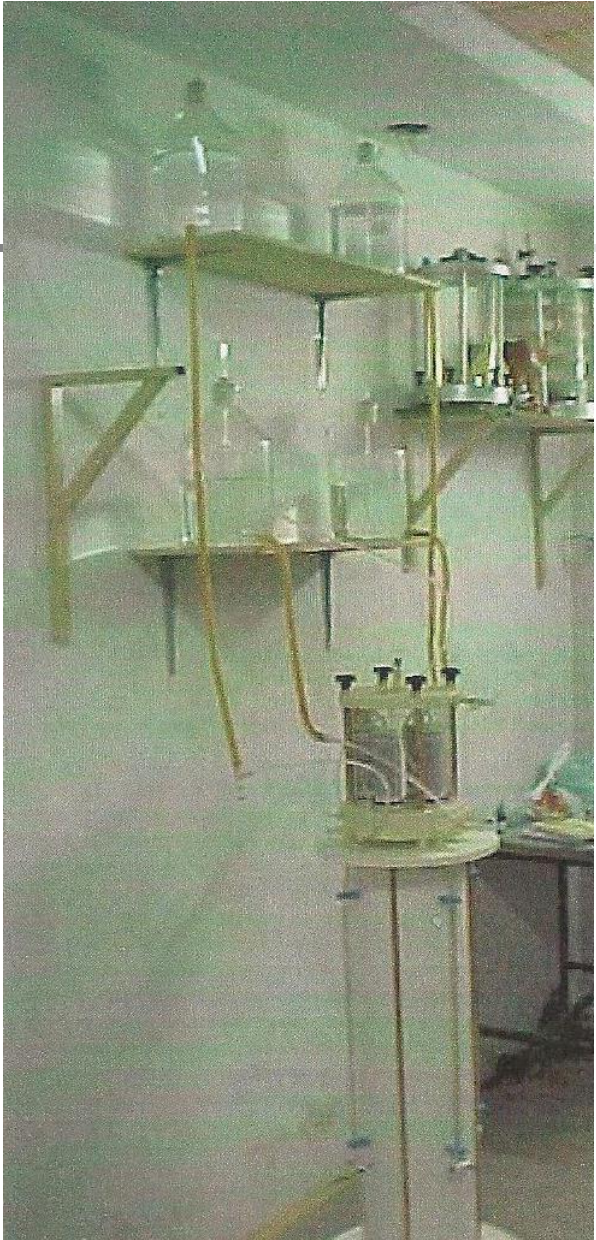
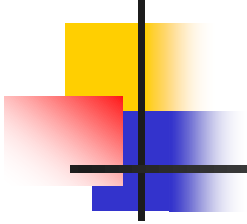
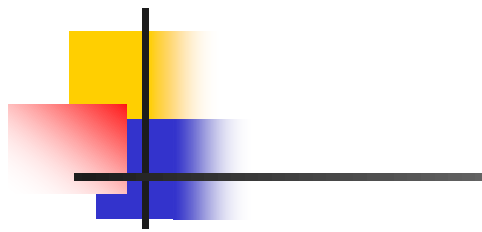
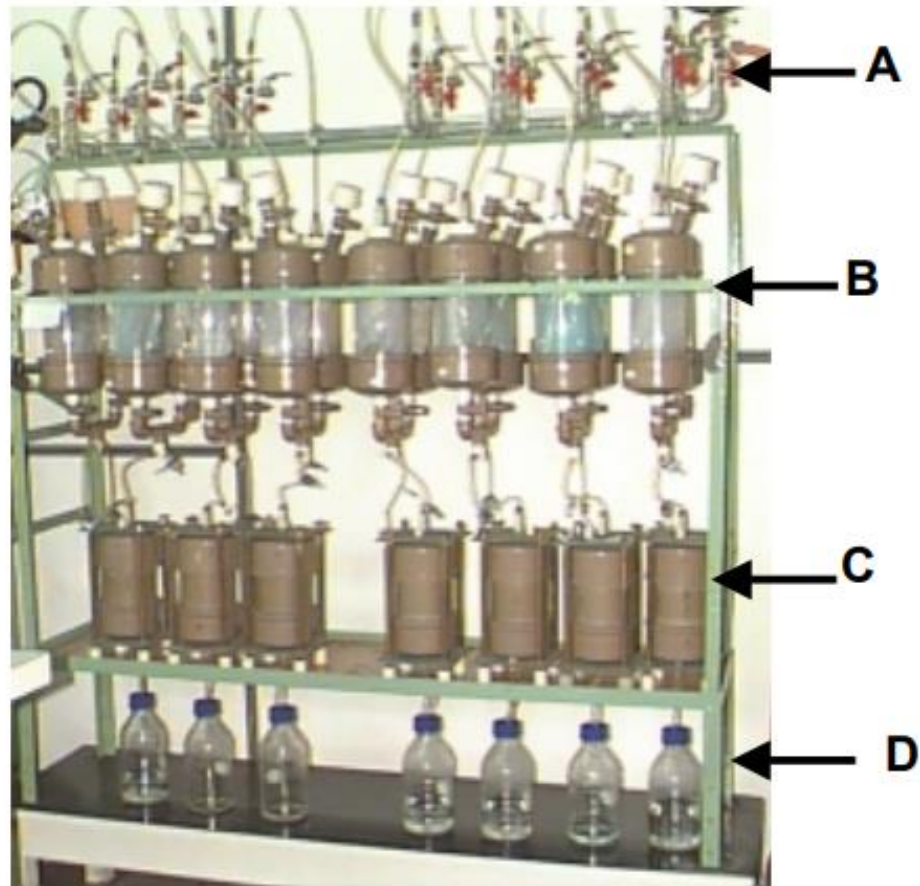




Figura 4-15 – Frasco de Mariotte preenchido com água ao lado de corpo-de-prova em câmara do aparelho Tri-Flex.

