



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Departamento de Ciência do Solo

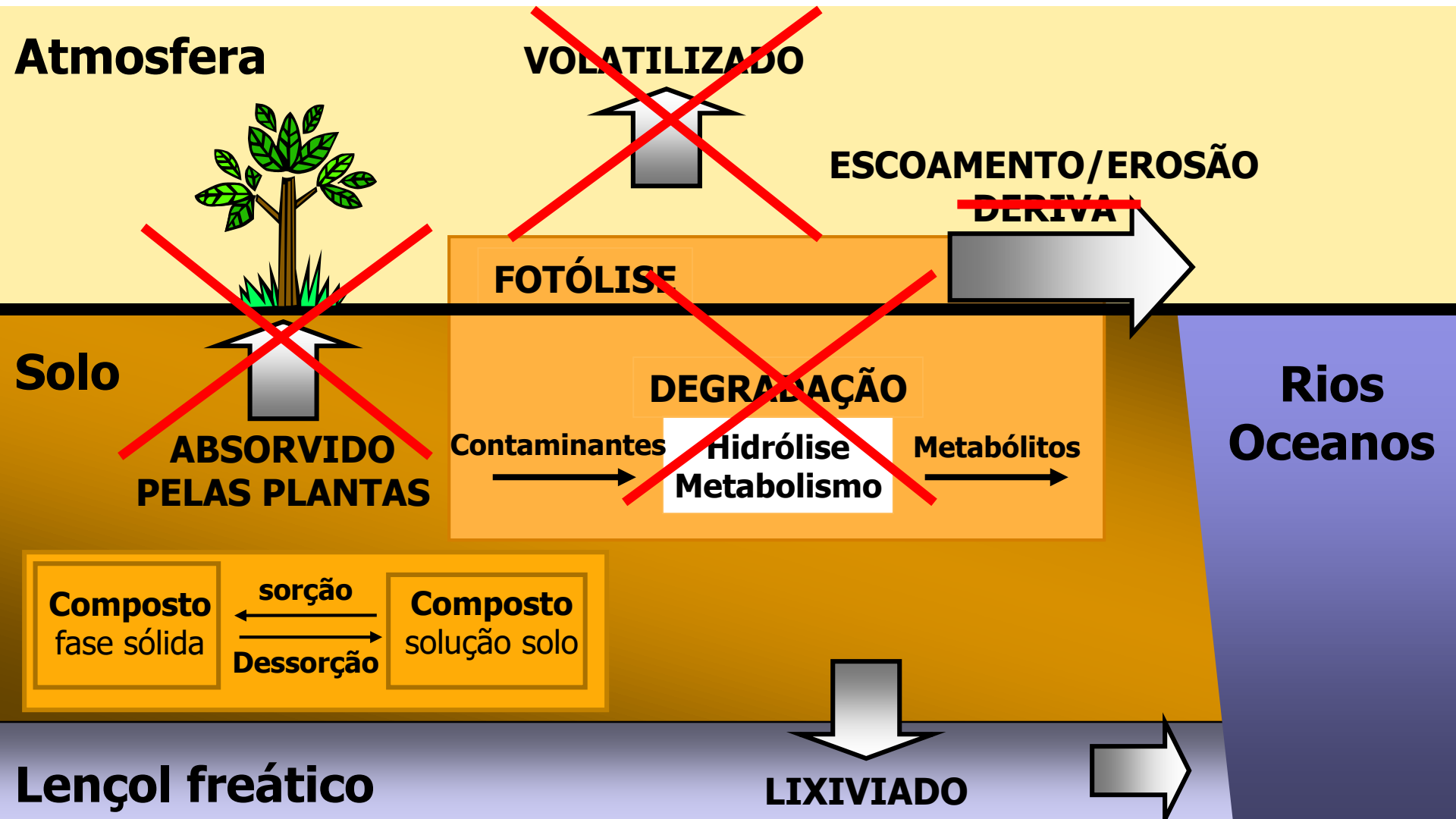
LSO - 0257 - Fundamentos de Ciência do Solo

PROCESSOS DE RETENÇÃO E MOVIMENTO DE CONTAMINANTES ORGÂNICOS E INORGÂNICOS EM SOLOS E AQUÍFEROS

Prof. Dr. Jussara Borges Regitano
Prof. Dr. Antonio Roque Dechen
Prof. Dr. Quirino Augusto de Camargo Carmello

