

# A QUÍMICA DO SOLO

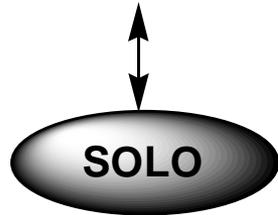
## 1- INTRODUÇÃO

**Geosfera:** Parte da Terra sobre a qual os seres humanos vivem e da qual eles extraem a maioria dos seus alimentos, minerais e combustíveis.

**Litosfera:** crosta terrestre (4 a 50 km de grossura)

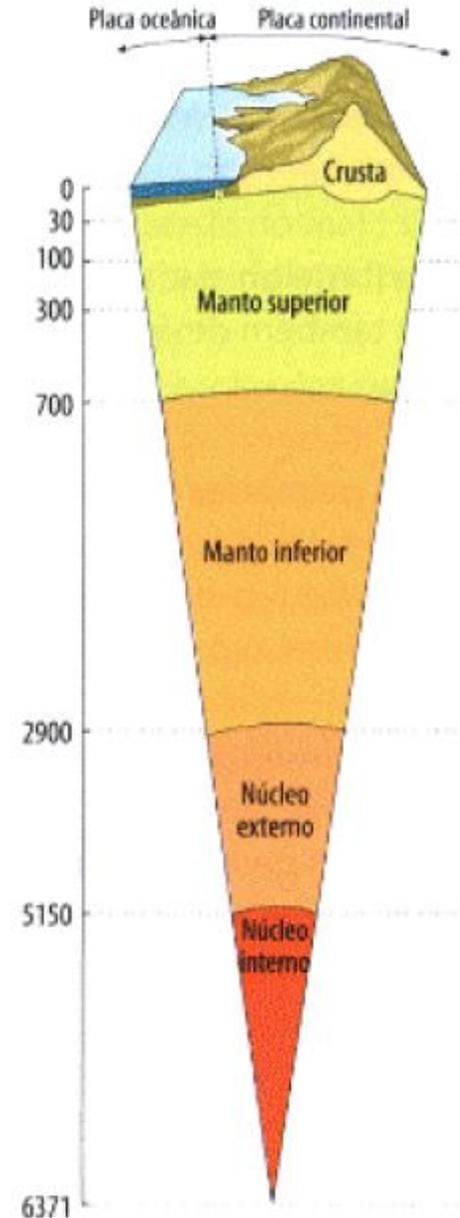
**Solo:** É a parte mais importante da geosfera para os seres humanos. É uma mistura de minerais, matéria orgânica, água e ar. É o suporte para a vida vegetal na superfície da Terra

ATMOSFERA



ÁGUAS

Componente-chave dos ciclos biogeoquímicos

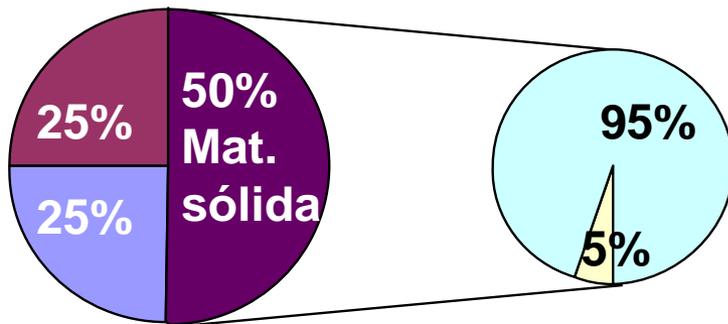


**O solo tem capacidade de assimilar e neutralizar poluente**

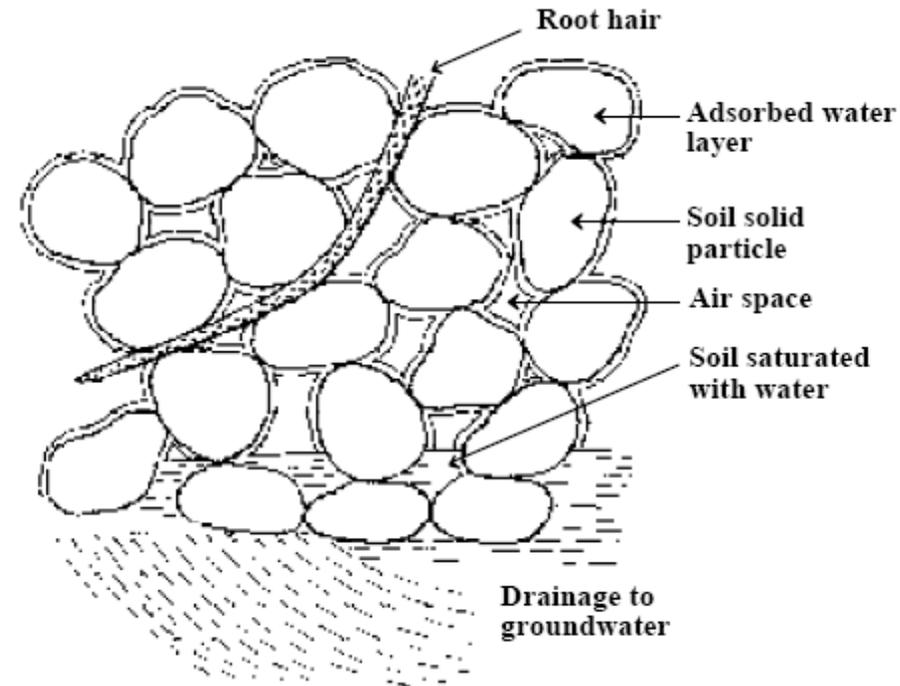
- oxi-redução**
- hidrólise**
- reações ácido-base**
- precipitação**
- sorção (metais pesados)**
- degradação bioquímica (compostos orgânicos)**