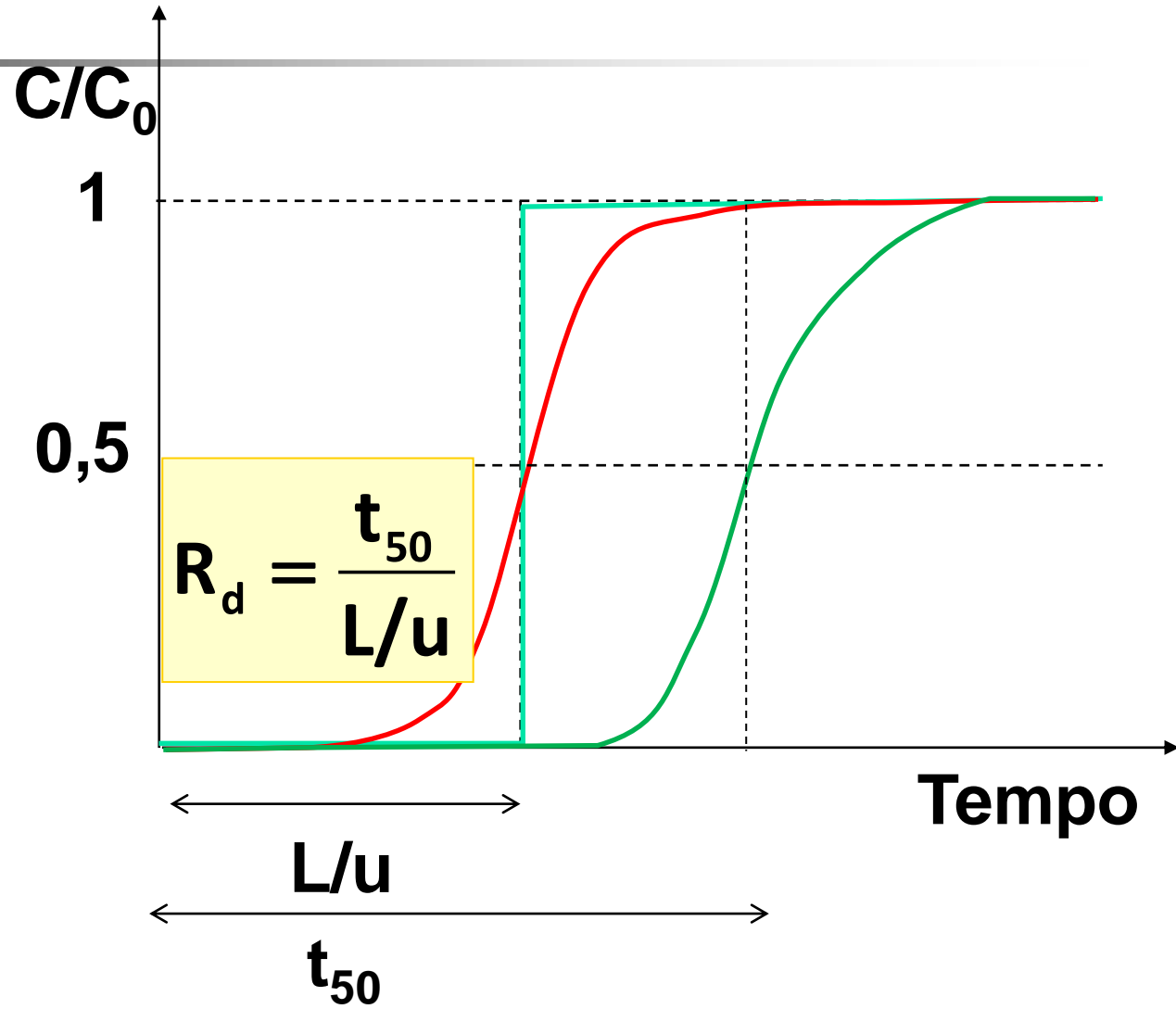
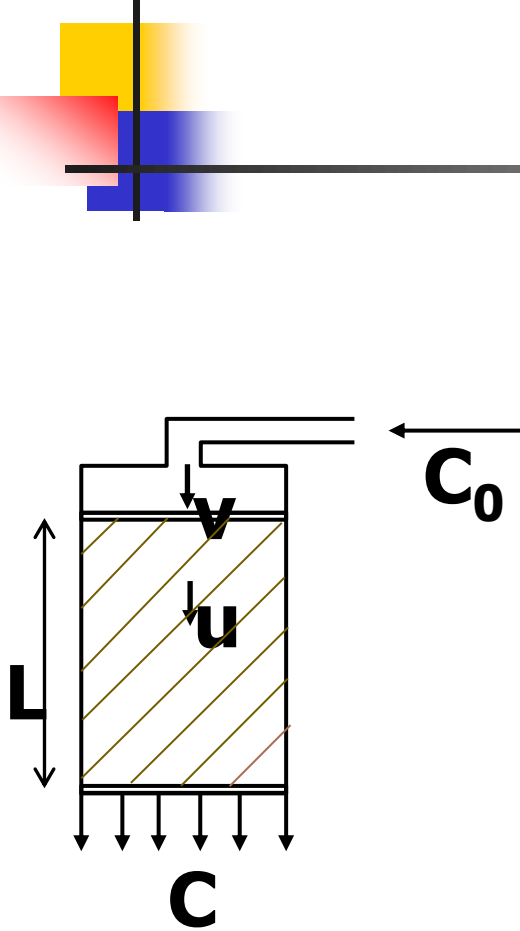






Basso, 2003

Ensaio de coluna: "breakthrough curve"





Obtenção de R_d

Estimativa de R_d pela comparação entre a velocidade da água e a velocidade da frente de soluto

$$R_d = \frac{u}{u_s}$$

R_d fator de retardo

u velocidade específica ($= v/n$)

v velocidade de percolação ou de Darcy ($= ki$)

n porosidade

k coeficiente de permeabilidade ou de condutividade hidráulica

i gradiente hidráulico

u_s velocidade da frente de soluto ($= L/t_{0,5}$)