Piracicaba
2017

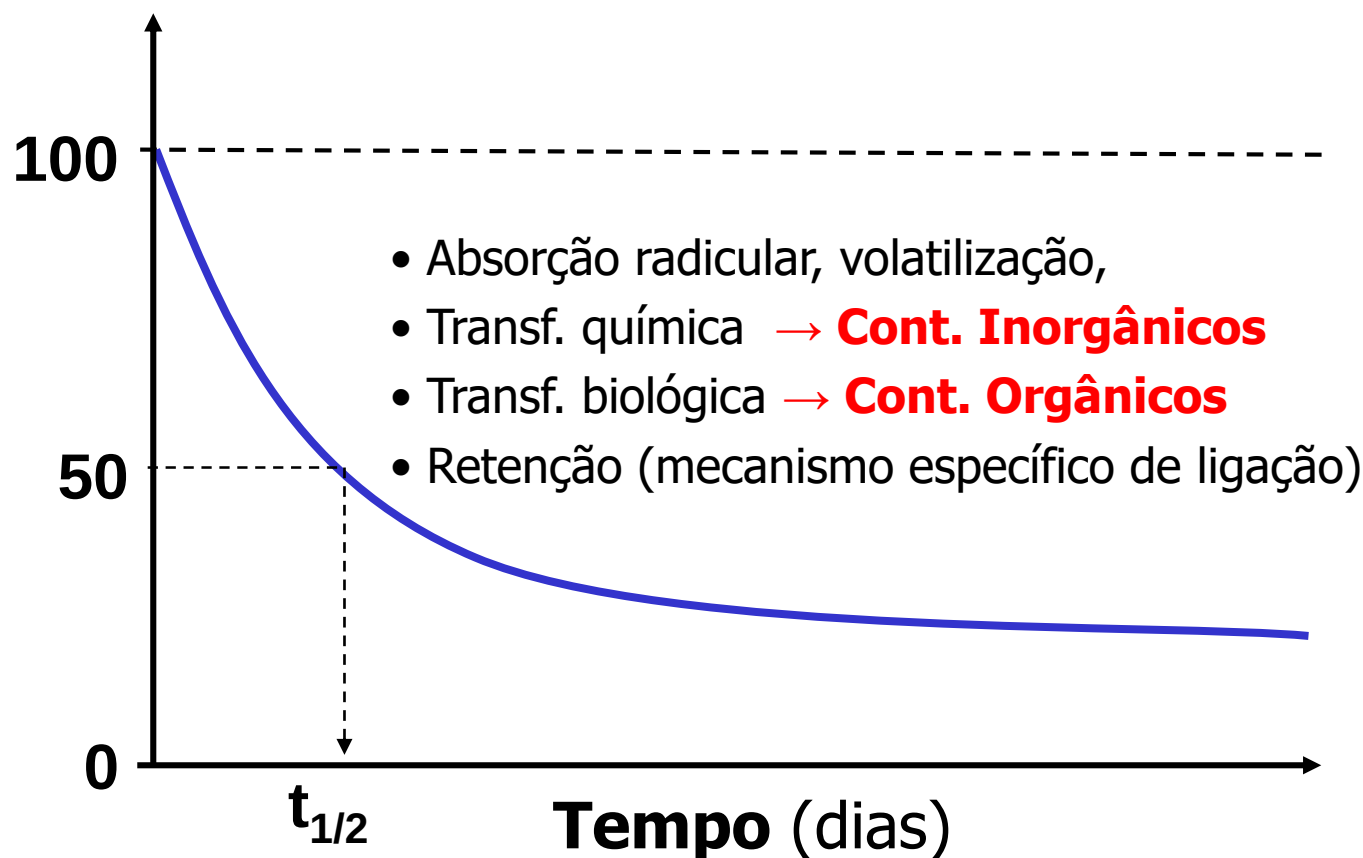
Dinâmica de contaminantes no ambiente



Dissipação de Contaminantes

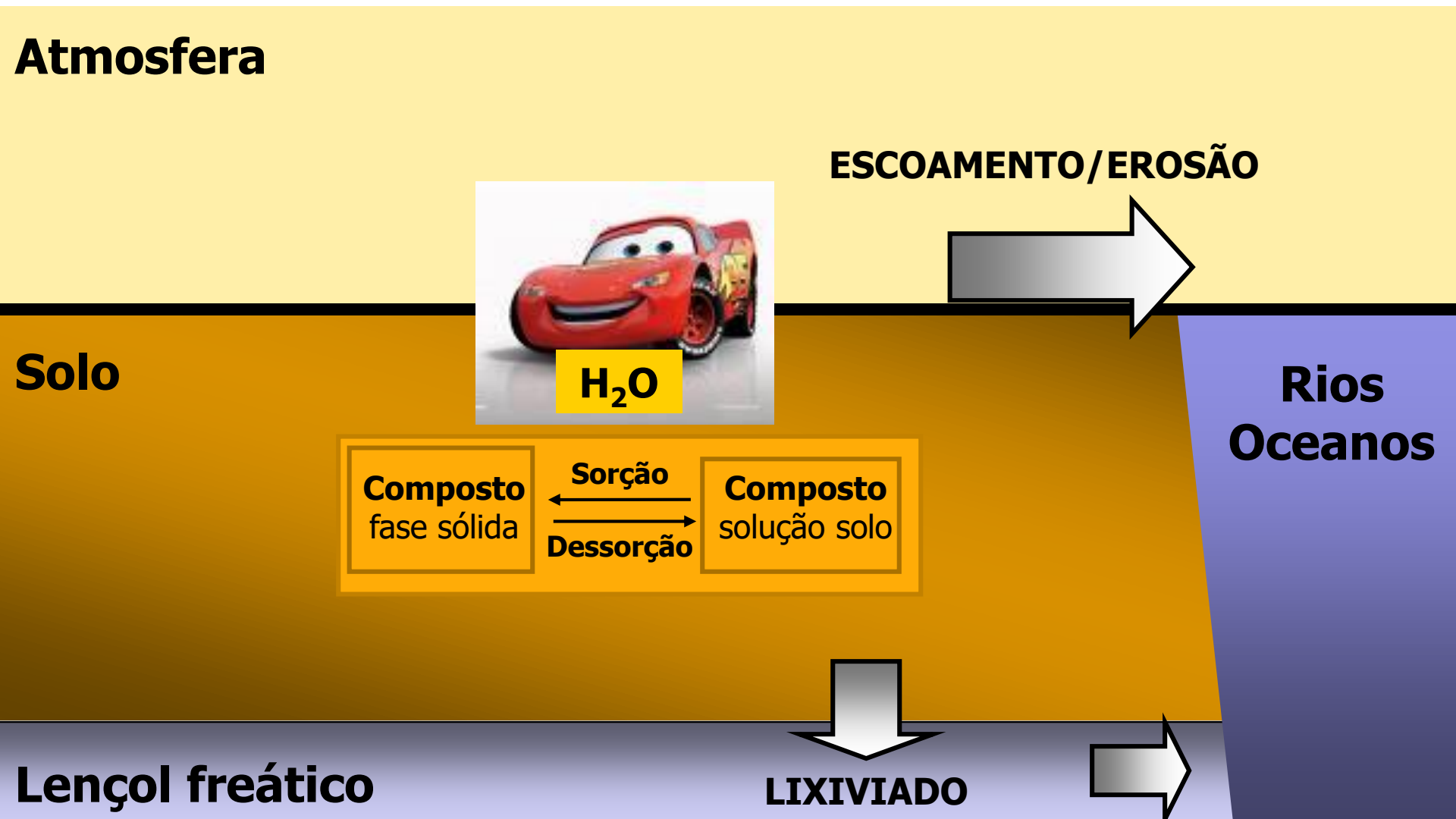
Perda
(% aplicado)

↑ $t_{1/2}$ → ↑ persistência

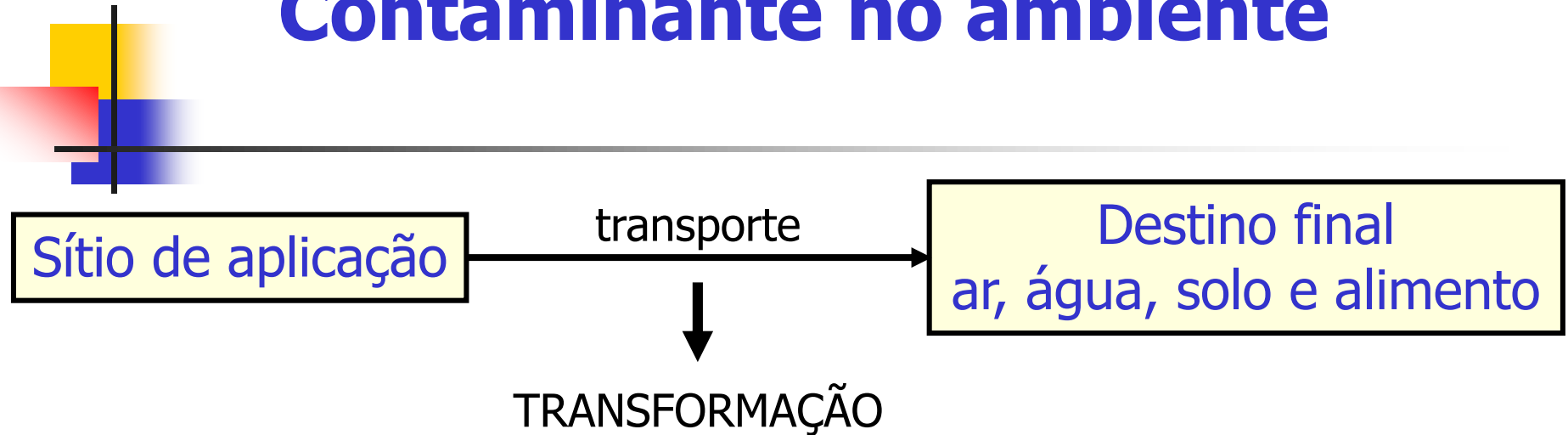


Dissipação

Retenção e Transporte: Solos e Aquíferos



Contaminante no ambiente

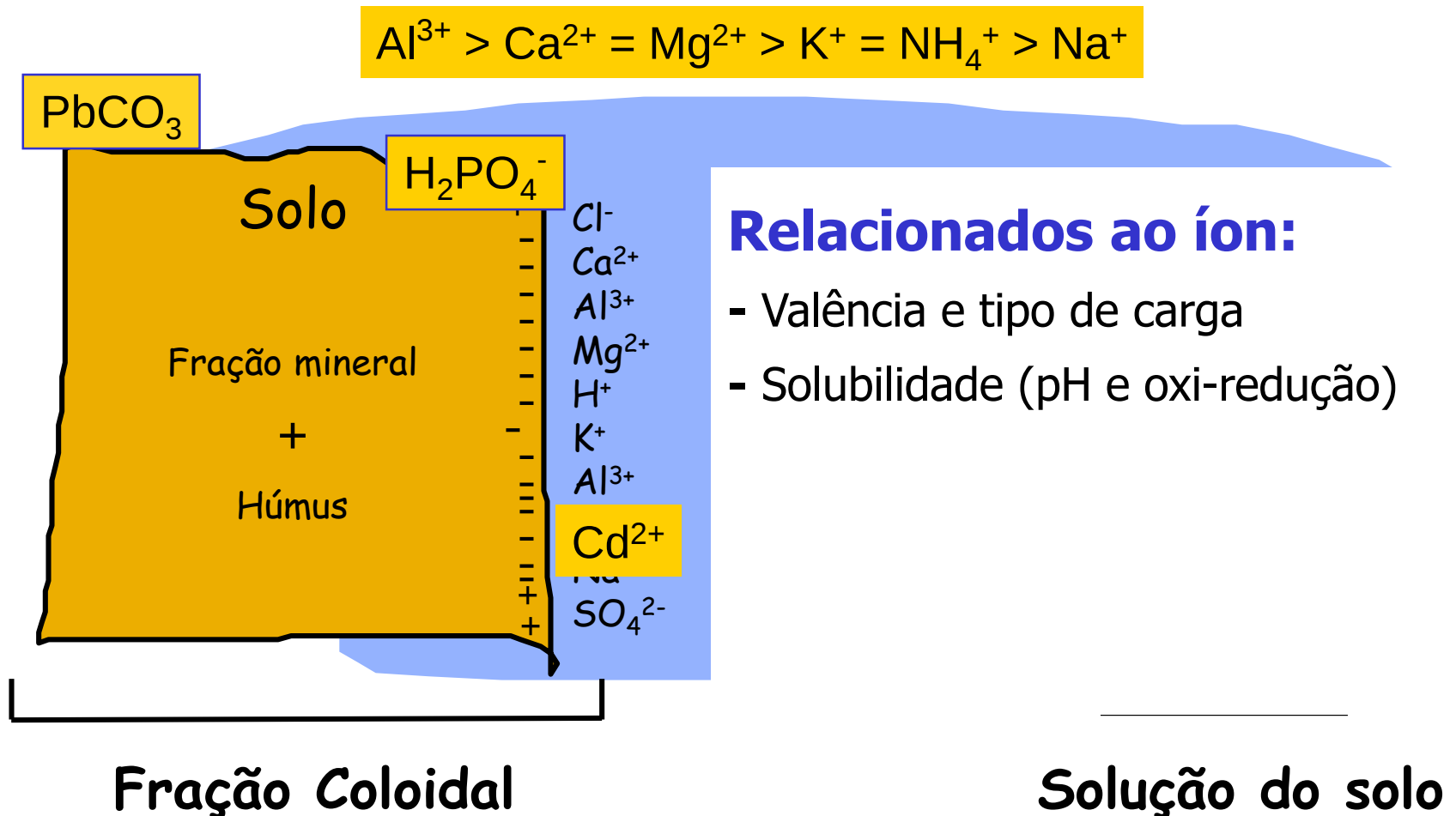


1. Potencial de sorção
2. Taxa de degradação
3. Condições edafo-climáticas
4. Propriedades físico-químicas do solo e do contaminante