## 2- COMPOSIÇÃO DO SOLO

- Minerais : intemperismo de rochas (processos físico, químicos e biológicos)
- Matéria Orgânica : biomassa (decaimento de vegetais e animais)
- Água
- Ar
- População elevada de bactérias, fungos e pequenos animais
- Ar

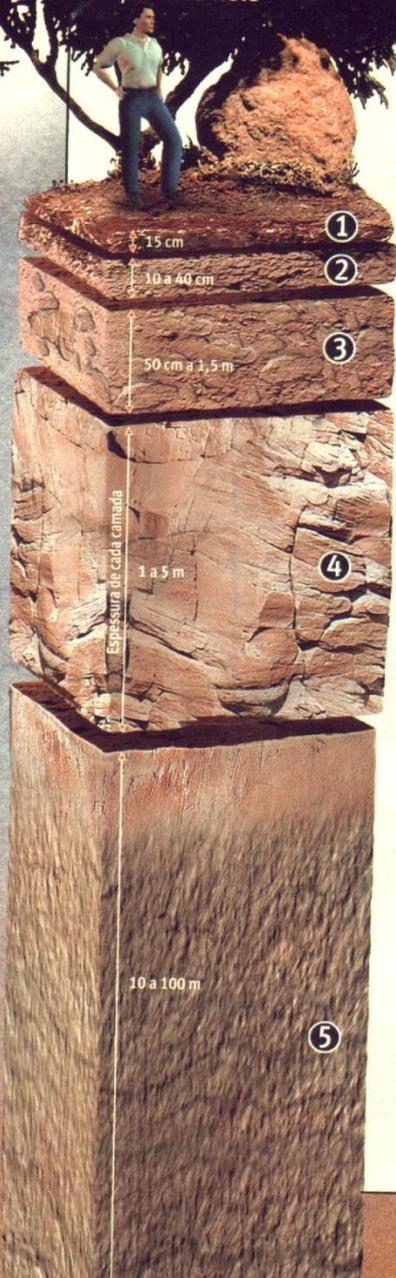


- ar
- água
- mat. Orgânica
- minerais



# AS CAMADAS DO SOLO

Do que é feito o chão e o que vive nele

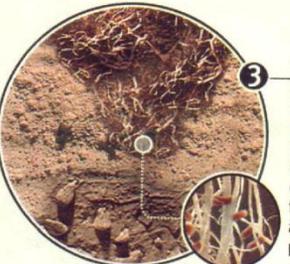


**1 O PRIMEIRO ESTÁGIO**  
Fica imediatamente abaixo da superfície. É formado por materiais orgânicos, restos de animais e folhas.  
**HABITANTES** Além de bactérias, fungos e outros seres, é aqui que vivem as minhocas, seres essenciais para a renovação do solo, porque comem as folhas caídas e as transformam em excrementos nutritivos para micróbios. Seu hábitat vai a camadas mais profundas



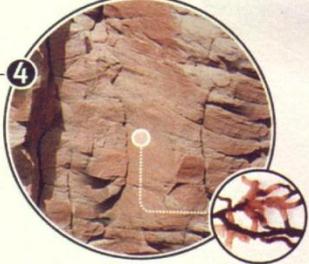
Tartigrado

**2 CAMADA A**  
Mistura de areia, barro e argila, contém muita matéria orgânica (raízes de plantas e organismos vivos e decompostos).  
**HABITANTES** Animais grandes que habitam tocas, como tatus e lagartos, e seres minúsculos como fungos, bactérias e ácaros. Entre eles estão os tardígrados, que passam a vida em fios de água. Se o solo seca, eles desidratam e hibernam por até cem anos