L altura do corpo-de-prova

$t_{0,5}$ tempo para o qual $c_e/c_0=0,5$

c_0 concentração da solução aplicada no solo

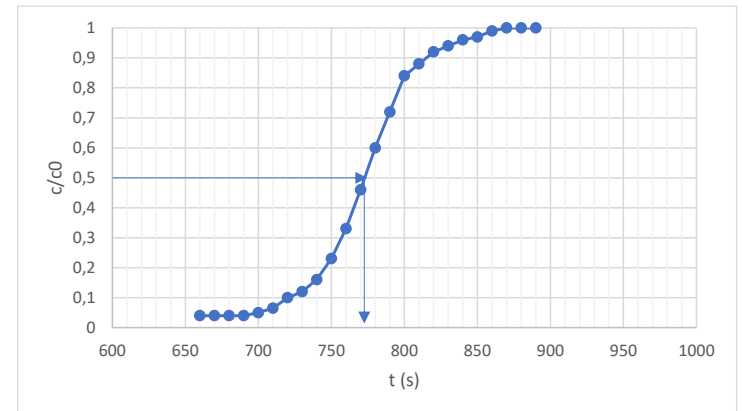
c_e concentração efluente

Exemplo

Areia ensaiada com uma solução de 0,086 g/L de cloreto de sódio

Dados: $u = 1,3 \times 10^{-4}$ m/s e $L = 10$ cm

Tempo (s)	c/c0	Tempo (s)	c/c0	Tempo (s)	c/c0
660	0,04	740	0,16	820	0,92
670	0,04	750	0,23	830	0,94
680	0,04	760	0,33	840	0,96
690	0,04	770	0,46	850	0,97
700	0,05	780	0,6	860	0,99
710	0,065	790	0,72	870	1
720	0,10	800	0,84	880	1
730	0,12	810	0,88	890	1



$$u_s = \frac{L}{t_{0,5}}$$

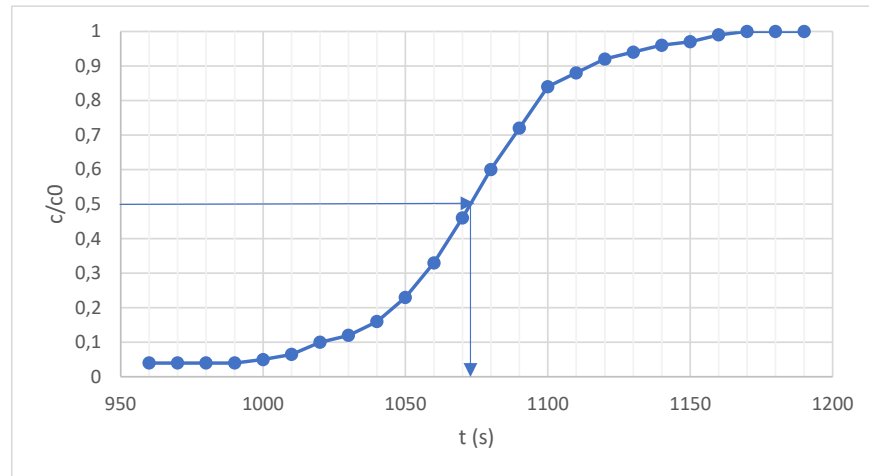
$$u_s = \frac{0,10 \text{ m}}{770 \text{ s}} = 0,00013 \text{ m/s}$$

$$R_d = \frac{u}{u_s} = 1,0$$

Exemplo

Areia ensaiada com uma solução de 0,086 g/L de cloreto de sódio

Dados: $u = 1,3 \times 10^{-4}$ m/s e $L = 10$ cm



$$u_s = \frac{L}{t_{0,5}}$$

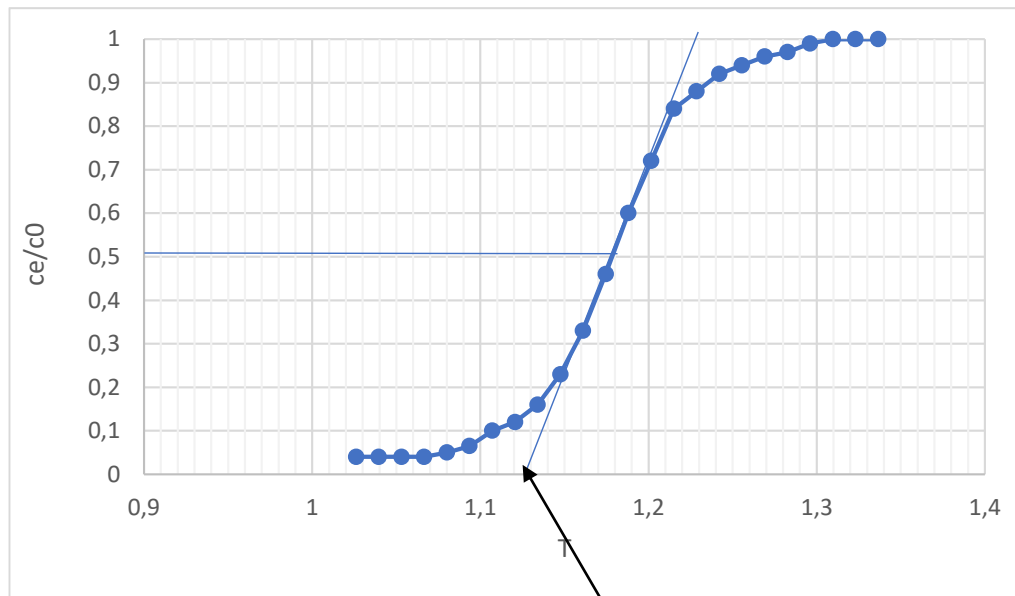
$$u_s = \frac{0,10 \text{ m}}{1074 \text{ s}} = 9,3 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$R_d = \frac{u}{u_s} = 1,4$$

Obtenção de R_d pela curva $c_e/c_0 \times T$

$$T = \frac{ut}{L} = \frac{V_e}{V_v} \quad e \quad P_L = \frac{uL}{D_{dh}}$$

T número de volume de poros
 V_e volume efluente
 V_v volume de vazios do corpo-de-prova
 P_L número de Peclet



