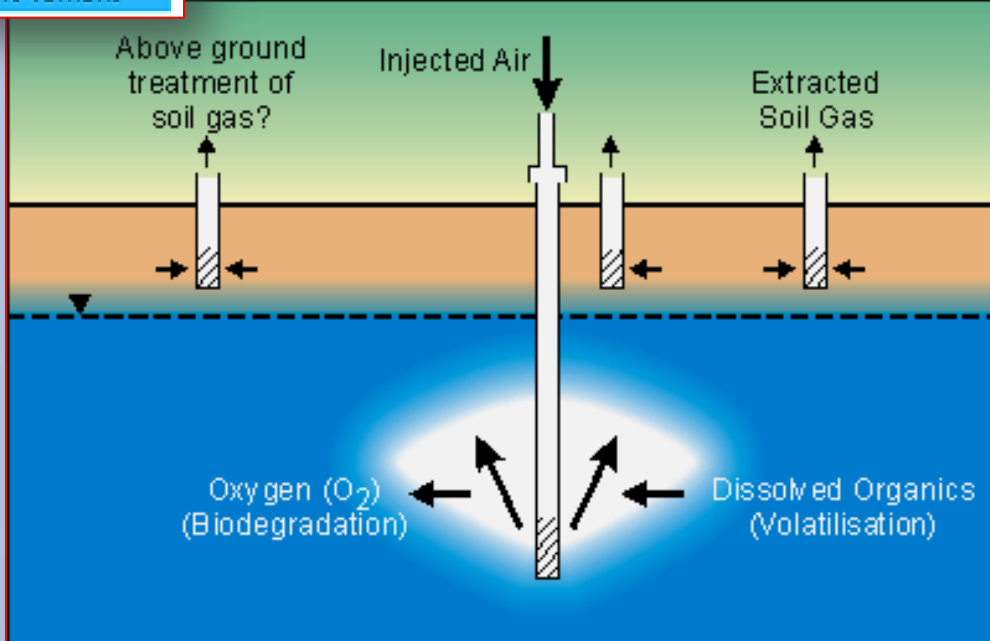
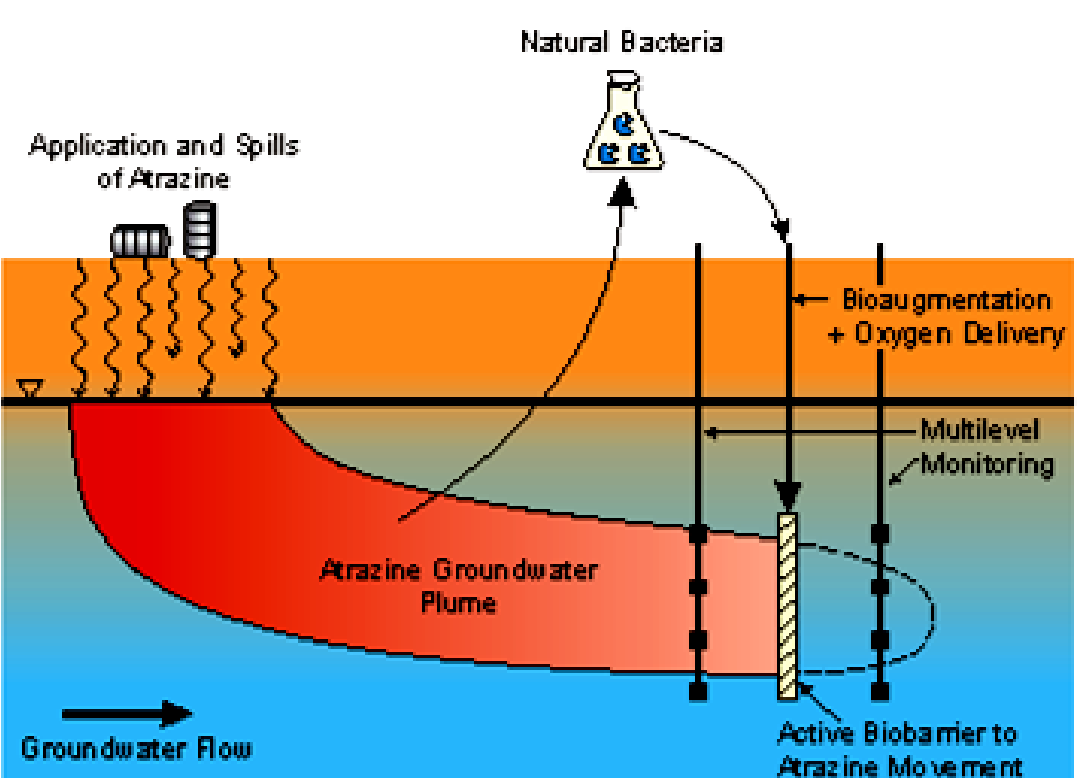
- Oxidação
- Hidroxilação
- Redução
- Hidrólise
- Descarboxilação
- Dehalogenação
- Conjugação
- Dealquilação

## Aspectos a considerar:

1. A existência de microrganismos com capacidade catabólica para degradar o contaminante;
2. O contaminante tem que estar disponível ou acessível ao ataque microbiano ou enzimático;
3. Condições ambientais adequadas para o crescimento e atividade do agente biorremediador.



## Biorremediação "in situ"





# LIMITAÇÕES DA BIORREMEDIAÇÃO

- Não é uma solução imediata.
- Os locais a serem tratados devem estar preparados para suportar a ação dos microrganismos.
- Para cada tipo de contaminante, indicam-se espécies diferentes de microrganismos para o processo de biorremediação.

<b>Contaminante</b>	<b>Espécie utilizada</b>
Anéis aromáticos	<i>Pseudomonas, Achromobacter, Bacillus, Arthrobacter, Penicillum, Aspergillus, Fusarium, Phanerocheate</i>
Cádmio	<i>Staphlococcus, Bacillus, Pseudomonas, Citrobacter, Klebsiella, Rhodococcus</i>
Cobre	<i>Escherichia, Pseudomonas</i>
Cromo	<i>Alcaligenes, Pseudomonas</i>
Enxofre	<i>Thiobacillus</i>
Petróleo	<i>Pseudomonas, Proteus, Bacillus, Penicillum, Cunninghamella</i>

# CATEGORIAS DE BIODEGRADABILIDADE

1. **Rapidamente biodegradáveis:** condições de equilíbrio ambiental quase que instantaneamente, uma vez suspenso o seu lançamento suas concentrações tendem a zero;
2. **Praticamente biodegradáveis:** meia-vida inferior ao seu tempo de residência em compartimentos ambientais específicos, não se acumulam;
3. **Pouco biodegradáveis (persistentes):** composto com meia vida superior ao seu tempo de residência, persiste por longos períodos, mesmo após seu uso ter sido interrompido;
4. **Não biodegradáveis ou recalcitrantes:** biodegradação próxima a zero, não mostram evidência de mineralização significativa por microrganismos, acumula-se e não atingem concentrações de equilíbrio.

# BIOrrremediação

Biorremediação intrínseca: natural

## Suplementação

(com nutrientes, bactérias, oxigênio, CO<sub>2</sub>..requisitos outros)...

Biomagnificação: + microrganismos

Bioestimulação: + nutrientes

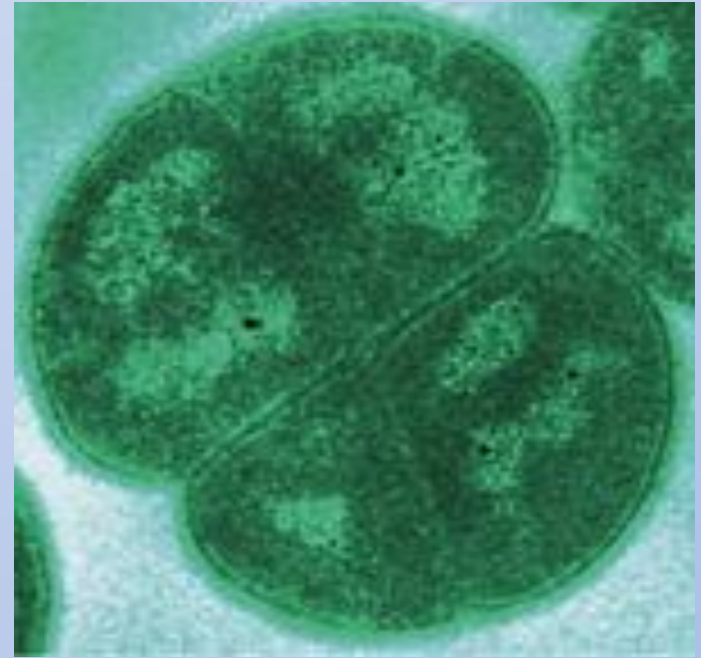
Bioventilação: + CO<sub>2</sub>, + O<sub>2</sub>

Áreas agrícolas: + O<sub>2</sub> + microrganismos

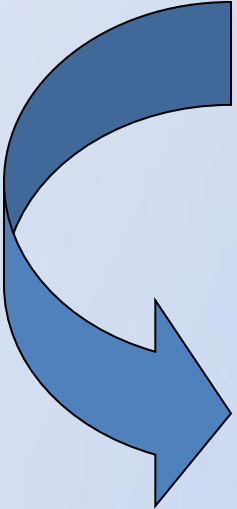
Exxon  
Valdez,  
Alasca  
1989



# Inoculantes



# Água e efluentes industriais



Microrganismos nas estações de **tratamento de esgoto e de efluentes industriais** removem a maior parte dos poluentes antes destes serem lançados no mar.