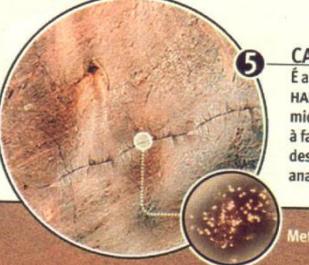
Rhizobium

**3 CAMADA B**  
Composta de argila e restos decompostos de vegetais e animais, conhecidos como húmus. Há também raízes de árvores.  
**HABITANTES** É aqui que se encontram as bactérias *rhizobium*. Vivendo nas raízes das plantas, elas captam o nitrogênio, fundamental para a vida, e o fornecem às plantas, em troca do açúcar produzido pela fotossíntese



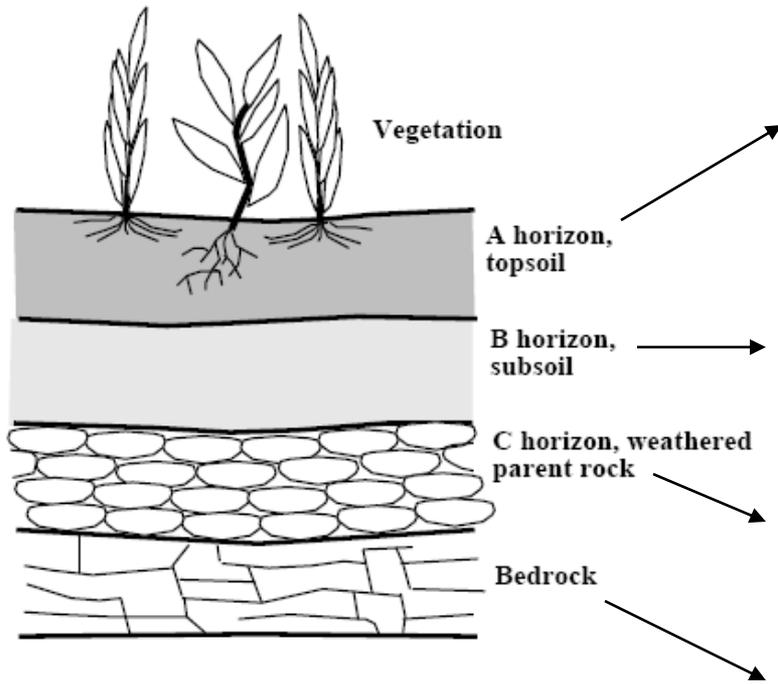
Mycorrhizae

**4 CAMADA C**  
Rochas desgastadas por chuvas, ventos ou marés. Esse desgaste é que formou as camadas superiores.  
**HABITANTES** Aqui praticamente só há micróbios. Mas, nos estratos superiores, há uma rede de microtubos formados pelo fungo *mycorrhizae*, que interligam as raízes das plantas. Por meio deles, as plantas trocam nutrientes entre si



Metanogênicos

**5 CAMADA R**  
É a rocha em estado bruto.  
**HABITANTES** Aqui vivem os extremófilos, micróbios de altíssima resistência ao calor, à falta de luz e à alta pressão. Entre eles, destacam-se os metanogênicos, micróbios anaeróbicos que exalam gás metano



HORIZONTE A (topo do solo: 20 - 50 cm): Camada da atividade biológica máxima e contem a maioria da matéria orgânica do sol. Íons metálicos e partículas de argilas são submetidas a uma lixiviação importante.

HORIZONTE B (0,5 -1,5 m): Recebe a matéria lixiviada como matéria orgânica modificada = HUMUS, íons metálicos e partículas de argilas.

HORIZONTE C (1 -5 m): Matéria mineral não consolidada, com pouca ação biológica e com características físicas, químicas e mineralógicas da rocha matriz.

ROCHA MATRIZ

**Natureza da rocha matriz é muito importante para a composição do solo.**

**A ação antrópica modificou muito o solo de forma rápida, não permitindo a sua recomposição:**

- desmatamento**
- erosão**
- escavações**
- aterros**
- minerações**
- impermeabilização (asfalto)**
- aplicações de fertilizantes e pesticidas**
- lançamentos de resíduos**
- agriculturas**
- .... etc**

### 3- Água e ar no solo

#### - Água

- Fundamental para a vida das plantas
- Transporta os nutrientes essenciais até a parte superior das plantas

Interações fortes entre a água e 1- argilas

2- matéria orgânica

Solos ricos em argila e/ou matéria orgânica (M.O.)

→ solos ricos em água

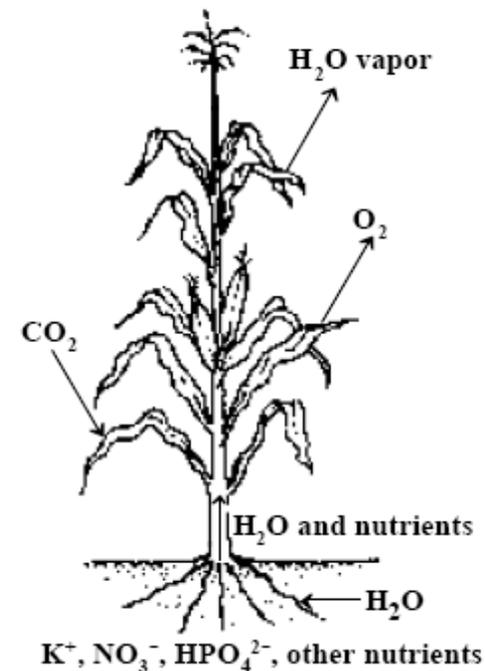
Solos saturados com água → mudanças drásticas nas propriedades físico-químicas e biológicas

→ Menor disponibilidade de  $O_2$  → Menor degradação de M.O.