$R_d = 1,13$

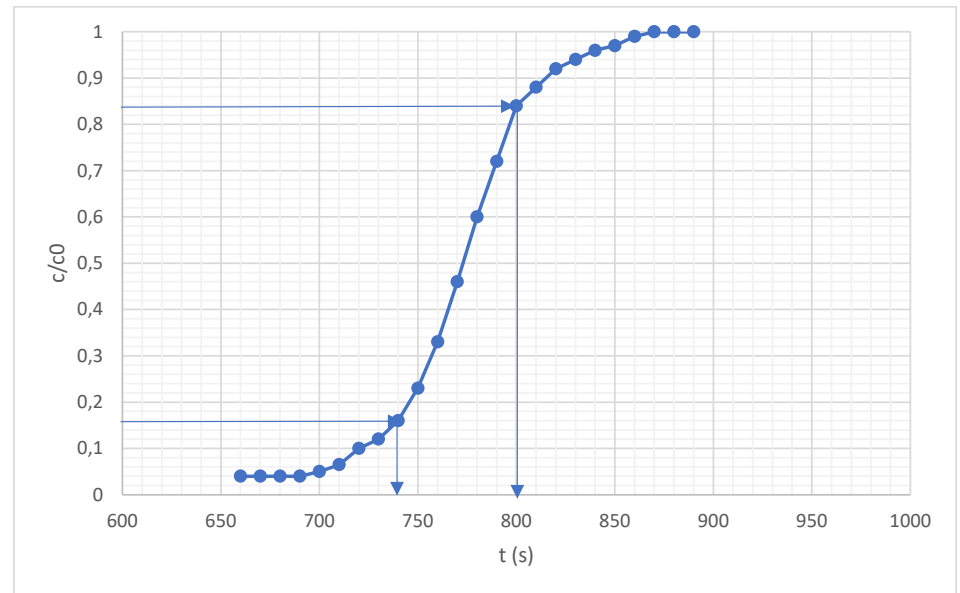
Obtenção de D_{dh} : soluto não reativo

Estimativa de R_d pela comparação entre a velocidade da água e a velocidade da frente de soluto

$$D_{dh} = \frac{1}{8} \left[\frac{L - ut_{0,16}}{\sqrt{t_{0,16}}} - \frac{L - ut_{0,84}}{\sqrt{t_{0,84}}} \right]^2$$

$t_{0,16}$ tempo para o qual $c_e/c_0=0,16$

$t_{0,84}$ tempo para o qual $c_e/c_0=0,84$



$$D_{dh} = \frac{1}{8} \left[\frac{0,10 - 0,00013 \cdot 740}{\sqrt{740}} - \frac{0,10 - 0,00013 \cdot 800}{\sqrt{800}} \right]^2 = 9,88 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s} = 1,0 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$$

Transporte de poluentes unidimensional em solo homogêneo, isotrópico, saturado, com fluxo de água permanente e uniforme, com reação química de adsorção representada por isoterma linear

$$\left(1 + \frac{K_d \rho_d}{n} \right) \frac{\partial c}{\partial t} = D_{dh} \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - u \frac{\partial c}{\partial z}$$