**Aumento da atividade industrial** aumentou necessidade de eliminar especificamente poluentes como: compostos de fosforo, nitrogênio, metais pesados e compostos a base de cloro



Revista Brasileira de  
Engenharia Agrícola e Ambiental  
v.15, n.10, p.1082-1088, 2011  
Campina Grande, PB, UAEA/UFPG – <http://www.agriambi.com.br>  
Protocolo 214.10 – 29/11/2010 • Aprovado em 09/08/2011

Metais pesados em milho fertilizado com fosfato natural e composto de lodo de esgoto

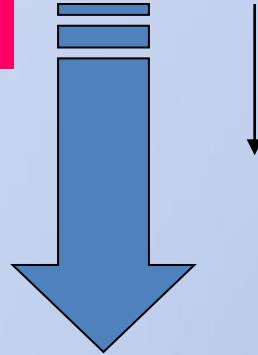
Geraldo R. Zuba Junio<sup>1</sup>, Reginaldo A. Sampaio<sup>1</sup>, Guilherme B. Santos<sup>1</sup>,  
Altina L. Nascimento<sup>1</sup>, Fabiano B. de S. Prates<sup>2</sup> & Luiz A. Fernandes<sup>1</sup>

# Água e efluentes

## Biorreatores

Biorreatores onde poluentes + microrganismos ficam em suspensão

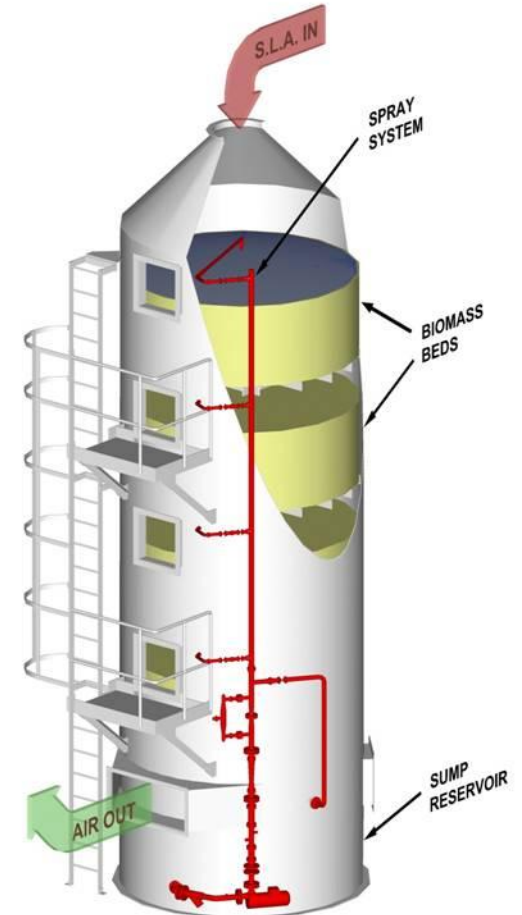
custos



Biomassa produzida pode servir para ração

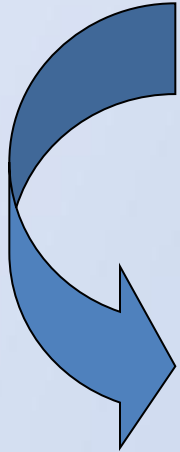
Microrganismos produzidos são re-usados como insumos de outras industrias

(Ex: biomassa do *Penicillium* na produção do antibiotico)

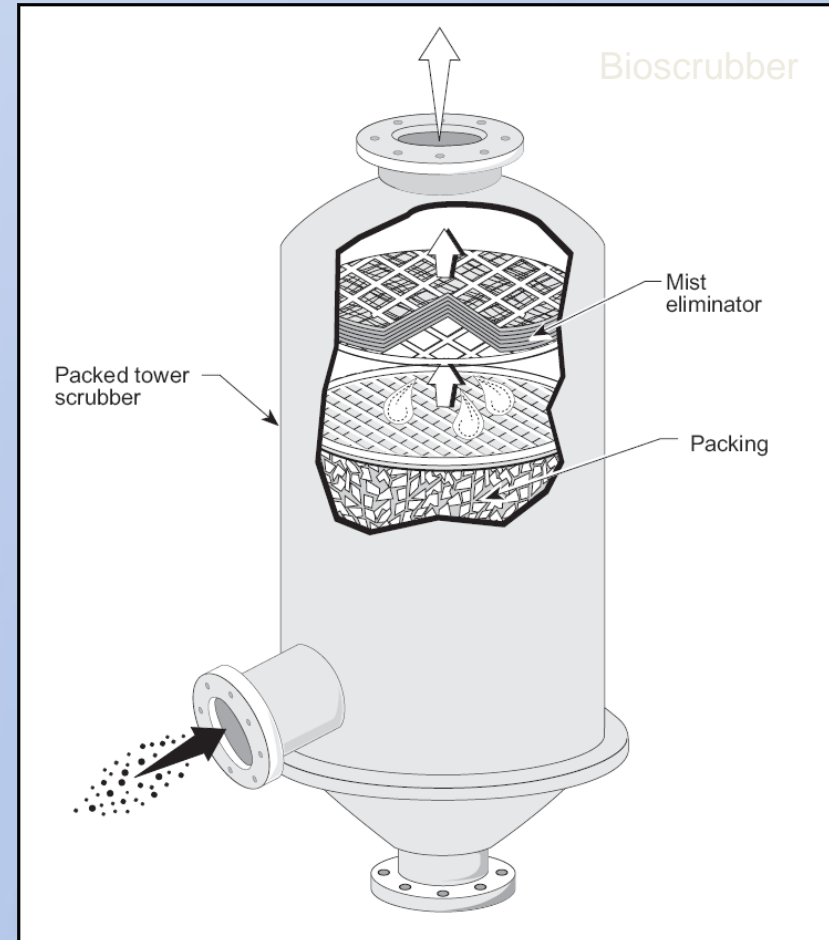


# Ar e poluentes gasosos

No inicio foram usados filtros preenchidos com composto para a retirada de odores.



Taxas de processamento baixas  
e vida curta



# Usos benéficos de resíduos de ETAs

## TRATAMENTO DE ÁGUA

### ◆ Tratamento convencional de água





# GERAÇÃO DOS RESÍDUOS



**LODO DOS  
DECANTADORES**



**ÁGUA DE LAVAGEM  
DOS FILTROS**

# EUTROFIZAÇÃO

Esgoto doméstico  
Efluente de ETEs  
Efluentes industriais  
Fertilizantes orgânicos  
Detergentes biodegradáveis

Efluente de ETEs  
Fertilizantes inorgânicos

*decomposição  
da matéria  
orgânica*

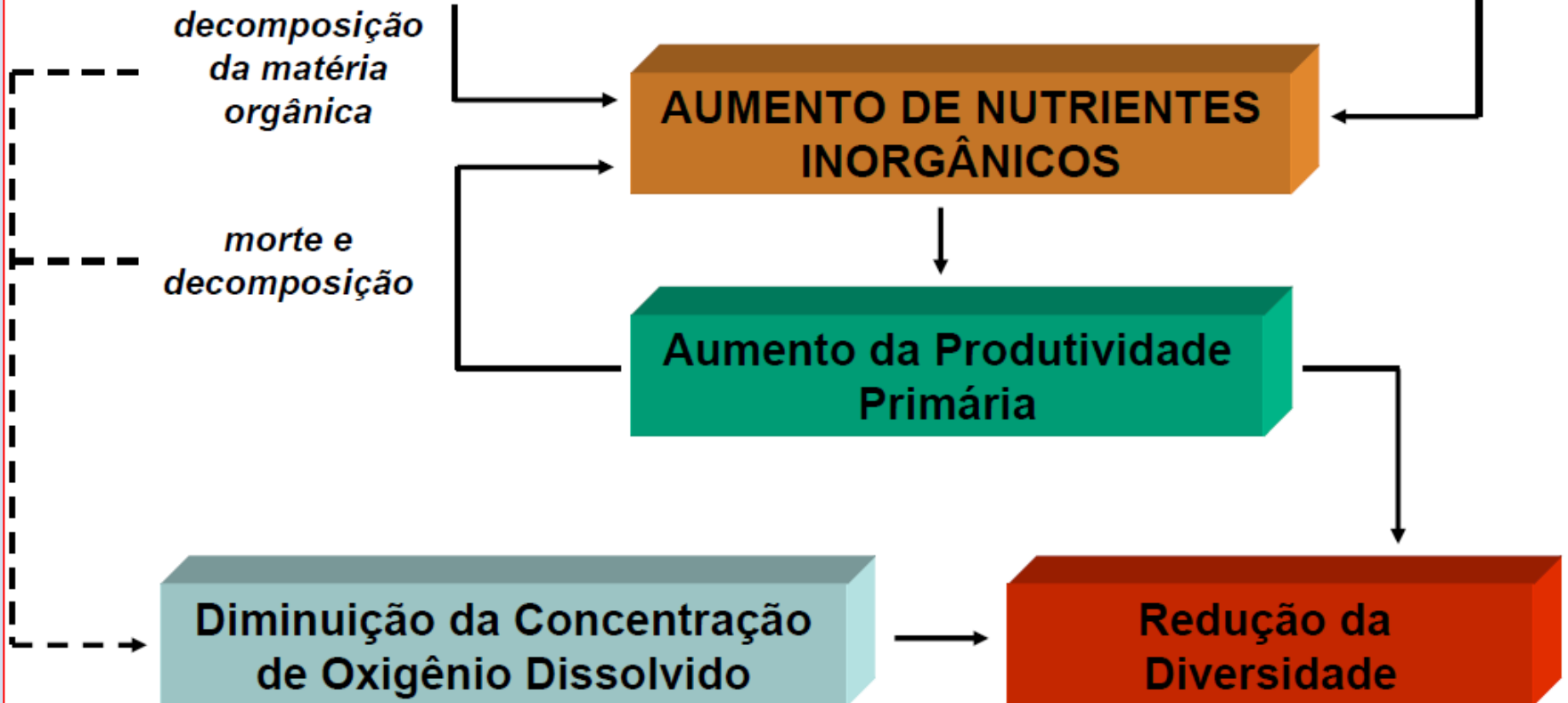
AUMENTO DE NUTRIENTES  
INORGÂNICOS

*morte e  
decomposição*

Aumento da Produtividade  
Primária

Diminuição da Concentração  
de Oxigênio Dissolvido

Redução da  
Diversidade



# Uso de bioindicadores para análise da qualidade do meio ambiente

- **Bioindicadores são organismos ou comunidades que reagem a alterações ambientais modificando suas funções vitais e/ou sua composição química e com isso fornecem informações sobre a situação ambiental.**

# Tipos de Bioindicadores

- Os *organismos testes* são indicadores altamente padronizados e utilizados em testes (bioensaios) de laboratório toxicológico e ecotoxicológico.
- Exemplos: testes de toxicidade usando *Daphnia*, *Lemna*, *Tradescantia* e outras espécies.
- . São usados para o monitoramento da qualidade do ar da água, do sedimento, do solo.