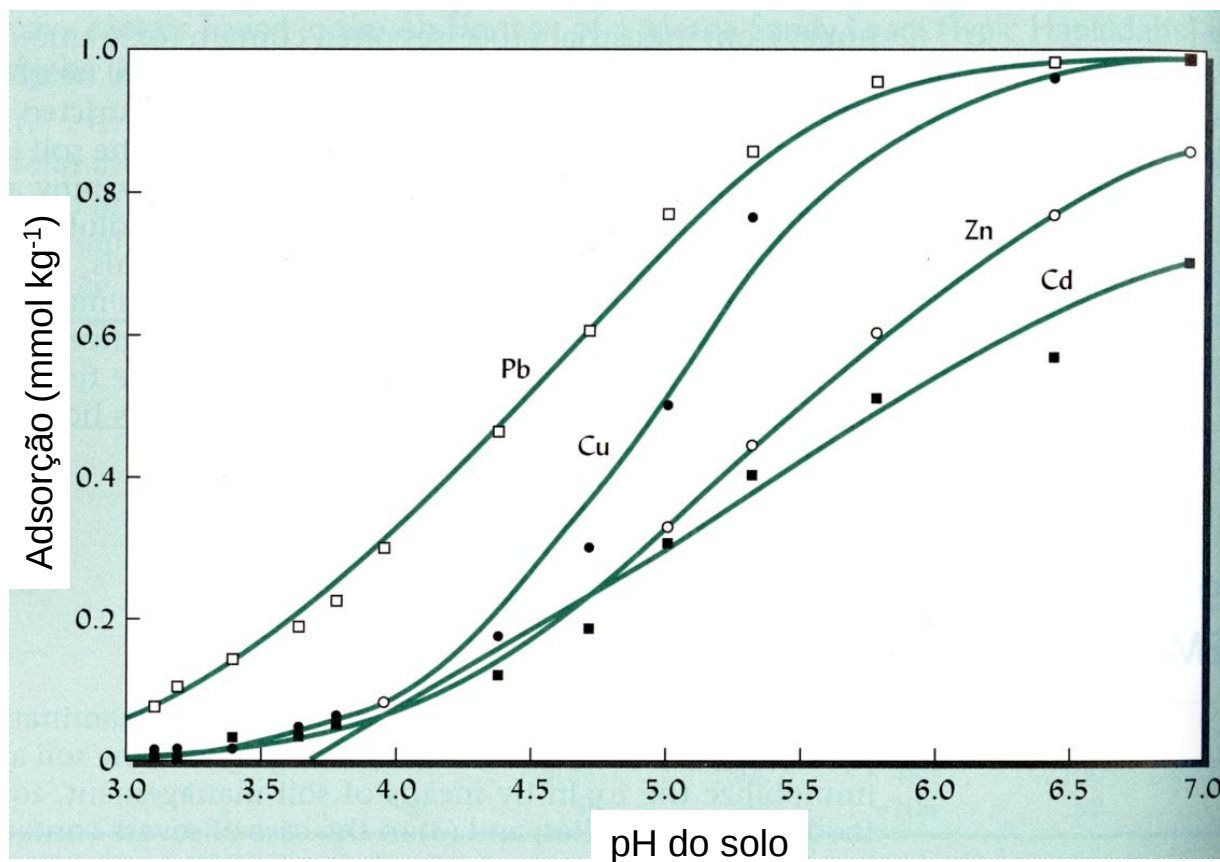
I. Processos de Retenção (ou Sorção) de Contaminantes Orgânicos e Inorgânicos em Solos e Aquíferos

Sorção de Contaminantes Inorgânicos (Fertilizantes, Indústria e Metais Pesados)



Efeito do pH do solo na sorção de metais pesados

↑ pH → ↓ Solub → ↑ Sorção





Retenção de metais pesados ao solo

Formas	% Elementos			
	Cd	Cr	Cu	Pb
Trocável/Sorvida	1	1	2	1
Complexos orgânicos	20	5	34	3
Carbonatos, óxidos de Fe	64	19	36	85
Residual (S, formas insol.)	16	77	29	12

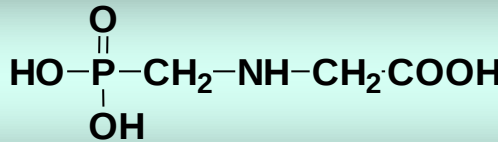
Sorção de Contaminantes Orgânicos (Solventes, Petróleo e Pesticidas)

$$K_{oc} = >300 \text{ L kg}^{-1}$$

$$S_w = 11,6 \text{ g L}^{-1}$$

Baixa
solubilidade

Alta
solubilidade



Solo

Fração mineral

+

Húmus

Cl⁻
Ca²⁺
Al³⁺
Mg²⁺
H⁺
K⁺
Al³⁺
Ca²⁺
Na⁺
SO₄²⁻

Relacionados ao composto:

- Solubilidade em água
- Polaridade
- Caráter iônico
- Persistência ($t_{1/2}$)
- Tipo de formulação
- Taxa e modo de aplicação (incorp.)