R_d $D_d + \alpha u$ K_i/n

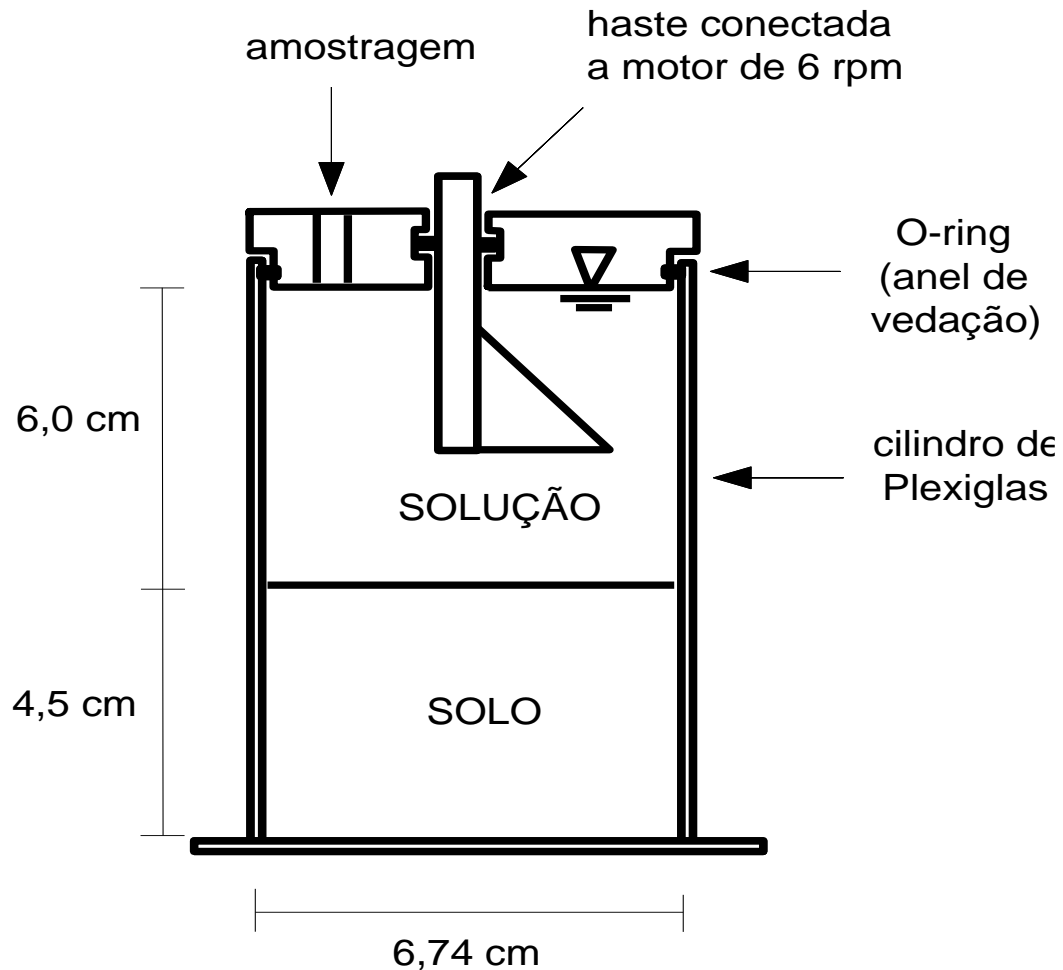
EPUSP – Engenharia Ambiental



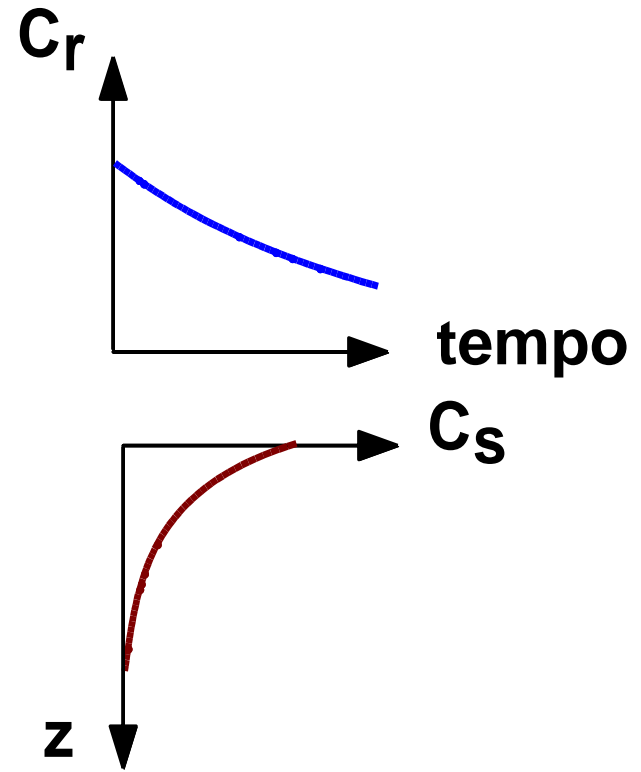
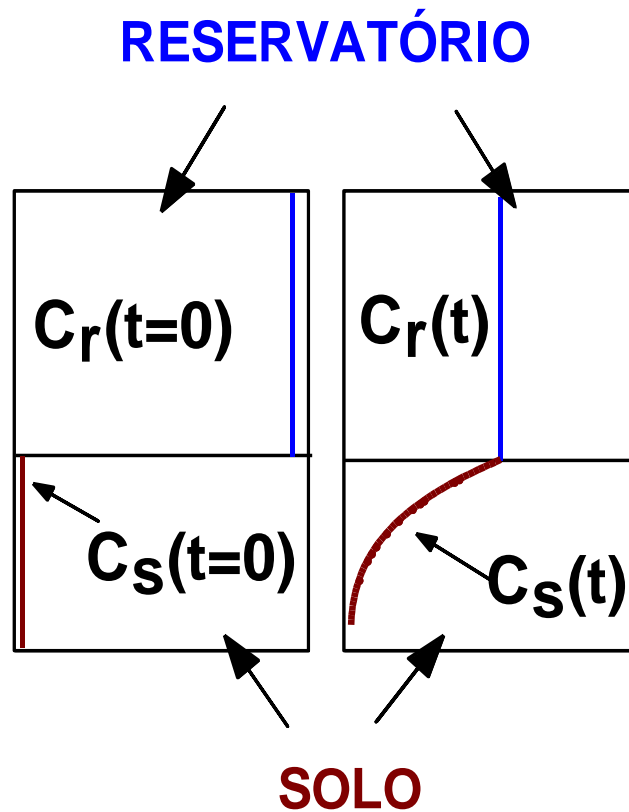
Difusão

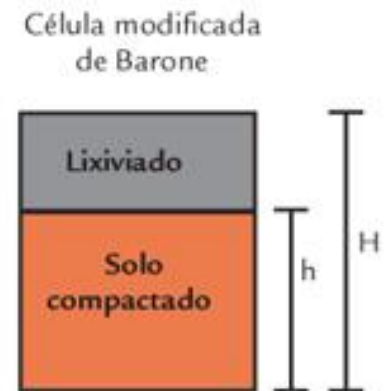
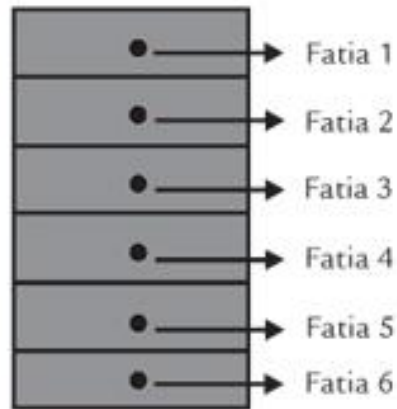
PEF3304 Poluição de Solos