# **O uso de bioindicadores permite:**

- **Verificação do impacto da poluição: bioindicadores conseguem detectar um determinado poluente ou mistura de poluentes rapidamente.**
- **viabilizam a avaliação de efeitos sinérgicos e aditivos.**
- **Detecção de estresse crônico por níveis baixos de poluição atuando por períodos prolongados.**

# **Principais áreas de utilização de bioindicadores**

- **monitoramento de fontes de emissão;**
- **controle da eficiência de medidas técnicas para a redução de emissões;**
- **monitoramento regionais, nacionais e internacionais em áreas urbanas e industriais;**
- **estudos de impacto ambiental (EIA);**
- **controle da qualidade do ar dentro das moradias e instalações industriais.**
- **Efeitos genotóxicos do ar, solo e água**

# Tipos de bioindicadores

Indicador	Poluente	Parâmetro
Líquens (diversas espécies)	Poluição geral, SO <sub>2</sub> , metais	Acúmulo, alterações bioquímicas e fisiológicas
Musgos ( <i>Sphagnum</i> sp)	Metais	Acúmulo
Capim-santo ( <i>Cymbopogon citratus</i> ) Coentro ( <i>Coriandrum sativum</i> )	Metais	Acúmulo
<i>Hemerocallis</i> sp.	Fluoreto	Necrose foliar, acúmulo
<i>Tillandsia</i> sp.	Poluição geral, metais	Acúmulo, alterações bioquímicas e fisiológicas
<i>Tibouchina pulchra</i>	Metais, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , fluoreto	Acúmulo, alterações bioquímicas
<i>Psidium guajava</i> , <i>P. cattleyanum</i>	Poluição geral	Acúmulo, alterações bioquímicas
<i>Mangifera indica</i>	Poluição geral	Acúmulo, alterações bioquímicas
<i>Tradescantia</i> sp.	Substâncias genotóxicas	Mutações (micronúcleo e pelos estaminais)
<i>Nicotiana tabacum</i>	Ozônio	Necrose foliar



**Musgos**



**Liquens**





***Tillandsia***



**Manacá da Serra**

©Kazuo Yamasaki



**Manga**

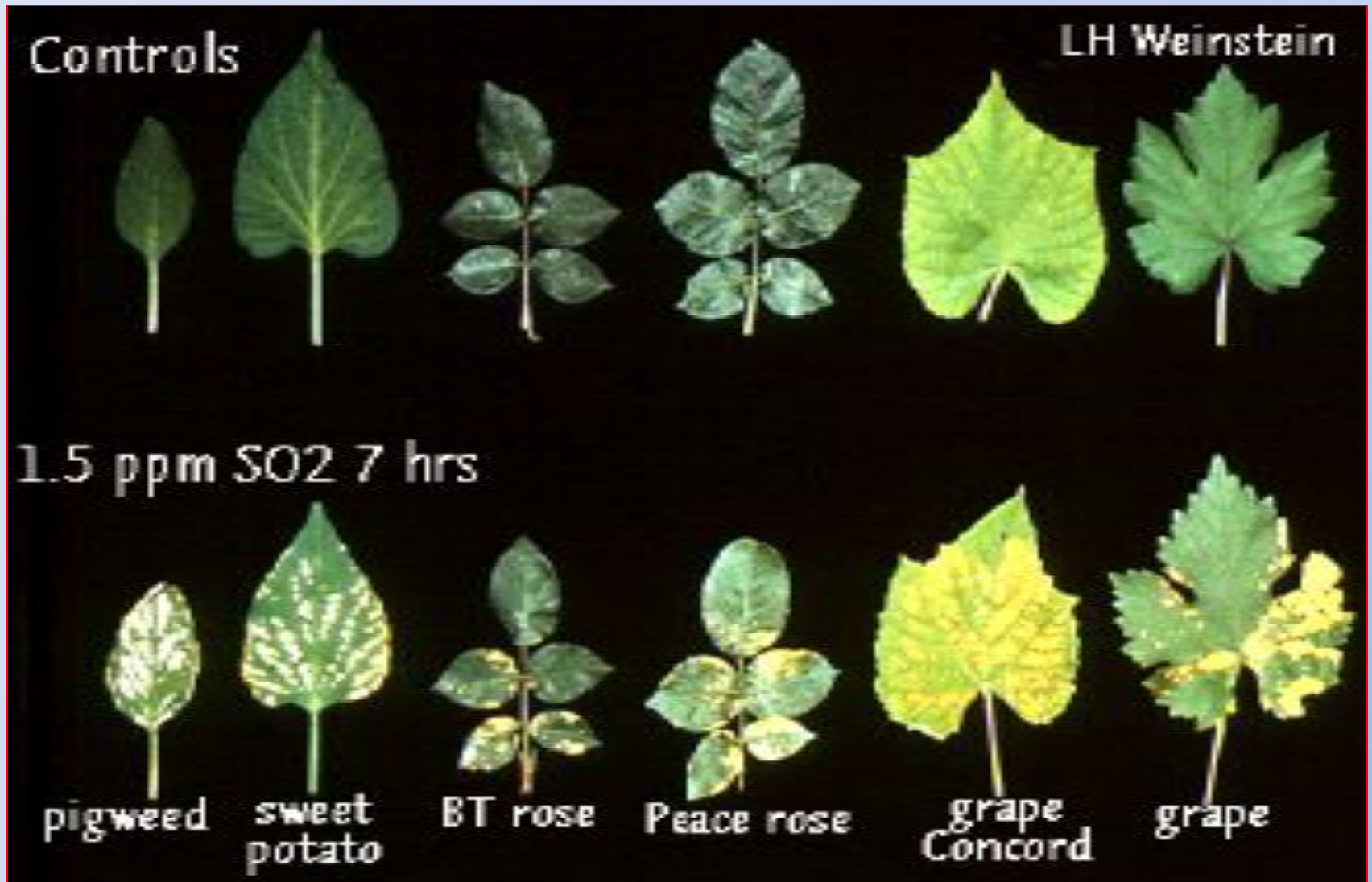


***Tradescantia* clone KU-20**

***Tradescantia pallida***



# Bioindicação para SO<sub>2</sub>



## Injúrias causadas por O<sub>3</sub>



Bel W3 tobacco  
A.S. Heagle

**Tabaco**



watermelon (*Citrullus*)

Greece, D. Velissariou

**Melão**

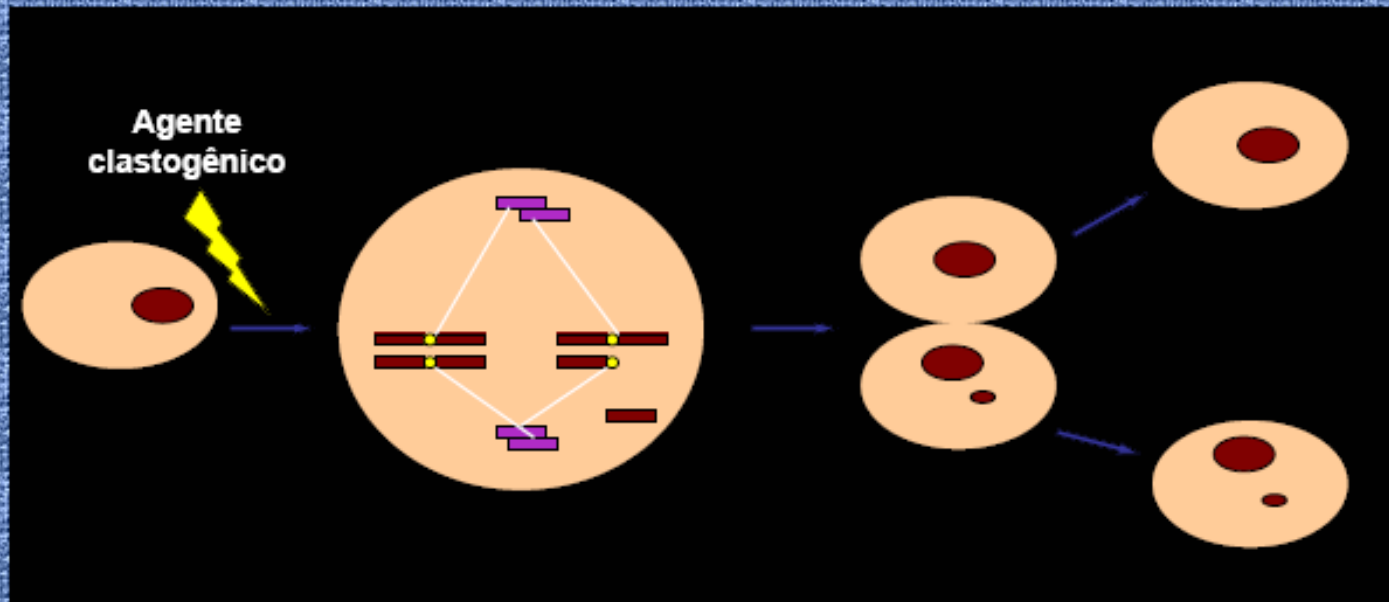


Allepò pine (*Pinus halepensis*)

Spain, AW Davison

**Pinus**

# genotoxicidade



A **genotoxicidade** ou toxicologia genética é uma especialidade que se ocupa da identificação e estudo da ação de qualquer agente físico, químico ou biológico que produz efeitos tóxicos e genotóxicos, sobre o material genético.