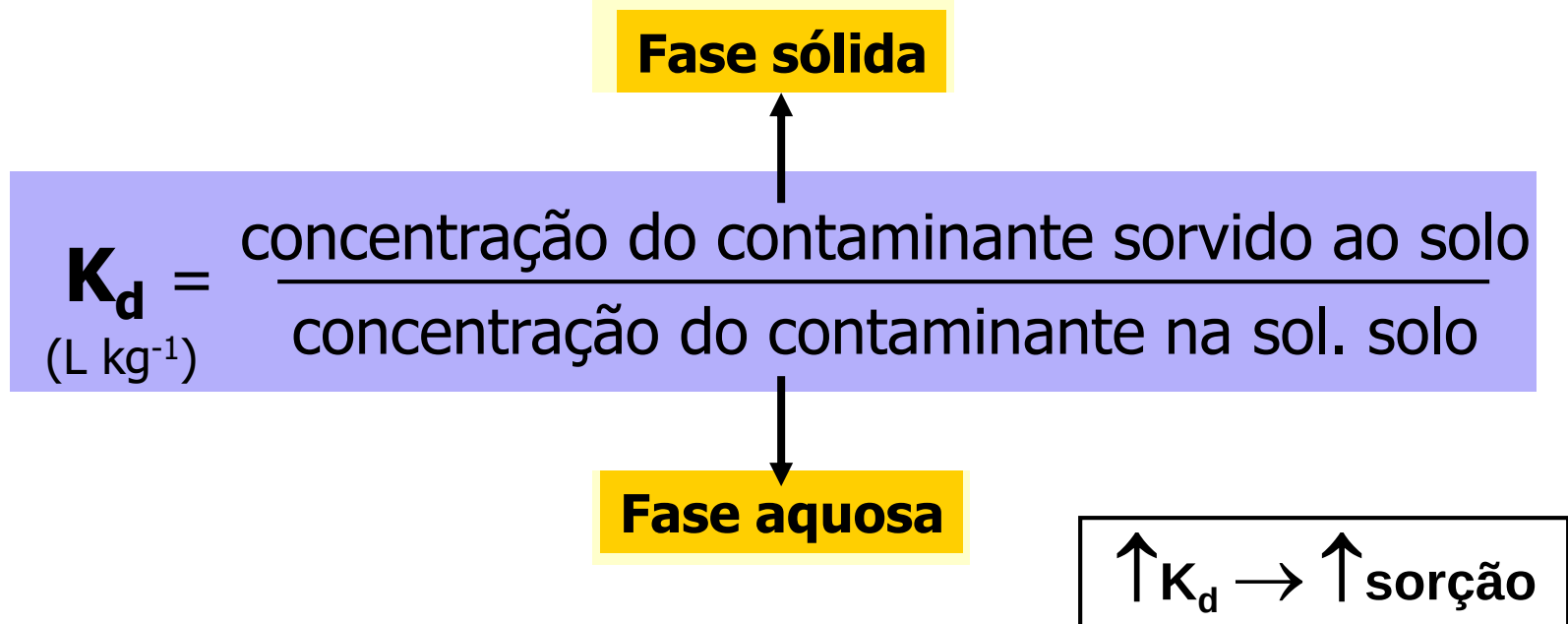
Fração Coloidal

Solução do solo



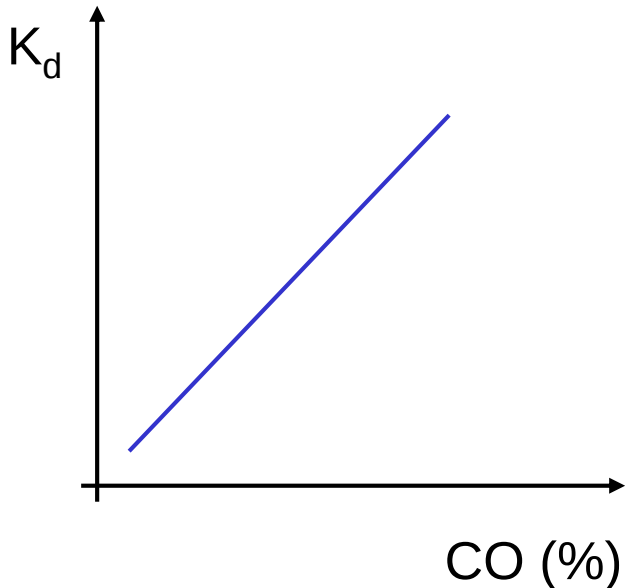
Potencial de sorção

- ◆ Refere-se ao potencial de **retenção** de uma determinada molécula junto à superfície do solo



Sorção para Contaminantes Orgânicos (K_{oc})

- ◆ Refere-se ao potencial de **retenção** (K_d) normalizado ao teor de C_{org} do solo.

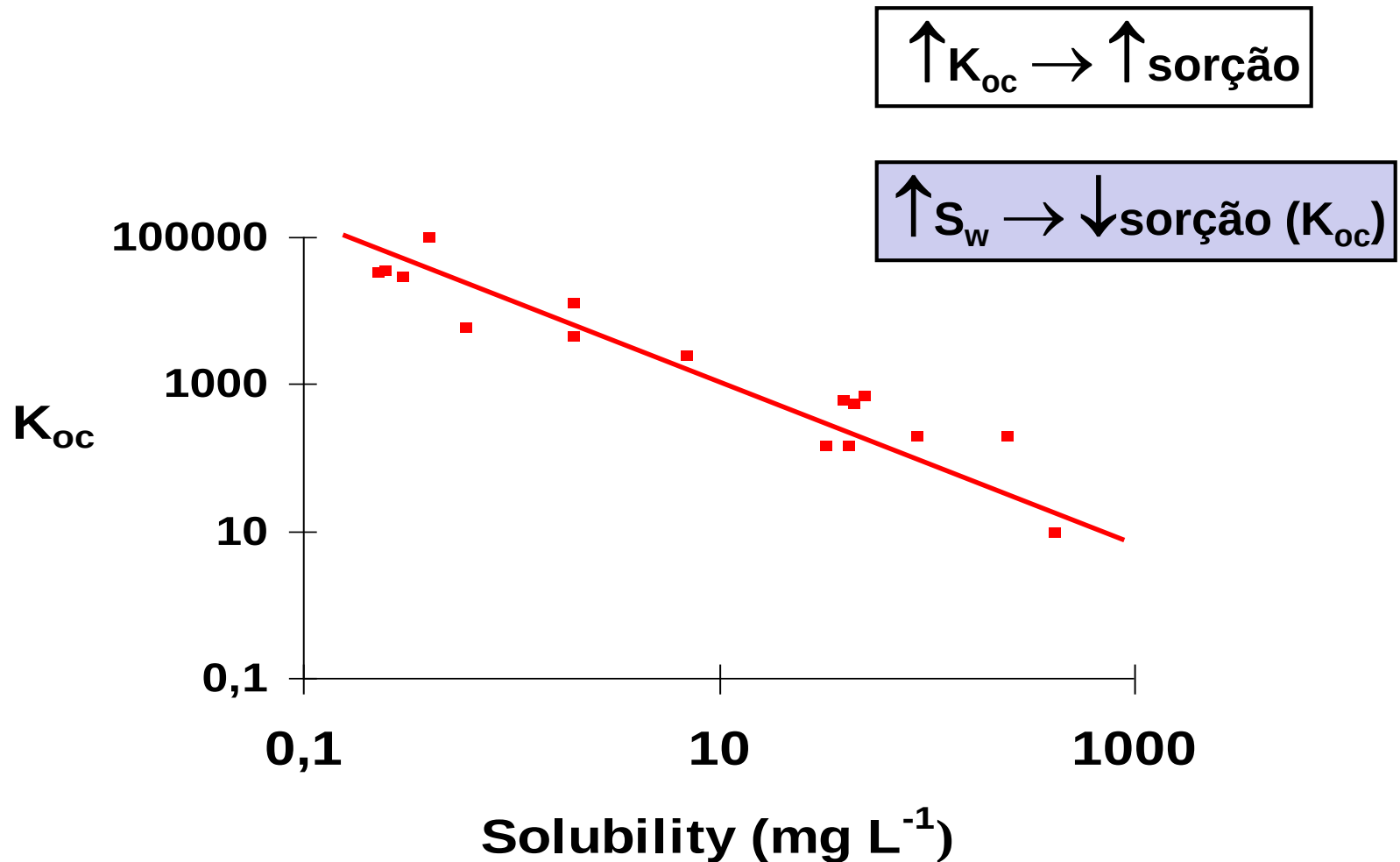


$$K_{oc} = \frac{K_d \times 100}{\text{Teor de } C_{org} \text{ do solo } (\%)}$$

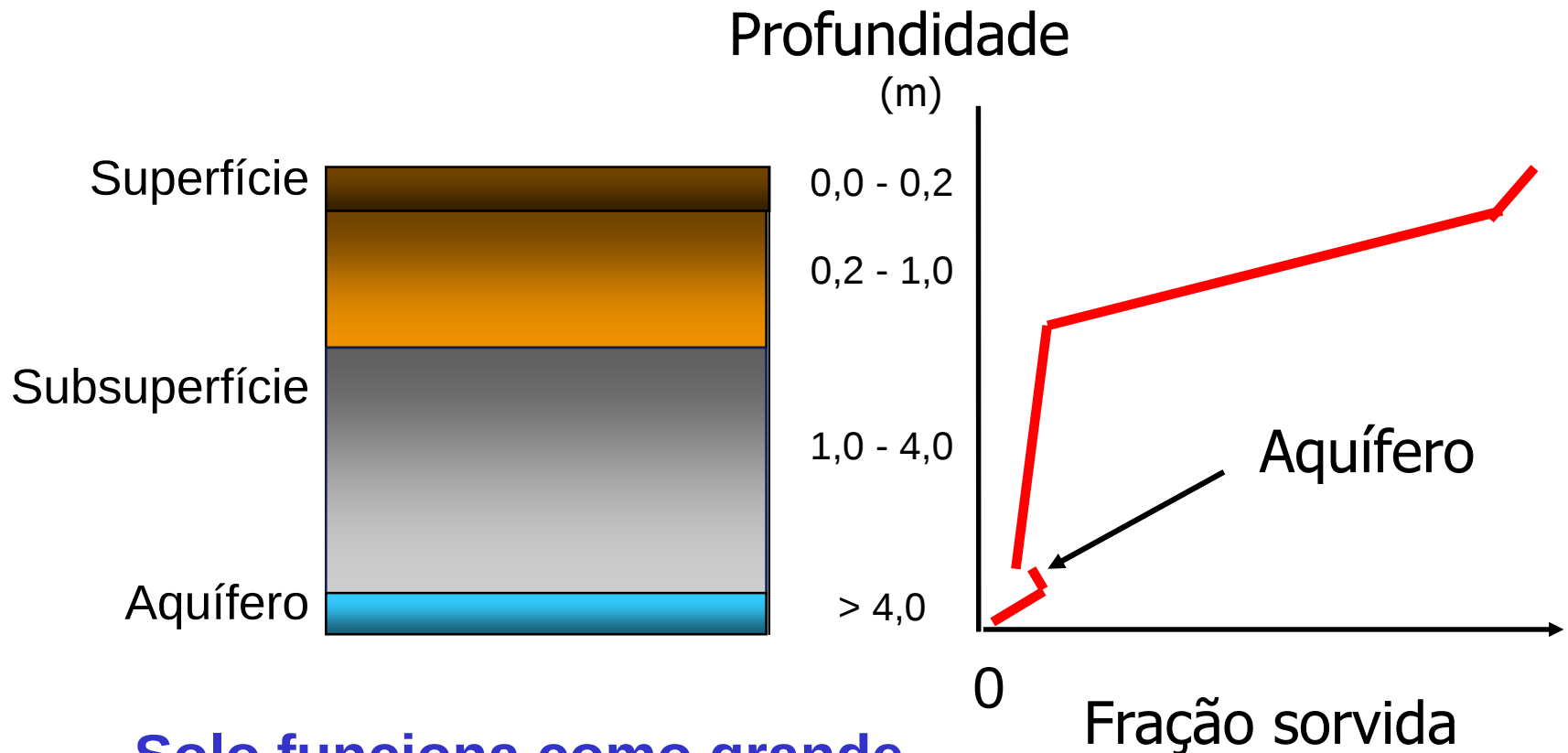
($L \text{ kg}^{-1}$)