Ensaio de difusão - montagem

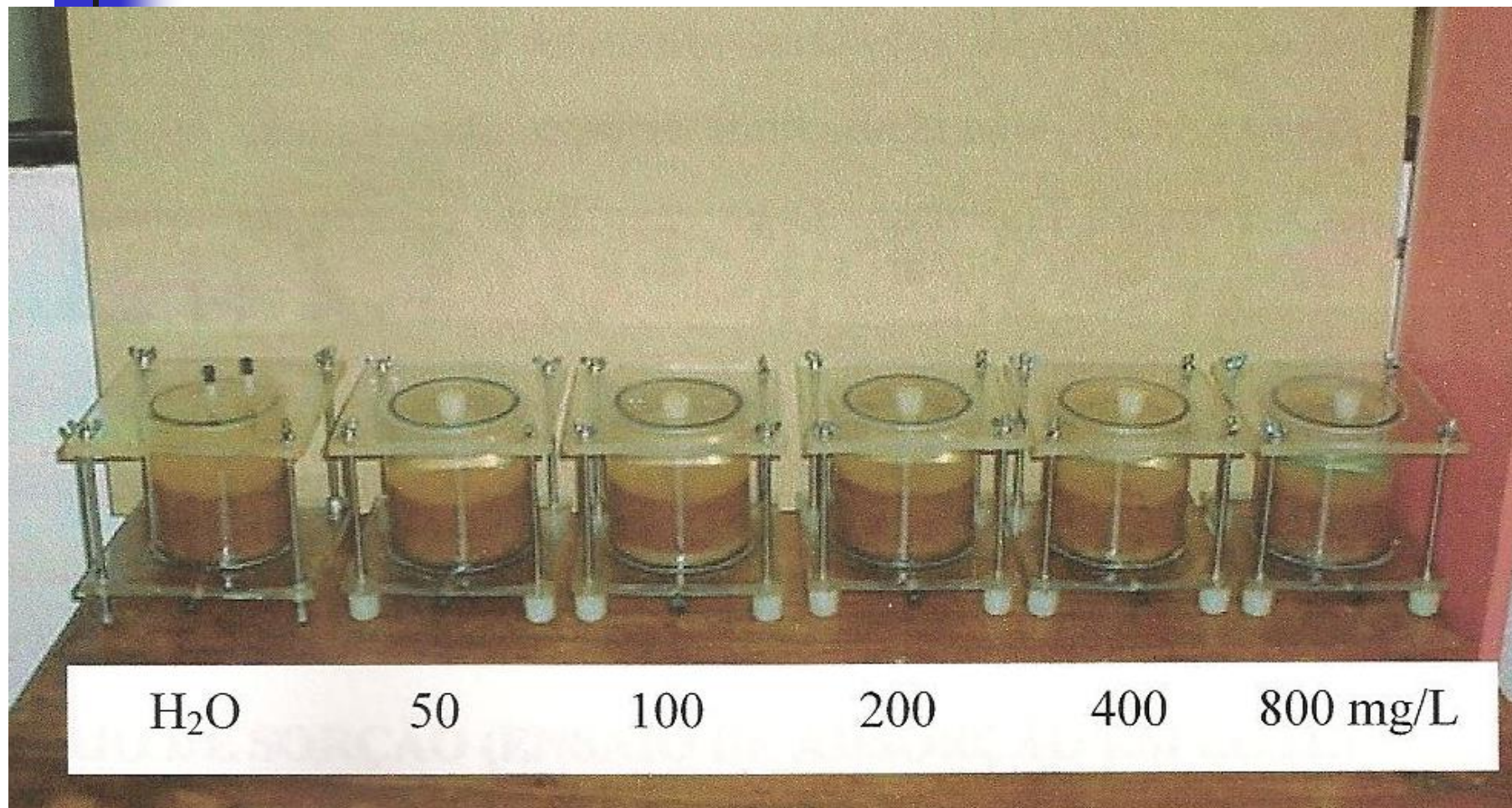


Ensaio de difusão - resultados





(Lacerda et al., 2011)



H₂O

50

100

200

400

800 mg/L



Comportamento de alguns poluentes em difusão em solos lateríticos

- Difusão de rádio em argila laterítica da Bahia
- Difusão de urânio em meio nítrico e em meio sulfúrico em argila laterítica da Bahia
- Difusão de As, Se, Ag e Cr em pH 1 em argila laterítica da RMSP
- Difusão de cobre e selênio em pH 1 e pH 4 em argila laterítica da RMSP

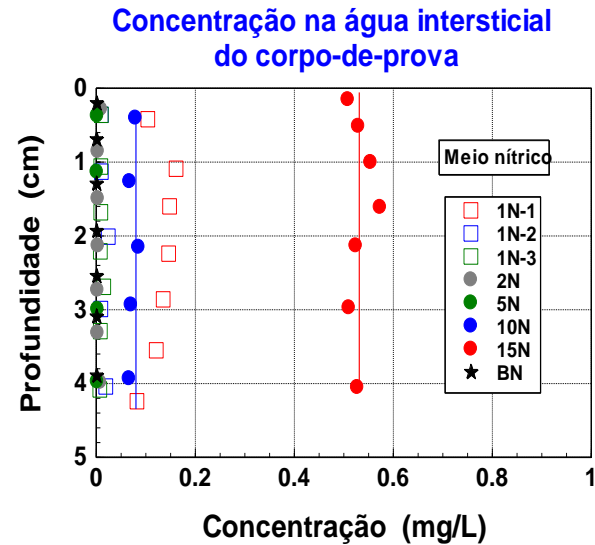
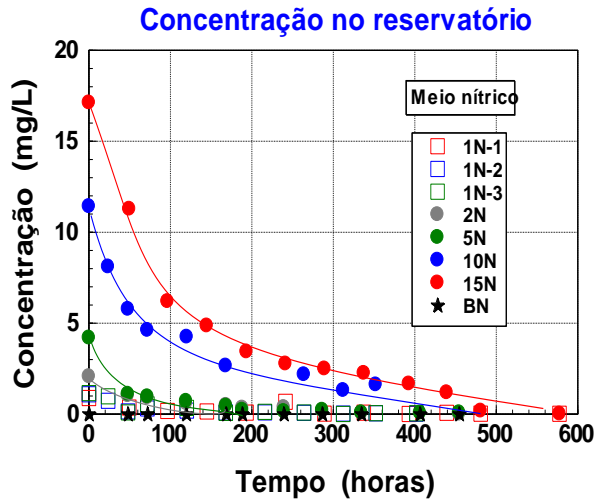
Difusão de rádio – argila laterítica compactada

AMOSTRA	ATIVIDADE DA AMOSTRA POR MASSA (*) (Bq/kg)	ATIVIDADE NA CAMADA (*) (Bq)
Camada 1 - Topo	6259.35	349.71
Camada 2	13.87	0.81
Camada 3	3.35	0.19
Camada 4	3.35	0.19
Total (4.5 cm)		350.90
Solo (“background”)	53.43	12.17

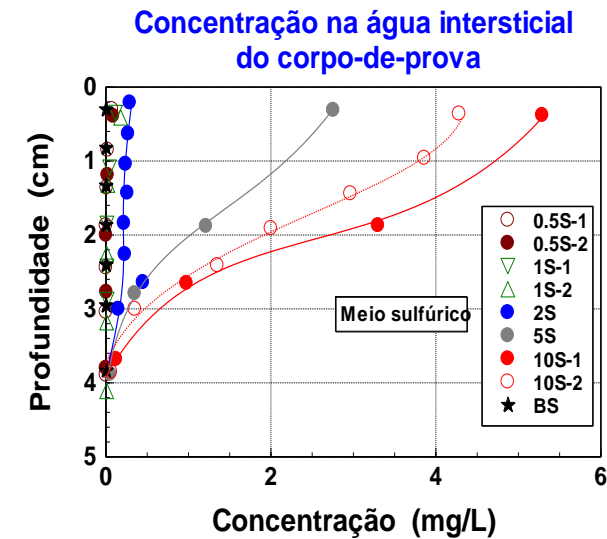
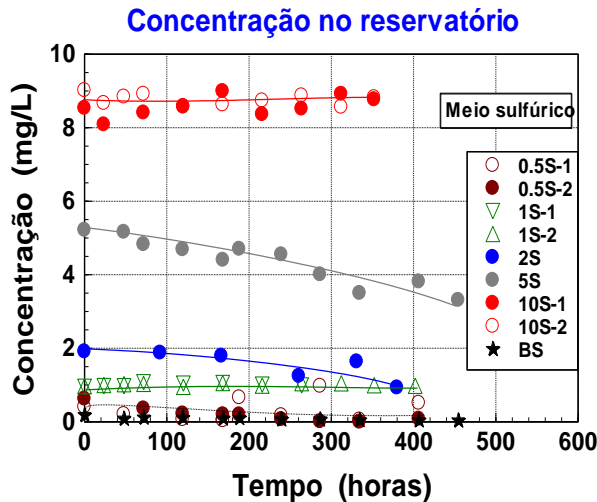
(*) após dedução da atividade “background” do solo