## Identificação da planta

NOME POPULAR

Coração Roxo

NOME CIENTÍFICO

*Tradescantia pallida*

FAMÍLIA

Commelinaceae

ORIGEM

México



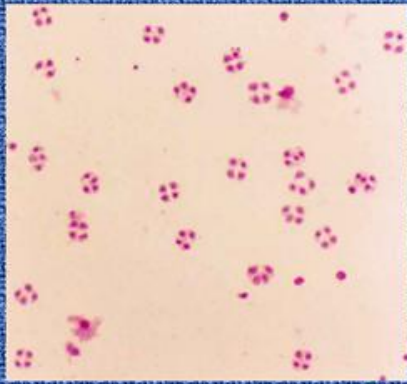
*Tradescantia pallida* var. *purpurea*  
(Rose) Hunt. Cv. Purpurea Boom.

## Análise

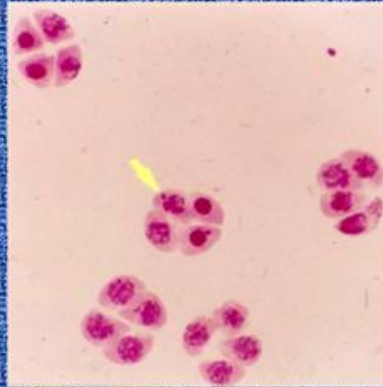
A intoxicação, faz com que alterações ocorram no material genético da planta (DNA). Essas alterações são chamadas de *Mutação*.

O DNA é capaz de reparar esses “defeitos” e fazer a devida manutenção, que originará o *Micronúcleo*.

O Micronúcleo é a prova de que alguma substância provocou uma mutação.



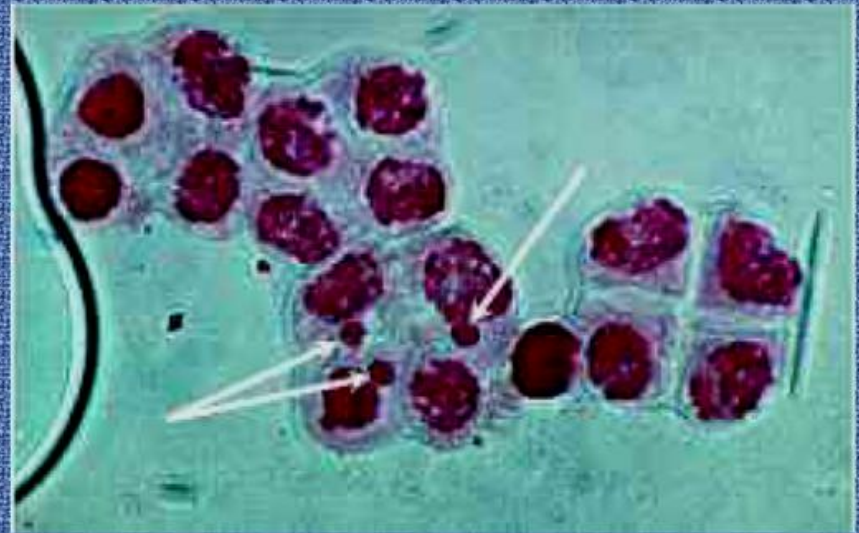
Tétrades: aumento 100x



Tétrades: aumento 400x  
Presença de micronúcleos  
(seta amarela)

Fotos cedidas por Dra. Eliane Tigre  
laboratório de poluição- FMUSP

## Micronúcleos



## Bioensaio para O<sub>3</sub>



- O ozônio (O<sub>3</sub>) é um poluente atmosférico secundário formado na troposfera vindo de poluentes primários (queima de combustíveis fósseis) como o NO<sub>x</sub> e hidrocarbonetos. Na presença de luz, o NO<sub>2</sub> é clivado para NO + O e permite a formação de O<sub>3</sub> (O<sub>2</sub> + O).
- O ozônio acumulado no ambiente pode alcançar altos níveis nas áreas urbanas onde o tráfego pesado de veículos e a quantidade ideal de luz favorece a sua formação.

## Reações nas plantas

- Foi demonstrado que esta exposição ao O<sub>3</sub> pode influenciar negativamente as características fisiológicas associadas à aquisição de carbono, tal como na pigmentação foliar, função estomatal e fotossíntese





## Exposição



Sistema para exposição do tabaco para análise e detecção de ozônio

## Injúrias foliares



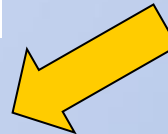
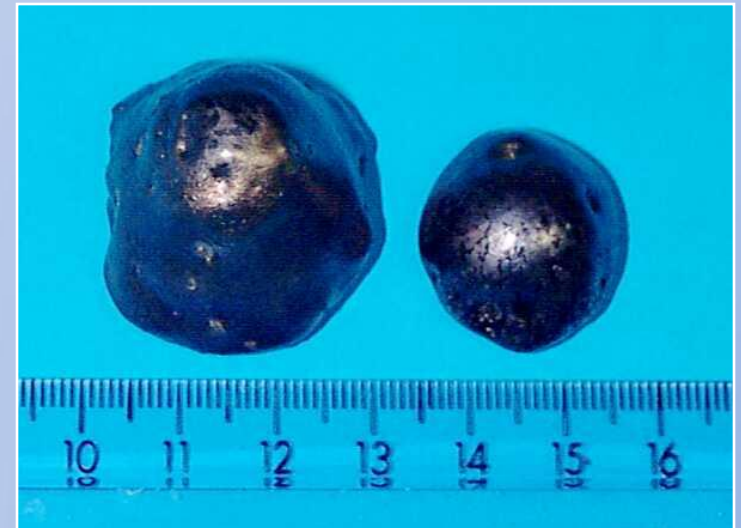
Folhas do tabaco com injúrias após 15 dias de exposição

# Phytoextraction in action

**The location:** a base-metal smelter, South Africa

**The problem:** Ni contamination over 5ha due to Ni salt storage and spillage

**The solution:** phytoextraction using a native nickel-accumulating species



*Rinorea niccolifera*



Níquel

# Phytoextraction for gold

- Thio-ligands can induce the solubility and uptake of gold from waste, low-grade rock
- Discovery made in New Zealand
- Proof of concept achieved and the technology is being field tested
- Aim is a crop of 10 t/ha biomass with 100 mg/kg gold concentration dry weight
- This will yield 1000 g of gold per hectare as well as other metals made soluble
- Current focus is on mercury (Hg) removal at the same time as gold