- ◆ Por que?
Afinidade orgânico/orgânico

Sorção em *f*(solubilidade)

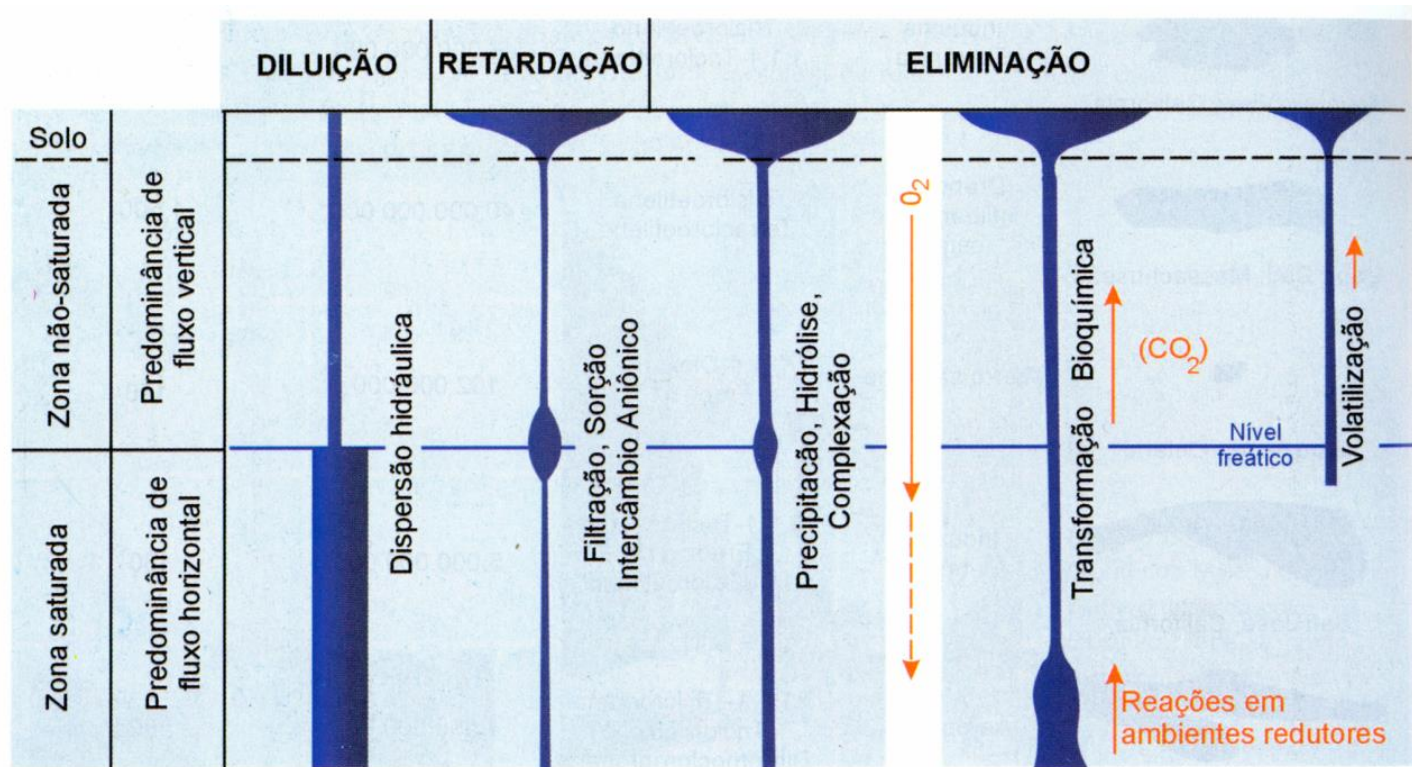


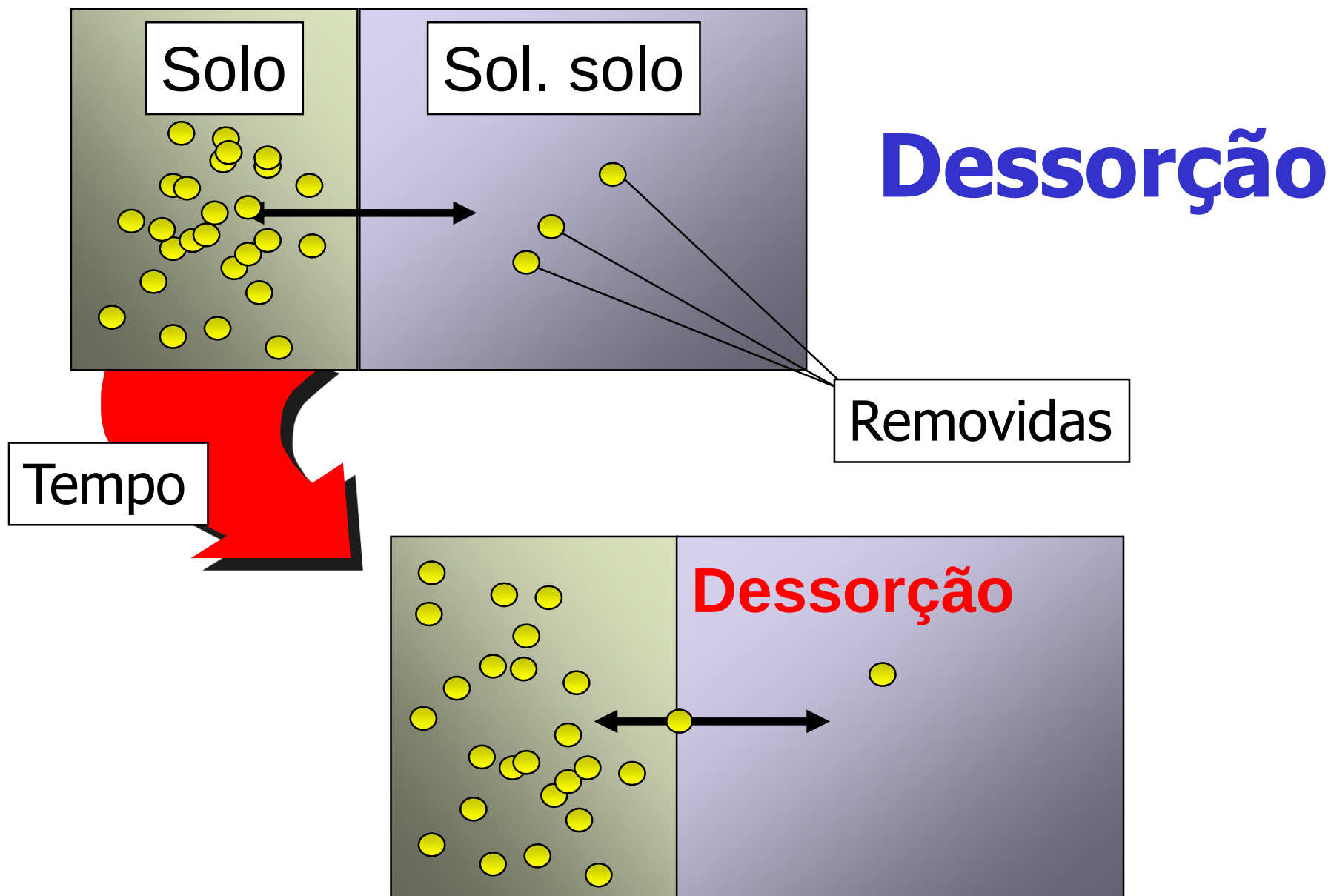
Sorção em f (profundidade)