→ Diminui a quantidade de ar necessária para as plantas

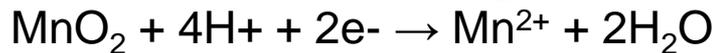
→ Redução do potencial redox → solubilização de sais insolúveis

→ Ligações que agregam partículas coloidais são quebradas, o que causa desestruturação do solo



As soil becomes waterlogged (water-saturated) it undergoes drastic changes in physical, chemical, and biological properties. Oxygen in such soil is rapidly used up by the respiration of microorganisms that degrade soil organic matter. In such soils, the bonds holding soil colloidal particles together are broken, which causes disruption of soil structure. Thus, the excess water in such soils is detrimental to plant growth, and the soil does not contain the air required by most plant roots. Most useful crops, with the notable exception of rice, cannot grow on waterlogged soils.

One of the most marked chemical effects of waterlogging is a reduction of pE by the action of organic reducing agents acting through bacterial catalysts. Thus, the redox condition of the soil becomes much more reducing, and the soil pE may drop from that of water in equilibrium with air (+13.6 at pH 7) to 1 or less. One of the more significant results of this change is the mobilization of iron and manganese as soluble iron(II) and manganese(II) through reduction of their insoluble higher oxides:



Although soluble manganese generally is found in soil as  $\text{Mn}^{2+}$  ion, soluble iron(II) frequently occurs as negatively charged iron-organic chelates. Strong chelation of iron(II) by soil fulvic acids apparently enables reduction of iron(III) oxides at more positive pE values than would otherwise be possible. This causes an upward shift in the Fe(II)-Fe(OH)<sub>3</sub> boundary.

Some soluble metal ions such as  $\text{Fe}^{2+}$  and  $\text{Mn}^{2+}$  are toxic to plants at high levels. Their oxidation to insoluble oxides may cause formation of deposits of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and  $\text{MnO}_2$ , which clog tile drains in fields.

## - Ar

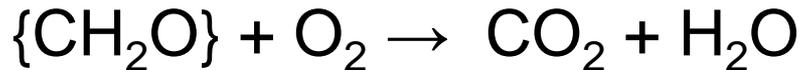
25% do volume de um solo típico

Ar atmosférico: 21% O<sub>2</sub> e 0,03% CO<sub>2</sub>

Ar do solo: 15% O<sub>2</sub> e 1% CO<sub>2</sub>

Porquê?