**Fosterville gold mine,  
Victoria, Australia**

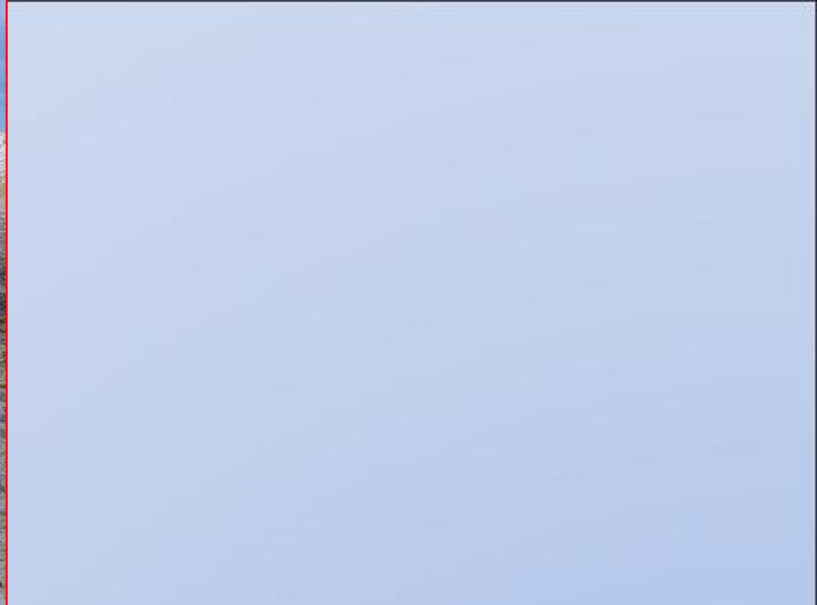


**6th May 2002**

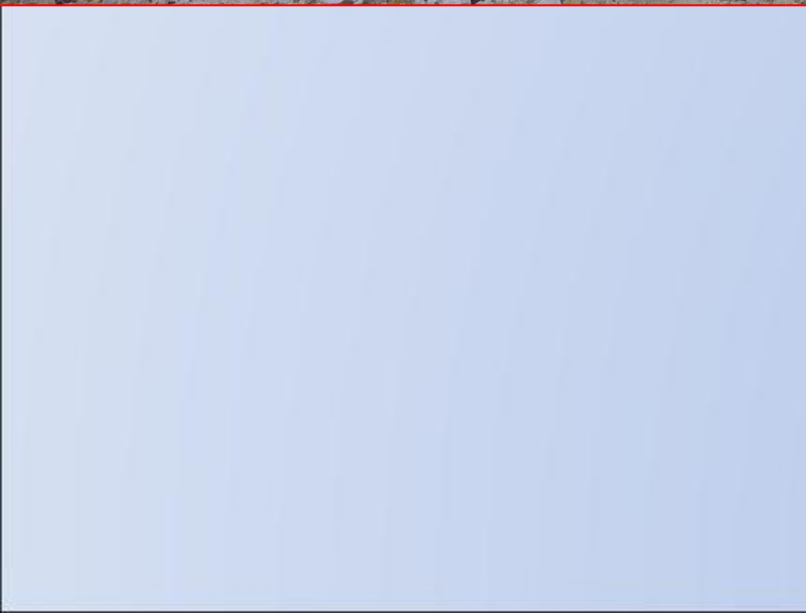


**3<sup>rd</sup> July 2002**

17<sup>th</sup> September 2002

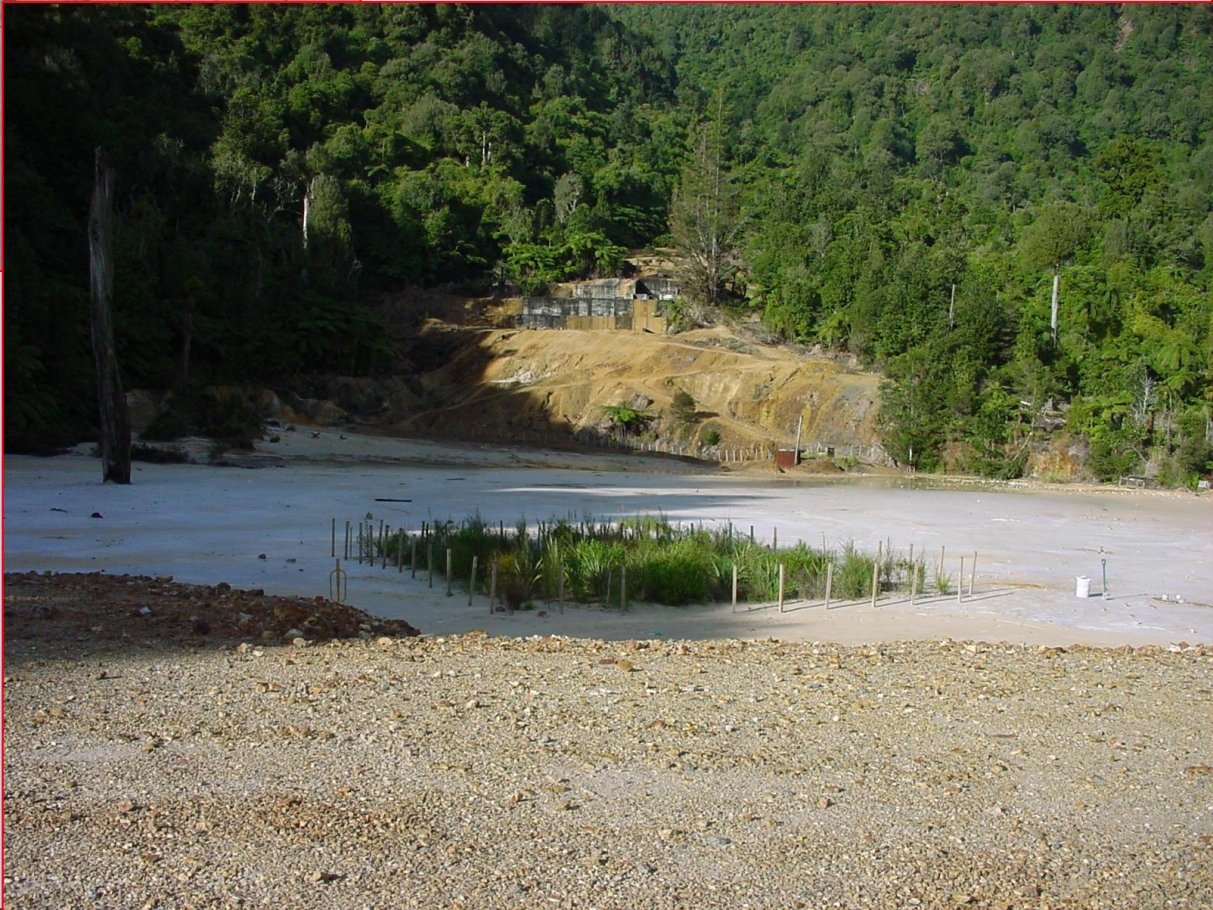
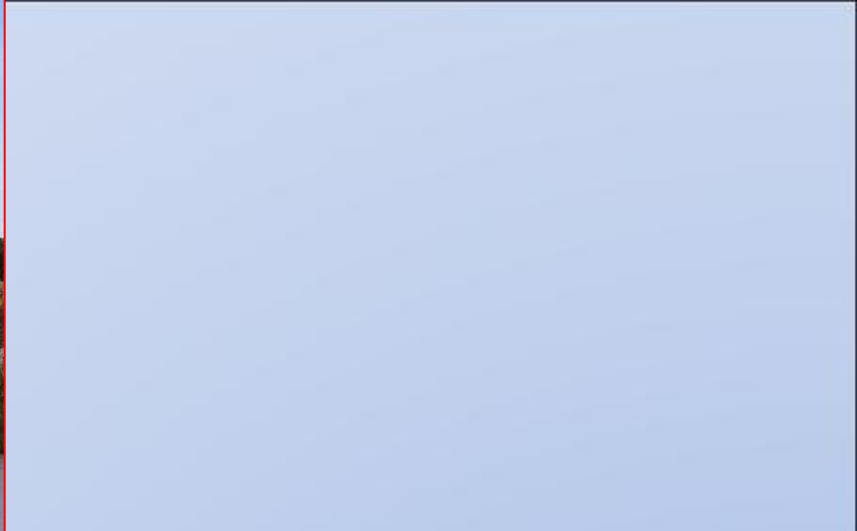


17<sup>th</sup> December 2002





1<sup>st</sup> July 2002





# Metais Pesados

- elementos metálicos com densidade  $> 5\text{g/cm}^3$
- a maior parte ocorre em mais de um número de coordenação, ou seja, podem ser oxidados ou reduzidos
- componentes de várias enzimas
- formação de complexos que facilitam a absorção pelas plantas
- alguns são micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Mo, Co) ou apenas tóxicos (Hg, Pb, Cd, Cr, As)

## METAIS NOS SOLOS:

Solubilidade e disponibilidade:

A fração dos metais presentes no solo que está imediatamente disponível para absorção pelas plantas são as frações solúveis

Para a fitoextração ser efetiva, tem de se solubilizar os metais pesados através de alteração do pH do solo e/ou da adição de agentes quelantes dos metais.

Nos solos, a disponibilidade de metais pesados aumenta para valores de  $\text{pH} < 5,5$ . Agentes quelantes como EDTA podem solubilizar determinados metais (*e.g. Pb*) tornando-os disponíveis para absorção pela planta.

## Fitoredução de mercúrio:

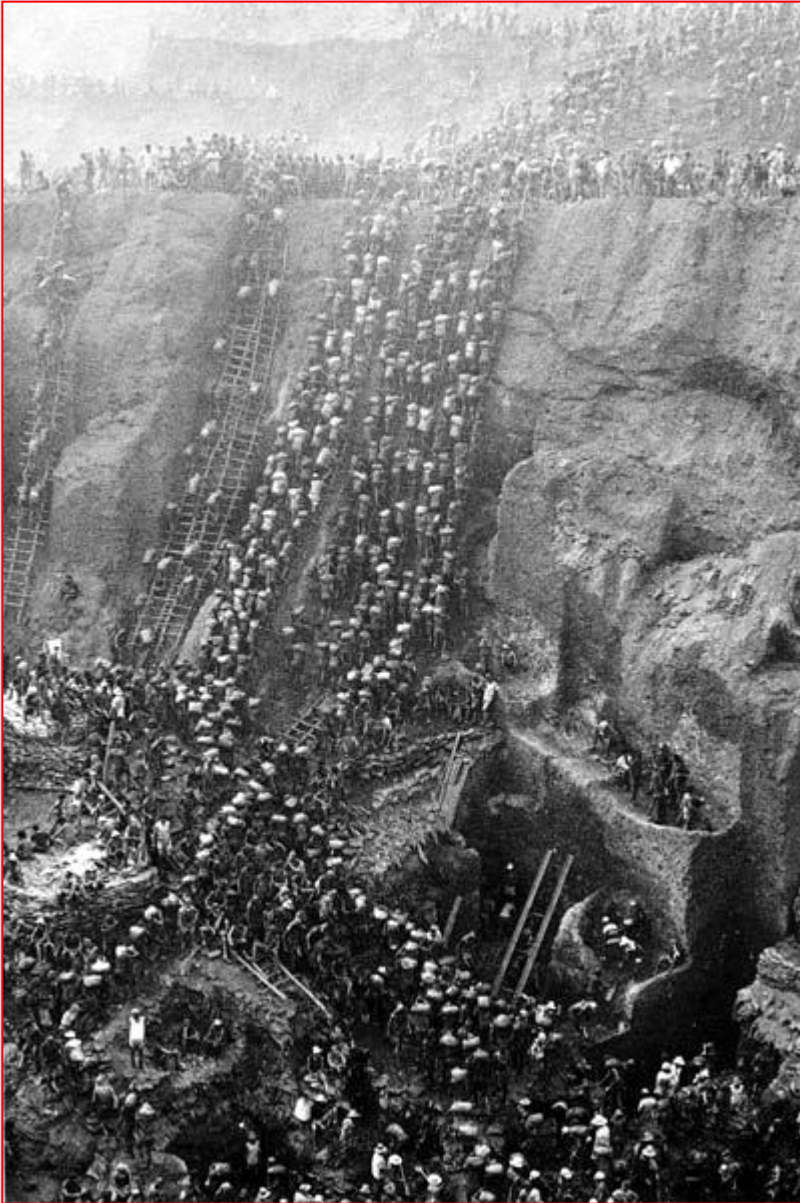
A maior contaminação com mercúrio, proveniente de uma fábrica de acetaldeído, ocorreu na baía de Minamata, no Japão, ao longodos anos 50 e 60.

Esta libertação acidental de mercúrio, ao longo de vários anos, provocou a morte de mais de 1000 pessoas e causou danos neurológicos irreversíveis a 5000-6000 pessoas, expostas a peixe contaminado com mercúrio.

A utilização de mercúrio na extração do ouro é, atualmente, uma das grandes fontes de contaminação. A indústria mineira na Amazônia (Brasil) consumiu durante os anos 80 uma média de 137 toneladas de mercúrio por ano.