**Solo funciona como grande
filtro/depurador de contaminantes**

Intensidade dos processos de atenuação de contaminantes no solo, na zona vadosa e na zona saturada (Aquífero)

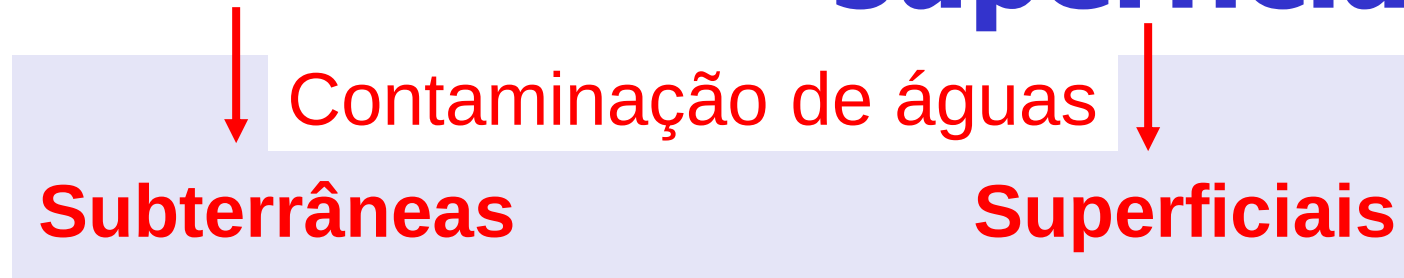






II. Processos de Transporte de Contaminantes Orgânicos e Inorgânicos em Solos e Aquíferos

Lixiviação X Escoamento superficial

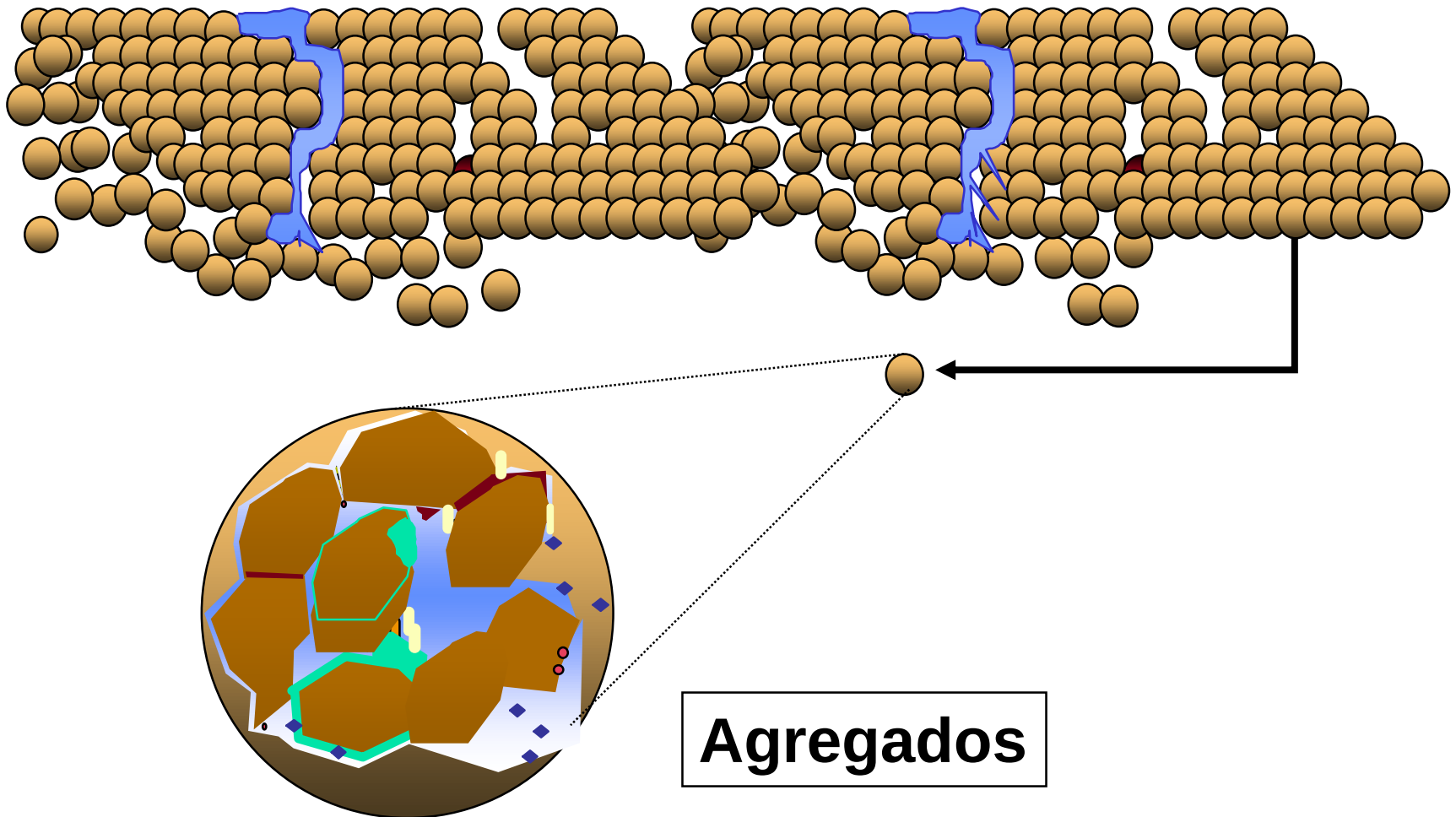


- ♦ **Lixiviação:** refere-se ao movimento vertical do contaminante, pela ação da água.
- ♦ **Escoamento superficial:** refere-se ao movimento horizontal do contaminante na superfície do solo, pela ação da água.

Ambos os casos, o contaminante pode ser carregado:

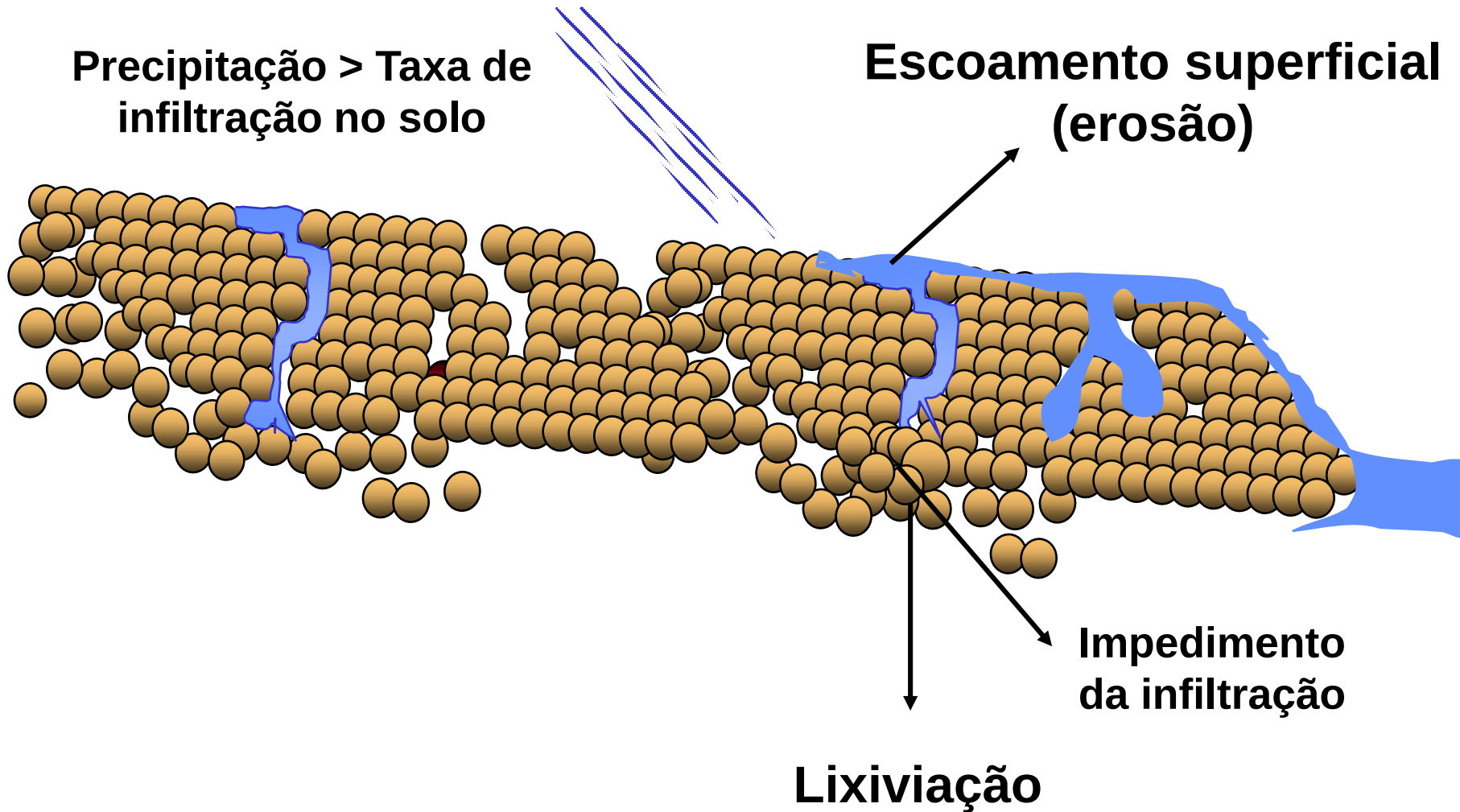
- “livre” na solução do solo
- “sorvido” junto aos sedimentos