→ **Degradação da matéria orgânica**

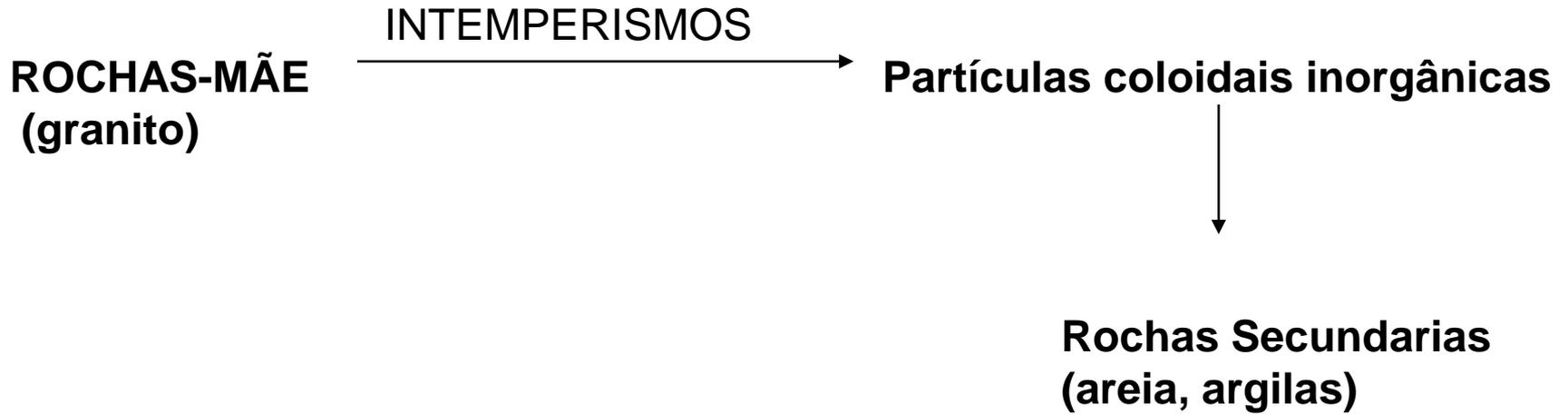


→ **Aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na água do solo**

→ pH diminui, [H<sup>+</sup>] aumenta

→ degradação das rochas calcárias: CaCO<sub>3</sub>

## 4- Minerais do solo



- Essas partículas coloidais:
- São armazenadoras de água e nutrientes para as plantas
  - Absorvem substâncias tóxicas evitando agressão aos vegetais
  - Quantidade e natureza dessas partículas são determinantes na produtividade do solo.

---

**Crust**

---

**O**  
46.6  
**Si**  
29.5  
**Al**  
8.2  
**Fe**  
5.0  
**Ca**  
3.6  
**Na**  
2.8  
**K**  
2.6  
**Mg**  
2.1  
**Ti**  
0.57  
**H**  
0.22

---

**Os 10 mais abundantes elementos na crosta (% em massa)**  
→ **Os silicatos são os minerais mais importantes**

**Table 17.1 Major Mineral Groups in the Earth's Crust**

| Mineral group   | Examples           | Formula                                   |
|-----------------|--------------------|---|
| Silicates       | Quartz             | $\text{SiO}_2$                            |
|                 | Olivine            | $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$            |
|                 | Potassium feldspar | $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$                |
| Oxides          | Corundum           | $\text{Al}_2\text{O}_3$                   |
|                 | Magnetite          | $\text{Fe}_3\text{O}_4$                   |
| Carbonates      | Calcite            | $\text{CaCO}_3$                           |
|                 | Dolomite           | $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$       |
| Sulfides        | Pyrite             | $\text{FeS}_2$                            |
|                 | Galena             | $\text{PbS}$                              |
| Sulfates        | Gypsum             | $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ |
| Halides         | Halite             | $\text{NaCl}$                             |
|                 | Fluorite           | $\text{CaF}_2$                            |
| Native elements | Copper             | $\text{Cu}$                               |
|                 | Sulfur             | $\text{S}$                                |

---

# Argilas

As argilas são minerais secundários silicatos.  
Elas são muito comuns e importantes em mineralogia  
São os constituintes inorgânicos dos solos mais importantes.  
Seguram água e cátions para as plantas.

Olivina, Feldspato  $\longrightarrow$  Argilas

Quartzo  $\not\longrightarrow$  Argilas

Todas as argilas contêm silicatos e a maioria contêm alumínio e água.  
Fisicamente as argilas são constituídas por folhas.

Três grupos principais de argilas:

- **Montmorillonita**,  $\text{Al}_2(\text{OH})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}$
- **Illita**,  $\text{K}_{0-2}\text{Al}_4(\text{Si}_{8-6}\text{Al}_{0-2})\text{O}_{20}(\text{OH})_4$
- **Kaolinita**,  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