# Minas de Ouro, Serra Pelada (Brasil)

Fotografias de Sebastião Salgado





ELSEVIER

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

SCIENCE @ DIRECT®

Environmental Pollution 136 (2005) 341–352

ENVIRONMENTAL  
POLLUTION

[www.elsevier.com/locate/envpol](http://www.elsevier.com/locate/envpol)

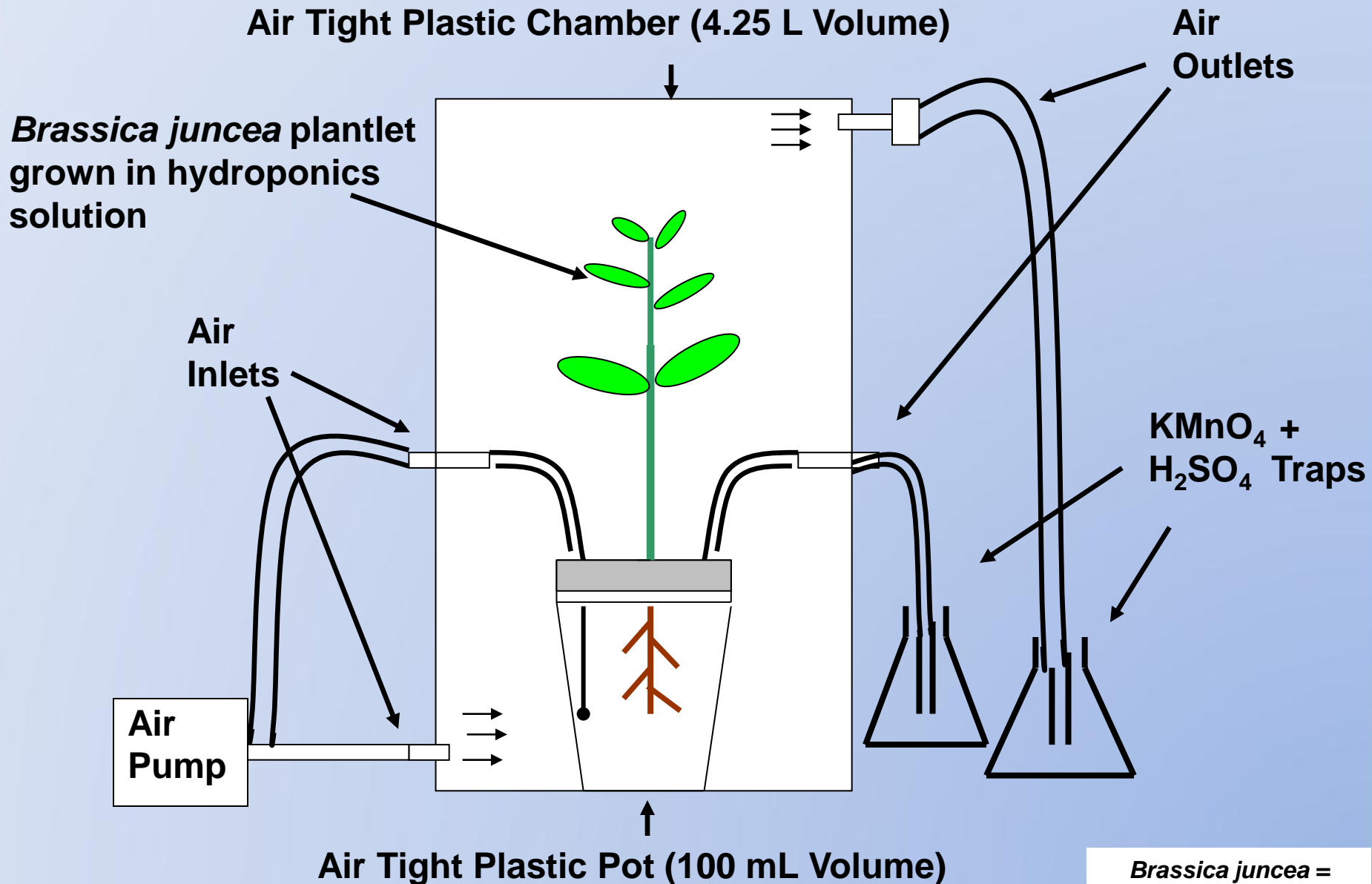
## Mercury volatilisation and phytoextraction from base-metal mine tailings

Fabio N. Moreno<sup>a,\*</sup>, Chris W.N. Anderson<sup>a</sup>, Robert B. Stewart<sup>a</sup>



Fig. 6. Experimental field plot at the Tui mine tailings (North Island, NZ) before application of sodium thiosulphate ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) to the substrate (march/2004). Biomass for *B. juncea* plants grown at the toxic tailings yielded a maximum of 2.5 tonnes/ha after 6 weeks of planting.

# Hg volatilisation studies



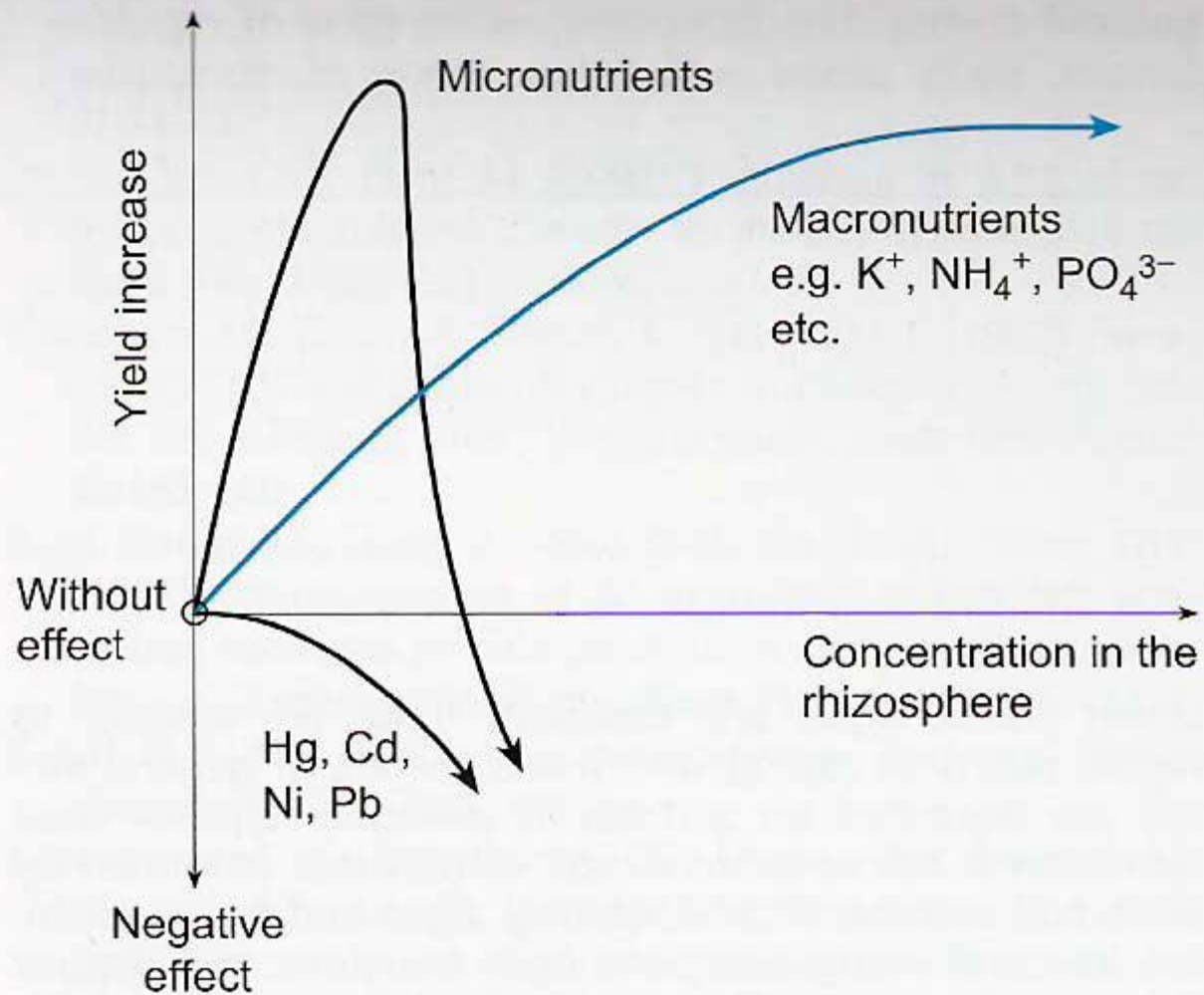
*Brassica juncea* =  
mostarda indiana

# Fitoredução de mercúrio:

As bactérias “desenvolveram” um gene resistente à toxicidade do mercúrio (*mer*). As bactérias convertem o mercúrio orgânico e iônico na sua forma volátil menos tóxica, Hg(0), que se evapora rapidamente através das membranas.

A engenharia genética introduziu o gene *mer* em três espécie testes: *Arabidopsis thaliana*, *Nicotiana tabacum* e *Liriodendron tulipifera*. As plantas transgênicas desenvolvem-se na presença de concentrações letais de mercúrio.