Solos: Coleção de agregados conectados

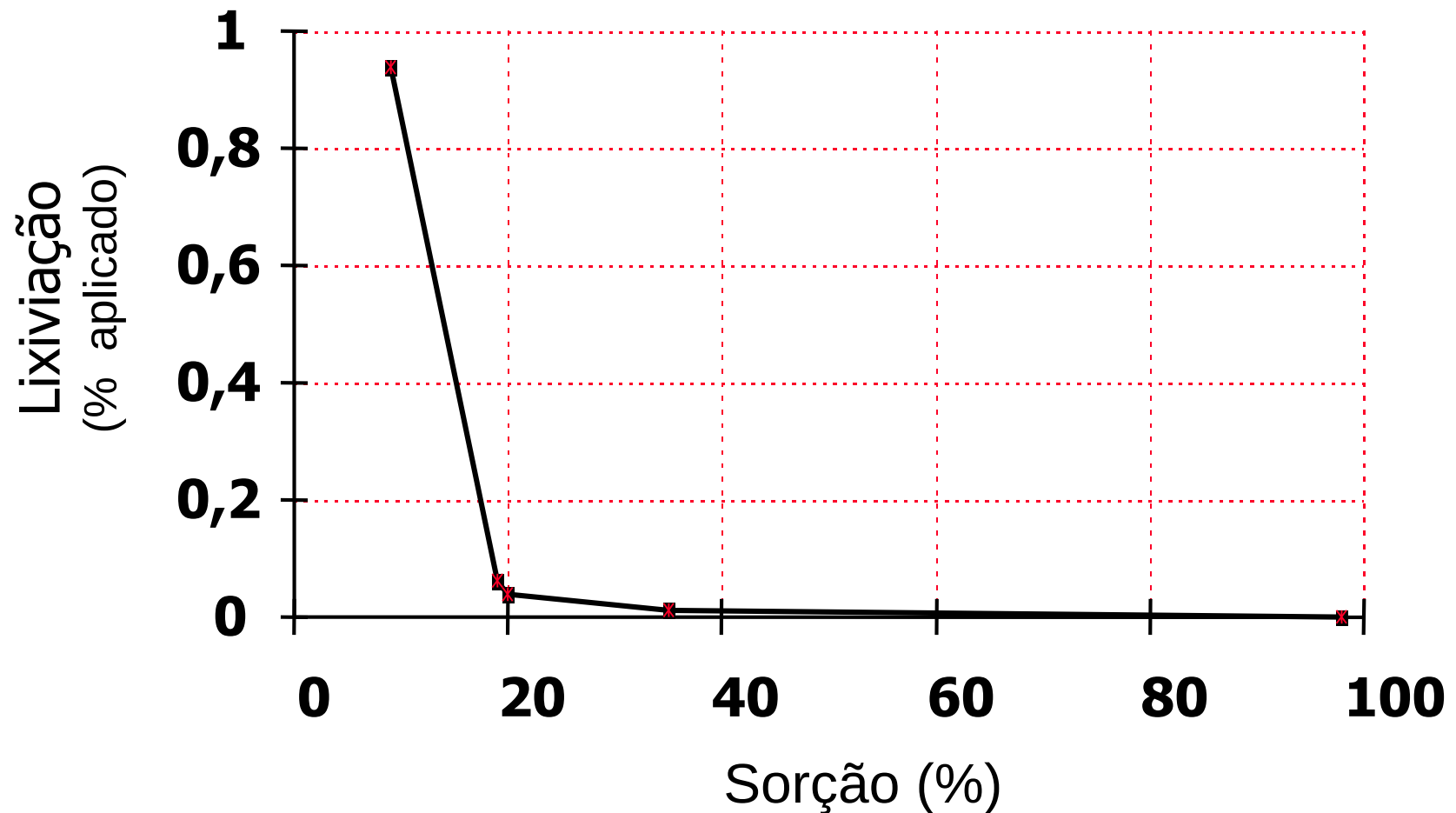


Natureza dos Solos

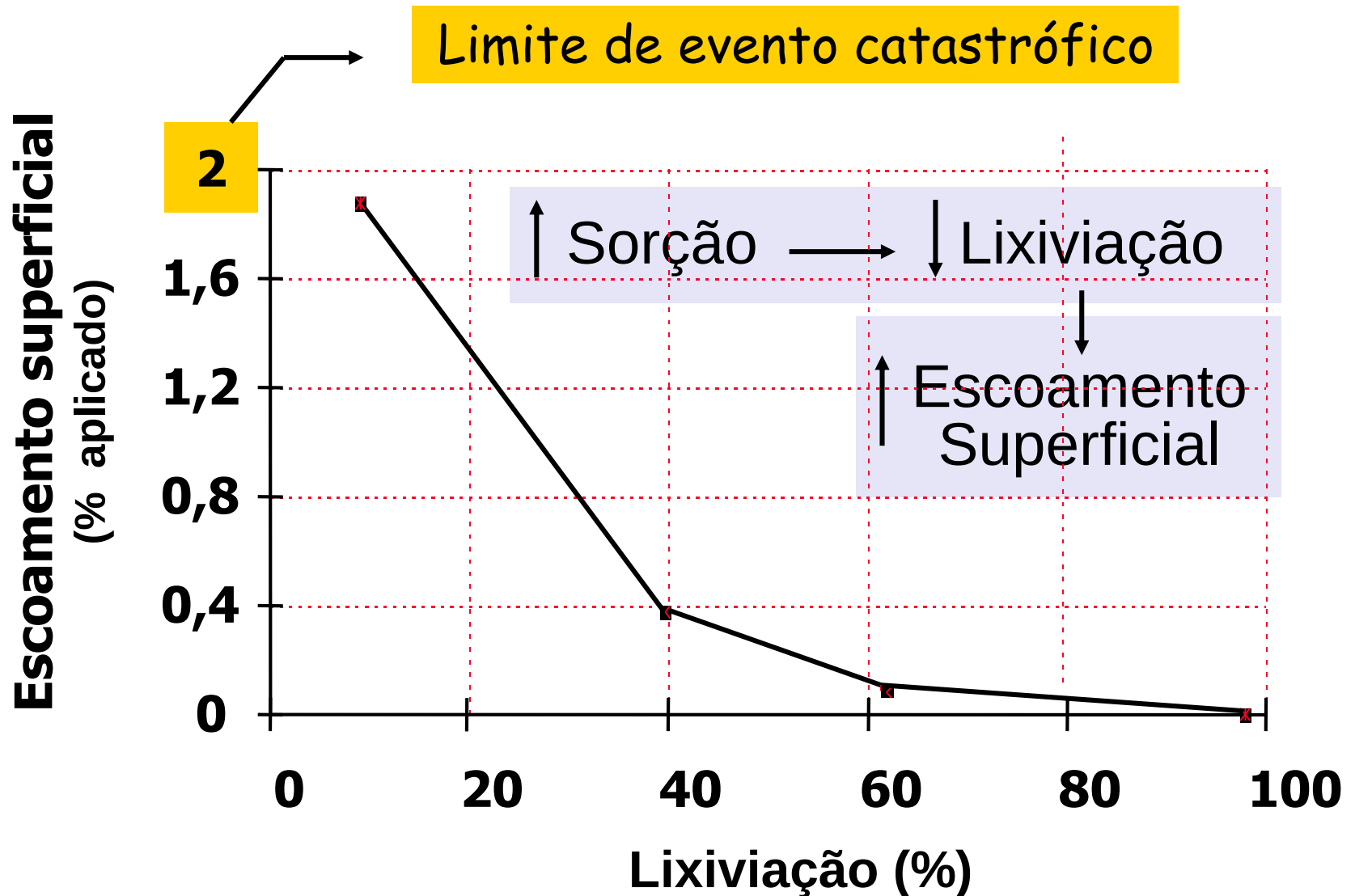
Coleção de agregados conectados



Lixiviação em $f(\text{sorção})$



Lixiviação x Escoamento superficial





Critérios para lixiviação (pesticidas)