# Estrutura da kaolinita: camada de duas folhas

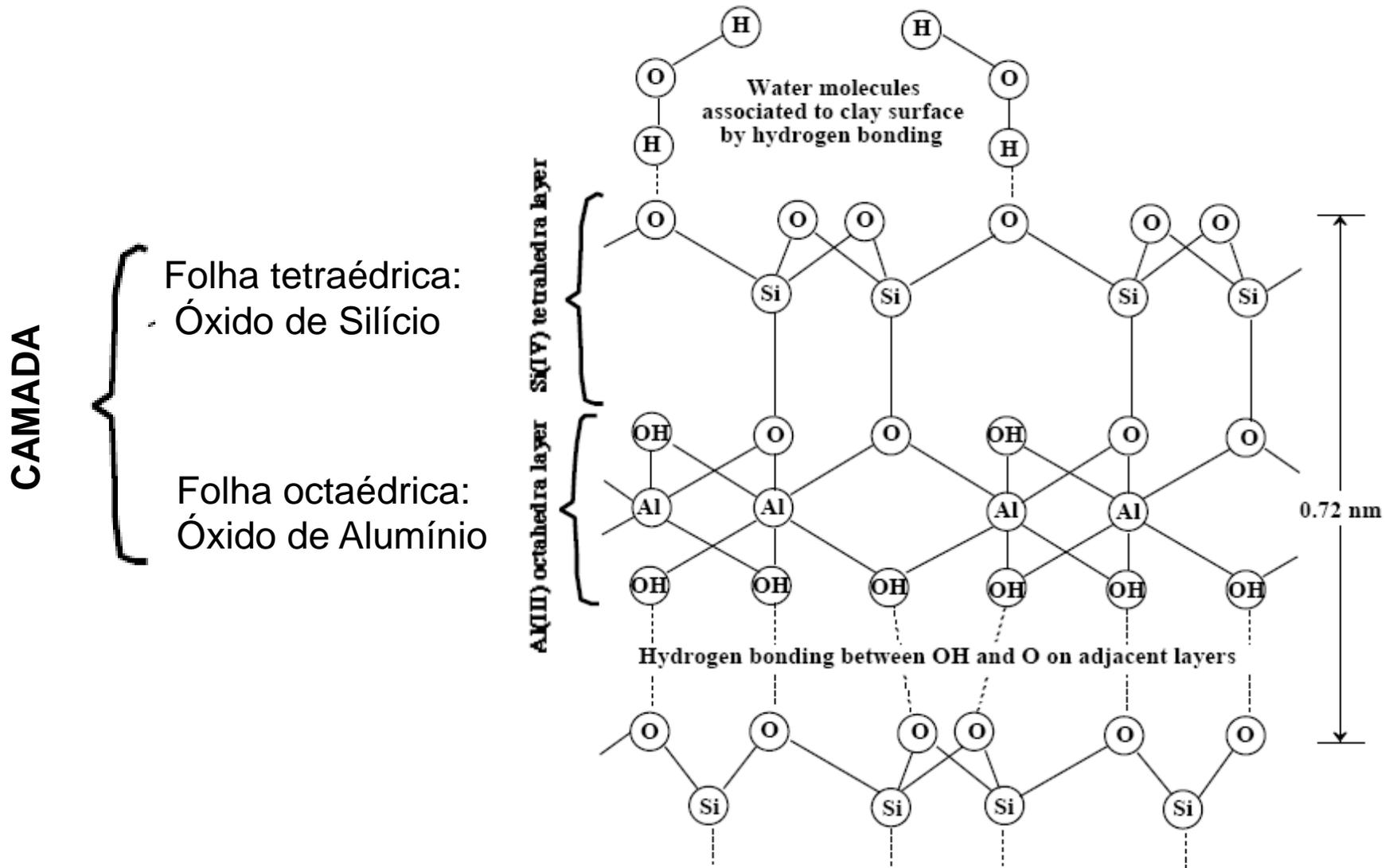
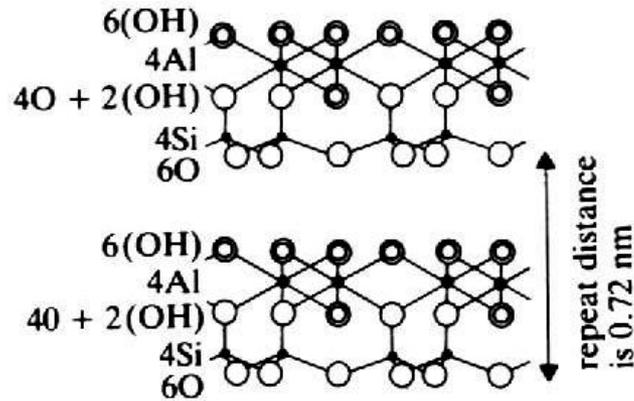


Figure 17.4 Representation of the structure of kaolinite, a two-layer clay.