**Fig. 1.7.1.** Influence of ion availability in the rhizosphere on yield. (After Wallnöfer and Engelhardt 1984)



Plantas metalófitas - *Silene vulgaris*

Cd, Co, Cu, Pb, Mn, Ni, Zn



# *Festuca ovina*

Cd, Co, Cu, Pb, Mn, Ni, Zn



# *Agrostis tenuis*

Cd, Co, Cu, Pb, Mn, Ni, Zn

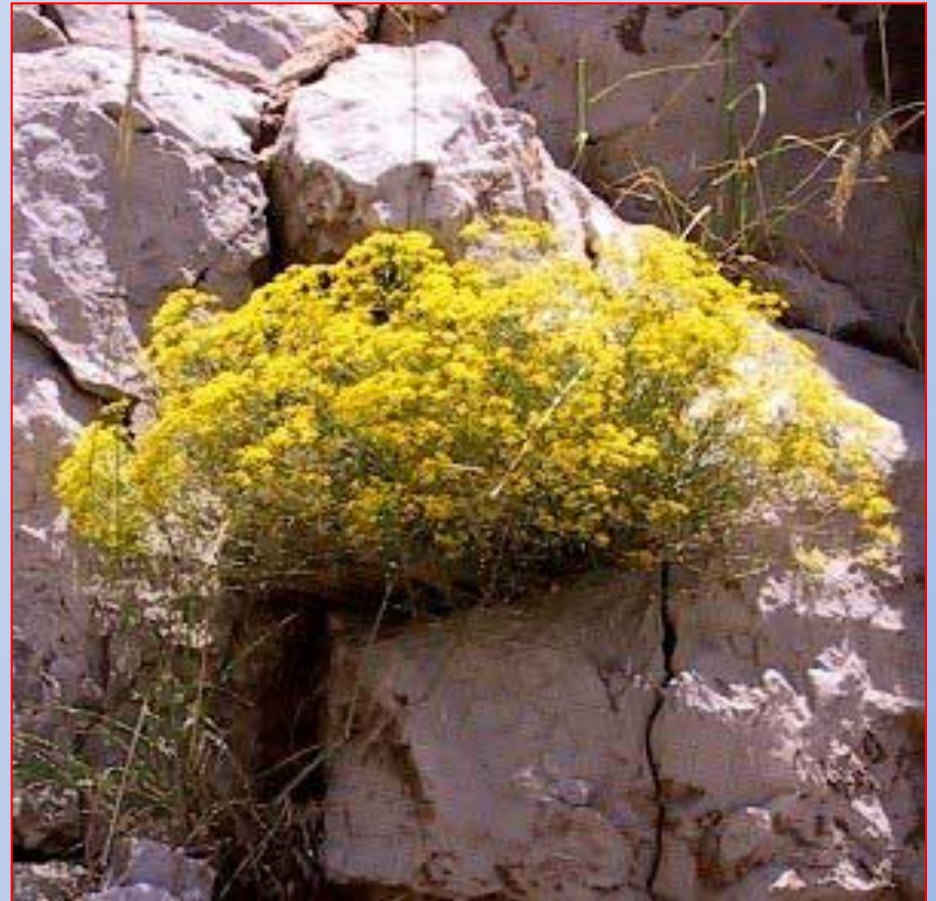
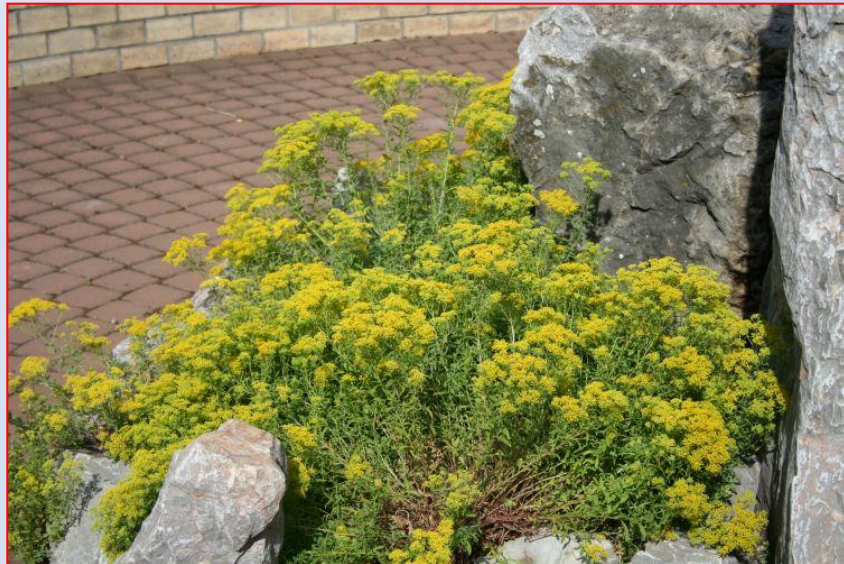


*Minuartia verna*

Cd, Co, Cu, Pb, Mn, Ni, Zn



Plantas metalófitas hiperacumuladoras (>1000 ppm)  
*Alyssum murale* (Ni)





*Thlaspi caerulescens* (Zn, Cd)



*Alyssum murale* (Ni, Zn, Cd)

*Pteris vittata* (As)



# • Metais pesados...ferro

## Deficiência em ferro

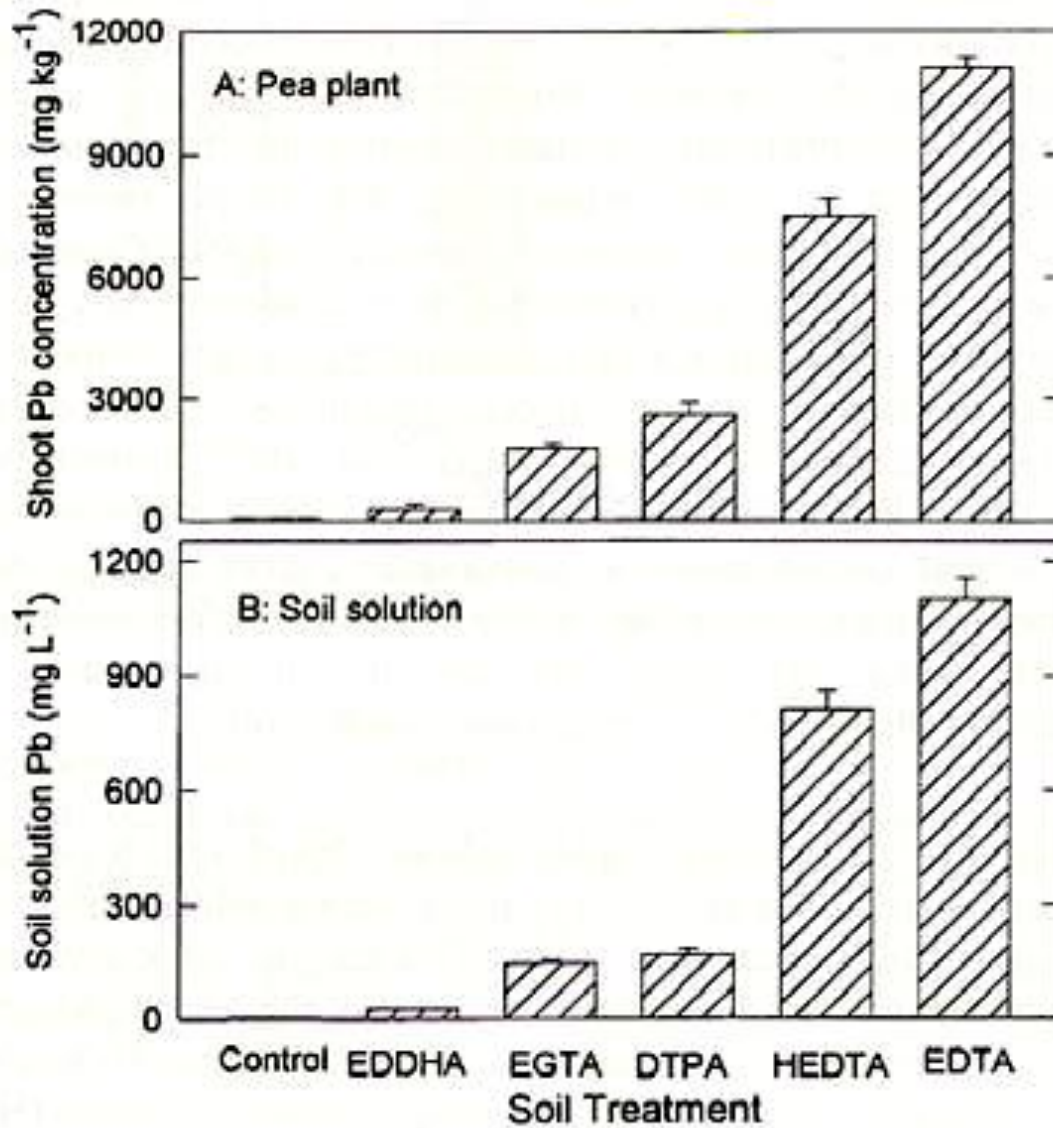
- no solo o Fe ocorre essencialmente na forma oxidada, ou seja, na forma trivalente  $\text{Fe}^{3+}$  (goetite, haematite)
- os óxidos de ferro são insolúveis em ambientes alcalinos – ocorrência de deficiência de Fe
- nas plantas a deficiência em Fe provoca clorose, fenômeno intensificado na presença de fosfato e  $\text{HCO}_3^-$ , uma vez que se formam compostos insolúveis de fosfato de ferro e hidróxido de ferro
- a raiz das plantas apenas absorve a forma reduzida do Fe, ou seja,  $\text{Fe}^{2+}$ , ou seja o Fe tem de ser reduzido antes de entrar na planta – “*quelato redutase*”



# Metais pesados...ferro

## Deficiência em ferro

- as raízes liberam para o solo os ácidos málico e cítrico que se “ligam” aos íons de Fe presentes no solo
- as gramíneas, bactérias e fungos exsudam “**phytosiderophores**” (aminoácidos não-proteicos) que solubilizam o Fe.