(Boscov et al. 2001)

Difusão de Urânio (^{238}U)

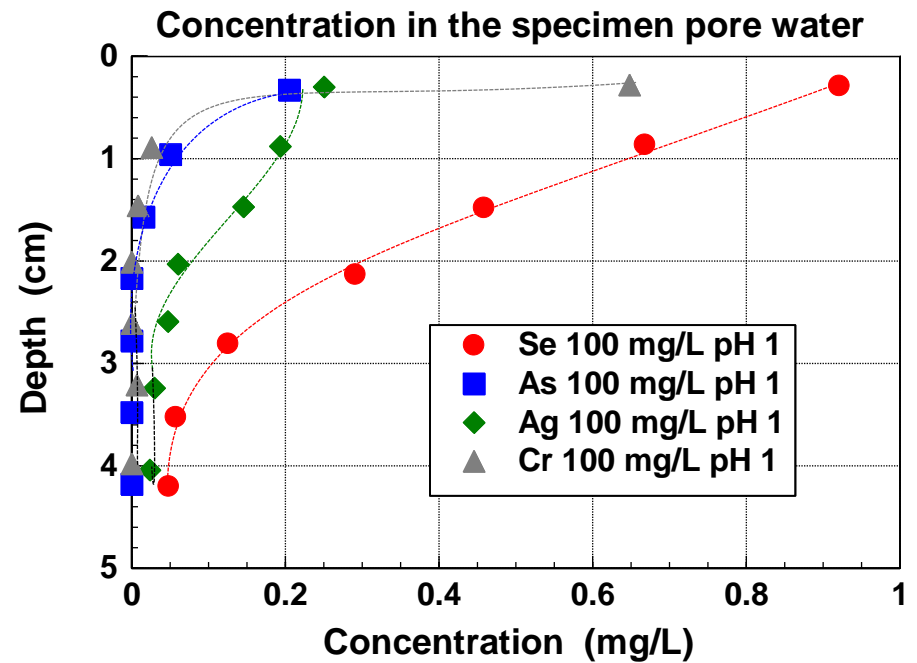
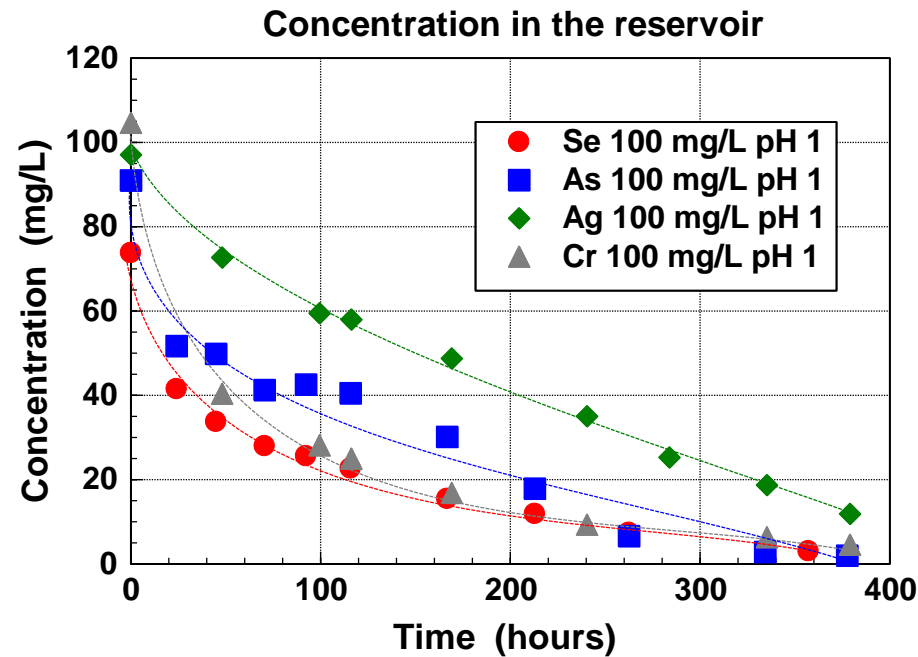