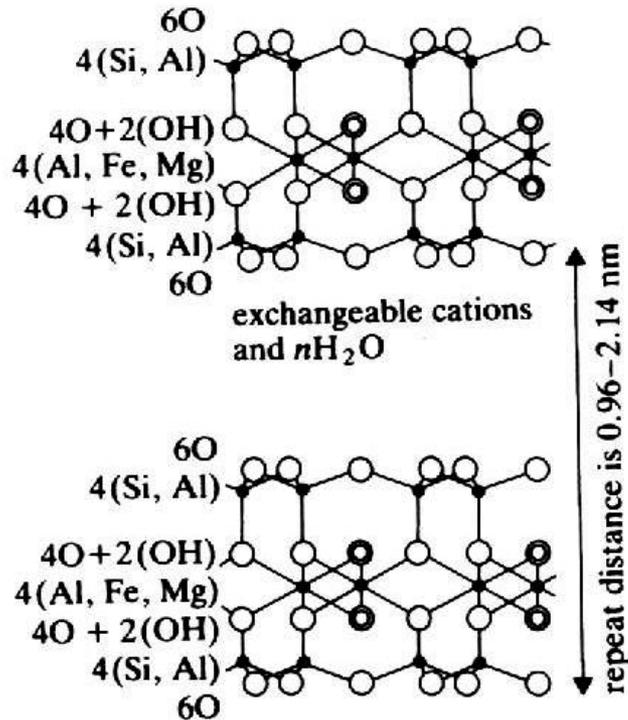
**(a) Kaolinite**



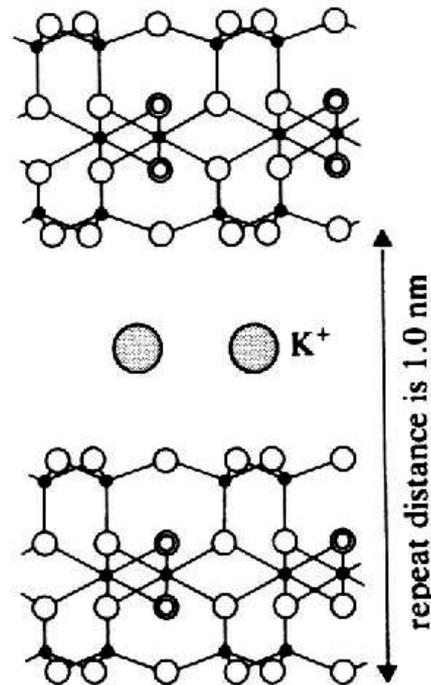
hydrogen bonding between O and OH

octahedral sheet  
tetrahedral sheet

**(b) Montmorillonite**

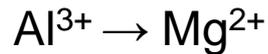
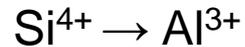


**(c) Illite**



Entre as camadas tem  
Água, cátion.

As Argilas podem atingir uma carga global negativa por troca iônica. Alguns  $\text{Si}^{4+}$  ou  $\text{Al}^{3+}$  são trocados por cátions metálicos de tamanho parecido mas de carga menor.



Diferença na carga global  $\rightarrow$  **carga global NEGATIVA**

Compensação pode ser feita por complexação de cátion na superfície das folhas das argilas. Assim, esses cátions não precisam se afixar em sítios específicos na estrutura da argila e eles podem ser cátions relativamente grandes como  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ , ou  $\text{NH}_4^+$ .

Esses cátions são chamados de **cátions trocadores** e podem ser trocados por outros cátions em solução aquosa.

A quantidade de cátions trocadores (expresso em mili-equivalente (millimole) por 100 g de argila) é chamada de Capacidade de Troca Catiônica (CEC)