Pea = ervilha

# Metais pesados...toxicidade

**Table 1.7.4.** Cadmium content of plants (mg Cd per kg dry weight) in relation to the cadmium content of the soil (Wallnöfer and Engelhardt 1984)

Plant	Organ	Cd content of the soil (mg Cd per kg soil)			
		1.4 (control)	4	10	30
Green cabbage	Leaves (old)	0.7	9.0	18	36
	Leaves (young)	0.4	2.3	5.6	21
	Shoot	0.5	3.1	4.5	9.6
	Root	0.7	2.3	6.7	8.3
Lettuce	Leaves (old)	1.2	9.6	26	44
	Leaves (young)	0.9	3.8	8.1	18
	Root	0.9	4.2	11	21
Red radish	Leaves	0.9	11	21	49
	Tuber	0.4	3.1	7.4	13
	Root	0.8	5.3	11	34
Leek	Leaves	0.6	3.5	16	28
	Stem	0.5	3.4	3.7	17
	Root	0.7	4.1	9.3	24
Bean	Leaves	0.2	0.4	0.5	0.9
	Seeds	0.2	0.2	0.2	0.2
	Shoot	0.5	0.6	0.9	1.6
	Root	0.9	2.8	8.2	14

Bean = feijão; Leek = alho-poró; Cabbage = repolho; Radish = rabanete; Lettuce = alface

## Sensibilidades diferentes em relação ao Cd...

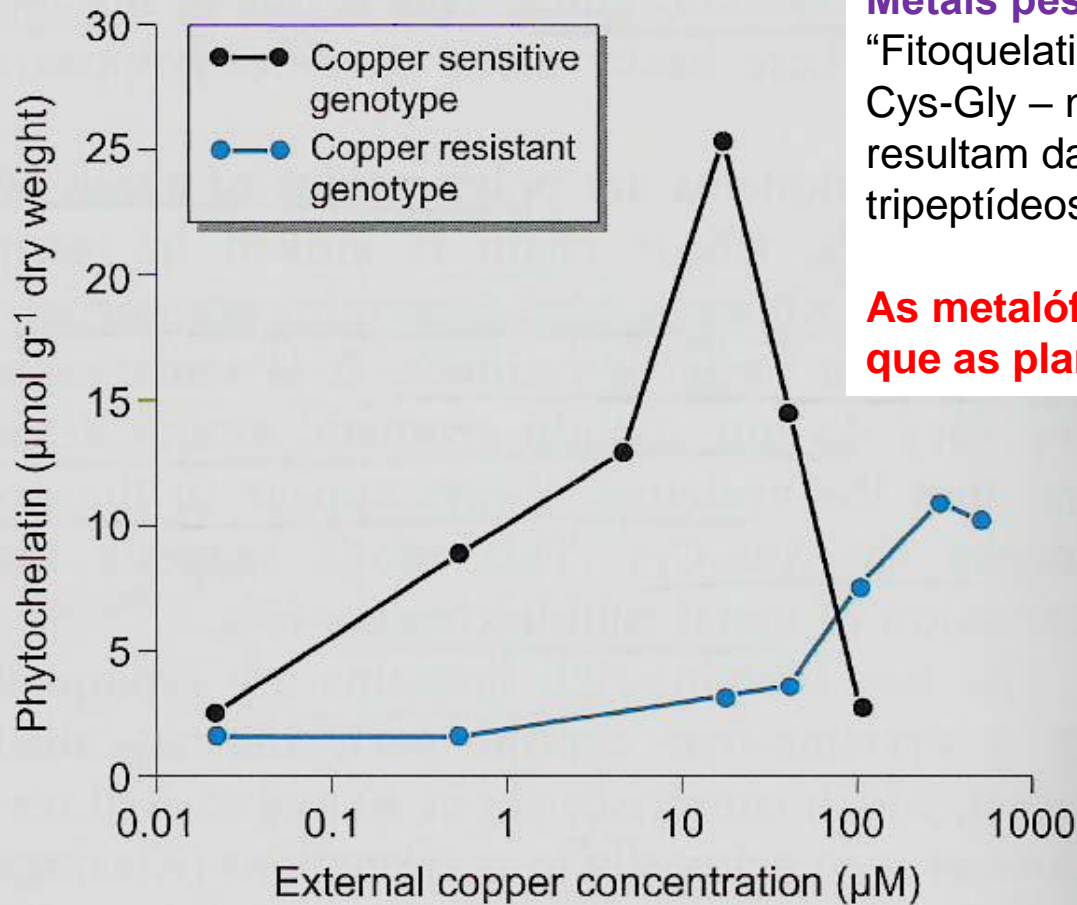
**Table 1.7.5.** Toxicity of Cd for crop plants, measured as Cd content of the leaves that causes 10% reduction of the harvest (Wallnöfer and Engelhardt 1984)

Plant	Cd content of leaves (mg Cd per kg dry weight)
Bean	0.7
Leek	3.0
Green cabbage	>30
Radish	40
Lettuce	>40

Bean = feijão; Leek = alho-poró; Cabbage = repolho; Radish = rabanete; Lettuce = alface

## Metais pesados...reações metabólicas

- imobilização dos metais fora dos protoplastos das raízes
- produção de polipeptídeos que complexam metais dentro do citoplasma e vacúolo (“metalotioninas” e “fitoquelatinas”)
- bombas iônicas para metais: dependentes do ATP e semelhantes às bombas  $K^+/Na^+$ -ATPases da membrana plasmática – removem os metais pesados do protoplasma



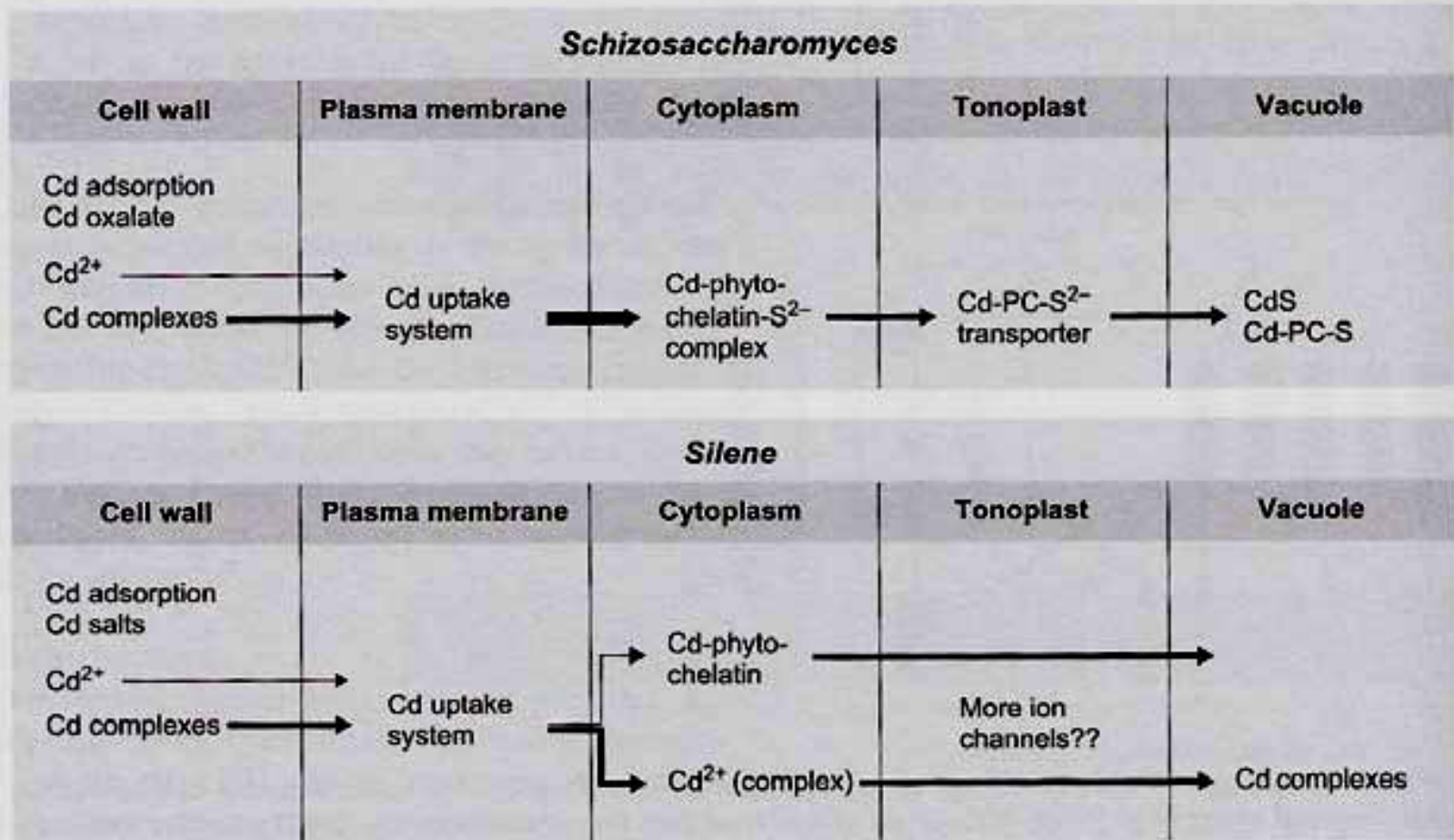
## Metais pesados...fitoquelatinas

“Fitoquelatinas”: derivadas dos tripeptídeos  $\gamma$ -Glu-Cys-Gly – não são produtos primários de um gene; resultam da transferência enzimática dos tripeptídeos.

**As metalófitas produzem menos fitoquelatinas que as plantas sensíveis a metais pesados!**

**Fig. 1.7.9.** Phytochelatin synthesis as related to the copper concentration in the root medium of copper-sensitive and -resistant genotypes of *Silene vulgaris*. (After Ernst 1996)

# Metais pesados...desintoxicação



**Fig. 1.7.11.** Model of cellular and molecular detoxification mechanisms for cadmium in yeast and higher plants. (After Ernst 1996)

**TABLE 6-1. Soil Amendments in Phytostabilization, Suggested Applicability to Metal Contaminants, and Possible Modes of Contaminant Inactivation**

Amendment Type		Possible Target Contaminants	Suggested Mode of Inactivation
Phosphate materials	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , apatite, calcium orthophosphates, Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> , KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , other phosphate fertilizers, high-phosphate byproducts	Pb	Formation of insoluble metal phosphate minerals, such as Pb pyromorphites
Hydrous Fe oxides	Iron Rich or other byproducts containing hydrous Fe oxides, isolated hydrous Fe oxides	As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn	Sorption of contaminants on oxide surface exchange sites, coprecipitation, or formation of contaminant-Fe compounds
Organic materials	Manures, composts, sludges, and other biosolids	As, Cd, Cu, Pb	Sorption of contaminants on exchange sites, or incorporation into the organic material
Inorganic clay minerals	Synthetic zeolites, natural aluminosilicates, or aluminosilicate byproducts from burning of coal refuse	As, Cd, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn	Sorption of contaminants on mineral surface exchange sites, or incorporation into the mineral structure

Source: Adapted from Cunningham and Berti (in press) and Green (1997).



## **Agradecimentos:**

Biodegradação: Cassiana Coneglian

Fitorremediação: Vanessa Kavamura

Biotecnologia Ambiental: Mirela Nery

Biotecnologia Ambiental: Mateus Lobo Fialho

Biotecnologia Ambiental: Thomaz Cal