Meio nítrico



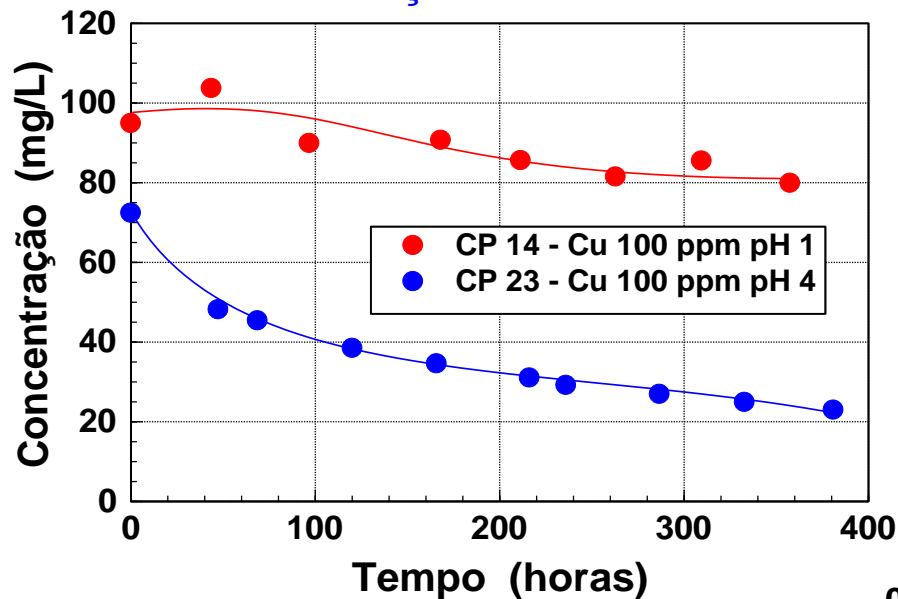
Meio sulfúrico

Difusão de metais em argila laterítica em pH 1



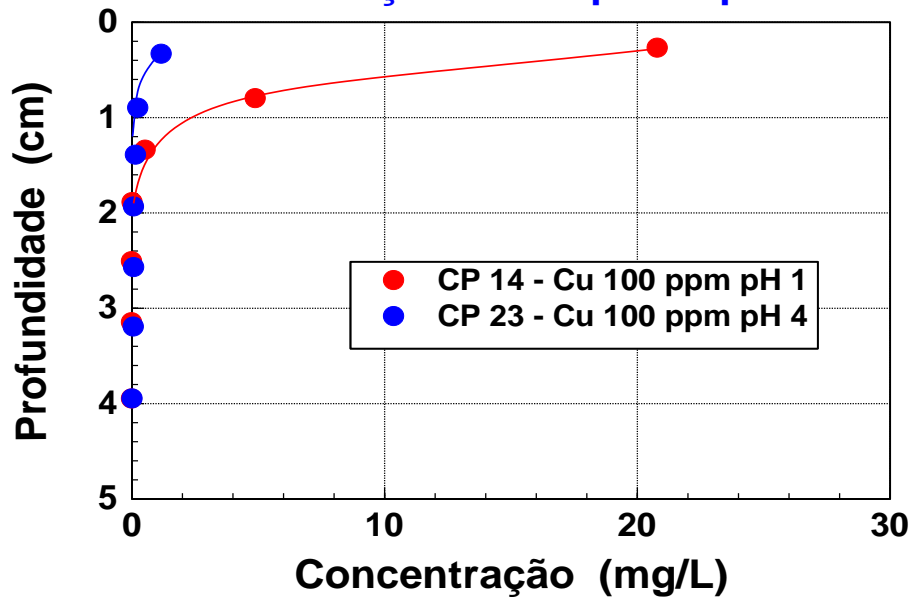
(Bosco et al 1999)

Concentração no reservatório



Cobre

Concentração no corpo-de-prova





Obtenção de parâmetros

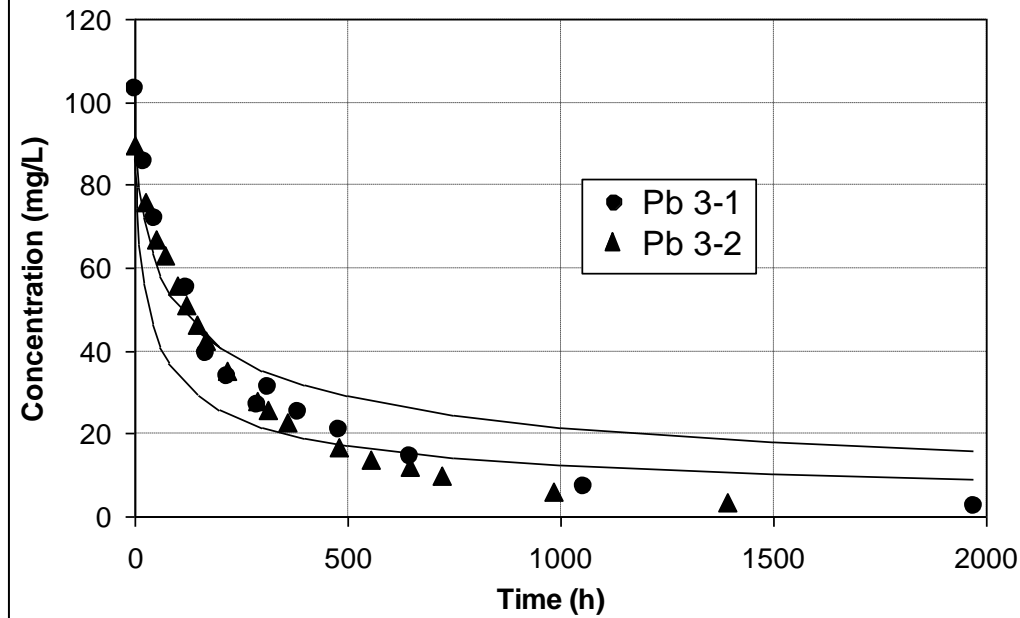
- Programas computacionais que aplicam a equação de transporte unidimensional de poluentes.
- Obtenção de K_d e D_d que resultam nas curvas que melhor se ajustam aos pontos experimentais



Obtenção de parâmetros

- Exemplo: chumbo em solo saprolítico silteoso da RMSP em pH 3

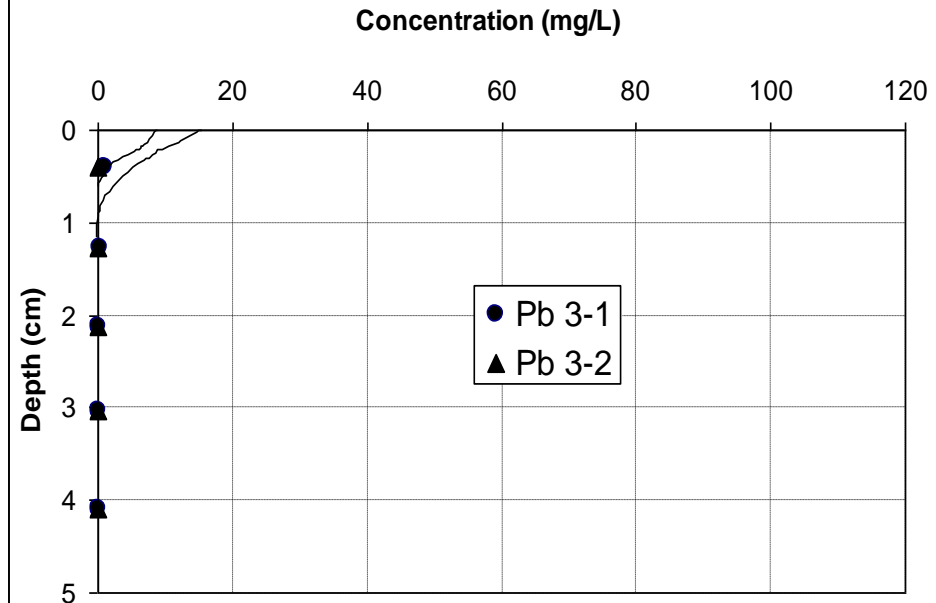
Pb pH 3 - Reservoir



Difusão de chumbo em solo
saprólítico siltoso de
granito

(Stuermer e Boscov, 2008)

Pb pH 3 - Soil





Observação

- Coeficientes de difusão de metais em solos:
da ordem de 10^{-10} m²/s

Coeficientes de difusão em solução livre para cádmio e chumbo a 25°C são, respectivamente, $7,17 \times 10^{-10}$ e $9,45 \times 10^{-10}$ m²/s.