- ◆ **CDFA (California Dep. of Food and Agric.)**

$K_{oc} < 512 \text{ L kg}^{-1}$ e $t_{1/2} > 11$ dias - lixiviável

Potencial de lixiviação de alguns herbicidas

Herbicidas	K_{oc}	$t_{1/2}$	CDFA
Glifosato	24000	47	-
Atrazina	100	60	L
2,4-D	60	10	-
Sulfosate	57000	-	-
Simazina	<97	22	L
Trifluralina	7000	45	-
MSMA	7000	185	-
Metolaclor	200	195	L
Diuron	480	90	L



CrITÉRIOS para escoamento superficial (pesticidas):

◆ Goss (1992)

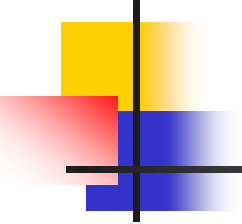
- $K_{oc} \geq 1000$ e $t_{1/2} \geq 40$ dias
- $K_{oc} \geq 500$, $t_{1/2} \geq 40$ dias e $S_w \leq 0,5 \text{ mg L}^{-1}$
- Transporte associado a sedimentos

◆ Leonard (1990)

- $S_w > 30 \text{ mg L}^{-1}$
- chuva logo após aplicação ($> 10 \text{ mm}$, 14 d)
- Transporte "livre" em solução (na água)

Potencial de escoamento de alguns herbicidas

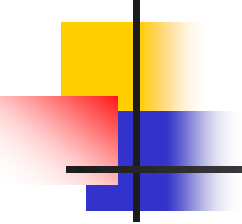
Herbicidas	K_{oc}	t_{1/2}	S_w (mg L⁻¹)	Goss
Glifosato	24000	47	11600	ES
Atrazina	100	60	33	-
2,4-D	60	10	890-45000	-
Sulfosate	57000	-	-	ES
Simazina	<97	22	6,2	-
Trifluralina	7000	45	0,22	ES
MSMA	7000	185	-	ES
Metolaclor	200	195	488	-
Diuron	480	90	42	ES



Fatores que afetam a lixiviação e o escoamento de contaminantes

♦ Climáticos:

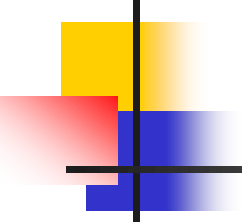
- Intervalo de chuva em relação à aplicação:
- Intensidade de chuva: chuva > infiltração, ↑ escoam.
- Duração da chuva: móvel (↑ lix., ↓ escoamento) →
 NO_3^-
imóvel (↓ lix., ↑ escoamento) →
 H_2PO_4^-
- Tempo de ocorrência da erosão: antes, ↑ escoamento



Fatores que afetam a lixiviação e o escoamento de contaminantes

♦ Solo:

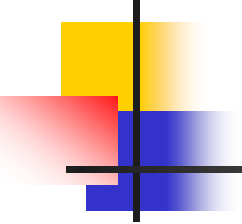
- **Textura e mat.orgânica:** solo com textura fina:
↓ infiltração e ↑ escoamento
- **Compactação:** ↓ infiltração, ↑ escoamento
- **Teor de água:** ↓ tempo, ↑ escoamento
- **Declividade:** ↑ erosão, ↑ escoamento
- **Grau de agregação:** melhor, ↑ infiltr., ↓ escoamento



Fatores que afetam a lixiviação e o escoamento de contaminantes

♦ Contaminante:

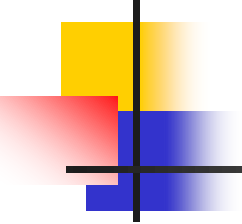
- Solubilidade: ↑ lixiviação e ↓ escoamento
- Sorção: ↓ lixiviação e ↑ escoamento
- Persistência: ↑ tempo de residência, ↑ escoam.
- Formulação: Pó molhável, líquida > granular
- Dose de aplicação: ↑ escoamento
- Local de aplicação: incorporação ↓ escoamento



Fatores que afetam a lixiviação e o escoamento de contaminantes

◆ Práticas de manejo

- Controle da erosão: ↓ transporte, ↓ escoamento
- Restos culturais:
 - ↑ Infiltração, ↓ erosão, ↓ escoamento
 - ↑ S_w , chuva intensa, lavagem direto, ↑ escoamento
- Linhas de contorno vegetada: ↑ infiltr., ↑ deposição de sedimentos, ↓ erosão, ↓ escoamento
- Plantio direto: ↑ palhada, ↑ infiltração, ↓ escoamento



Fatores que afetam a lixiviação e o escoamento de contaminantes

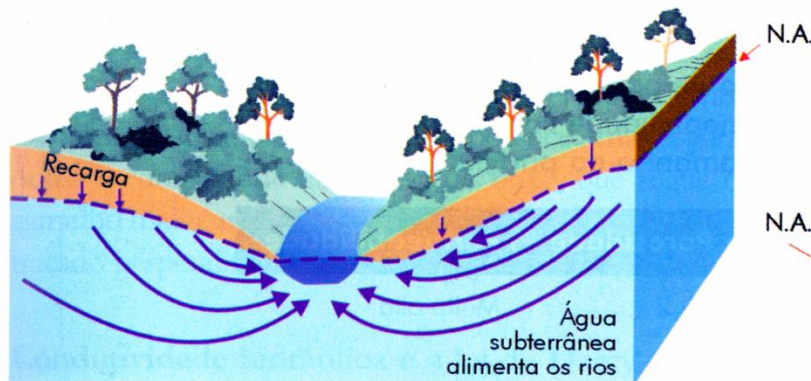
♦ Aração:

- Destrói os macroporos “ativos” (↓ fluxo preferencial)
- Altera suas propriedades (tortuosidade e continuidade)
- Altera propriedades do solo (condutividade hidráulica)
- ↑ tempo de percolação (redistribuição às paredes)
- ↓ lixiviação e ↑ escoamento superficial

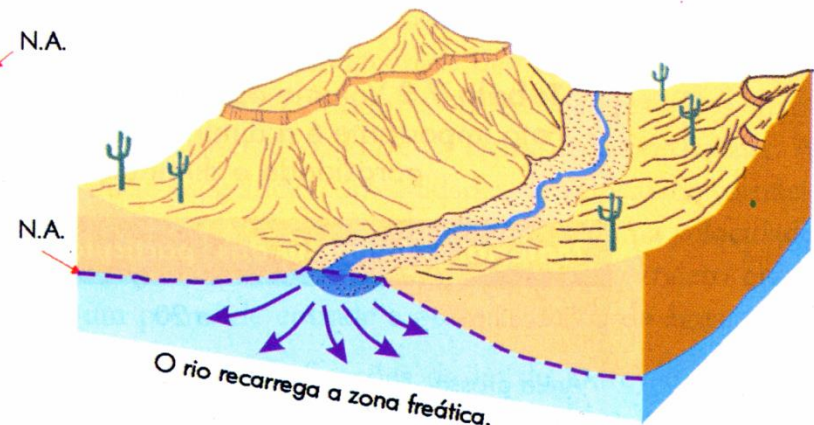
Influência do clima na lixiviação e escoamento de contaminantes

Apesar da cobertura vegetal, tem-se **maior** umidade e **lençol raso**. Se houver **contaminação** do solo, **maior** a chance de atingir o **lençol** e fontes superficiais de água.

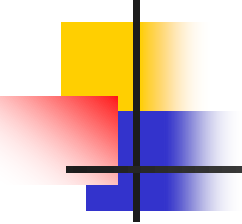
f (potencial de sorção e da persistência do contaminante)



Clima Tropical Úmido
(Solo mais desenvolvido)



Clima Árido ou Semi árido
(Solo mais raso)



Considerações finais:

- ◆ O potencial de **sorção (K_d)** dos contaminantes determinam sua **disponibilidade na solução do solo para o transporte**,
- ◆ A sorção de **contaminantes orgânicos** depende principalmente do teor de **C_{org} do solo**,
- ◆ A sorção de **contaminantes inorgânicos** depende principalmente da **CTC e do pH do solo** e (tipo e quantidade de minerais de argila e teor de matéria orgânica),
- ◆ **No Brasil**: 60 % de Latossolos (> 4 m de prof.), chuvas intensas, menor duração da palhada (Cerrados) e consumo de 50 a 75% de água superficial → **maiores cuidados com problemas de erosão e escoamento superficial.**