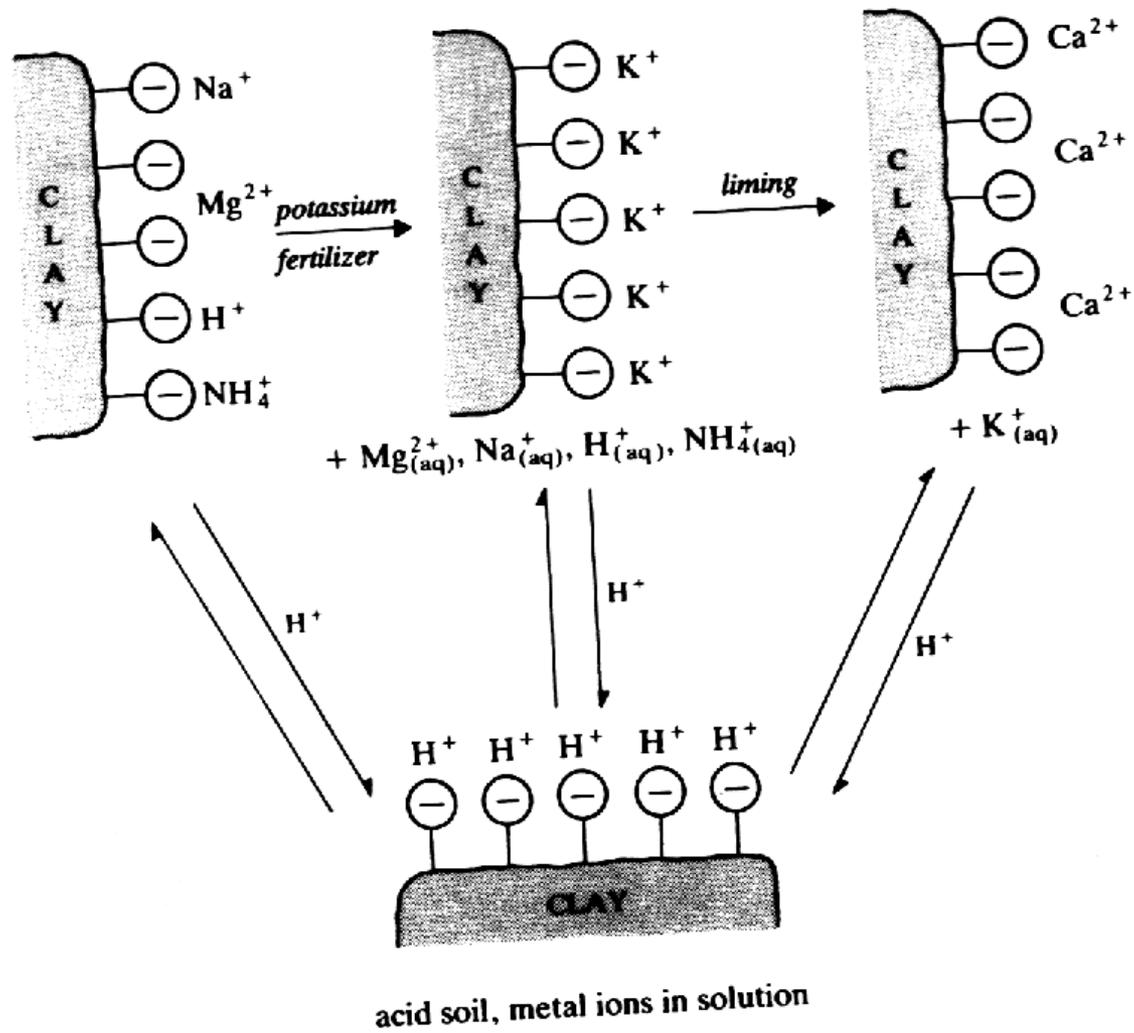


Figure 12.3 Examples of how changing the concentration of cations can change the equilibrium between the cations held by the clay and those in solution.

As Argilas têm a capacidade de complexar cátion como :  
 $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{NH}_4^+$   
→ protegem esses cátions da lixiviação e os mantêm disponível para as plantas

As Argilas têm a capacidade de absorver a água

## **4- Matéria Orgânica no solo**

**Juntamente com as argilas, a matéria orgânica tem uma importância fundamental nas propriedades químicas e físicas dos solos.**

**\* Funções da matéria orgânica no solo:**

- 1- Manutenção de uma estrutura porosa para aumentar a retenção de água.**
- 2- Retenção de nutrientes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ...)**
- 3- Liberação de elementos como N, P, e S e elementos traços por mineralização (Processo microbiano no qual os compostos orgânicos são decompostos e  $\text{CO}_2$  é liberado)**
- 4- Fonte energética (carboidratos) para os microorganismos do solo.**
- 5- Adsorção de compostos orgânicos tóxicos (pesticidas, rejeitos industriais...)**

**A maioria dessas atividades pode ser atribuída provavelmente ao HÚMUS, material produzido pela decomposição de plantas no solo.**

**\* Composição orgânica do solo (origem vegetal ou animal):**

**1- HÚMUS (mais abundante) = “corpo” da matéria orgânica no solo (restos deixados quando bactérias e fungos biodegradam plantas)**

**2- Polissacarídeos (celulose por exemplo): comida para os microorganismos do solo.**

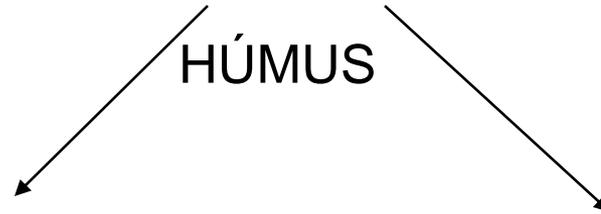
**3- Compostos nitrogenados : polipeptídeos, nucleotídeos, aminoácidos**

**4- Compostos fosforados e sulfurados**

**5- Lignina**

**6- Lipídeos**

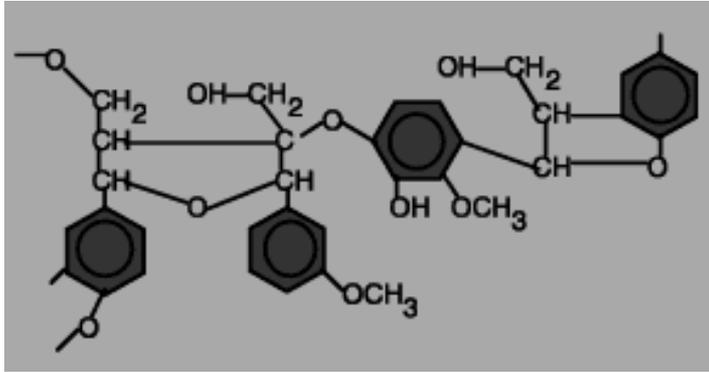
HÚMUS é uma mistura complexa.



Fração insolúvel  
**Humina**

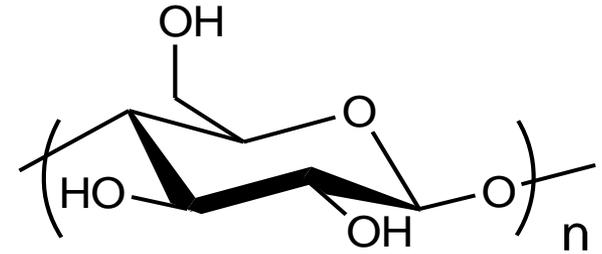
Fração solúvel em base forte  
- **Ácido húmico**  
- **Ácido fúlvico**

# Formação do HÚMUS



LIGNINA

(mais resistente a degradação, substância polimérica complexa contendo anéis aromáticos, grupos metóxi, hidroxila)



Celulose

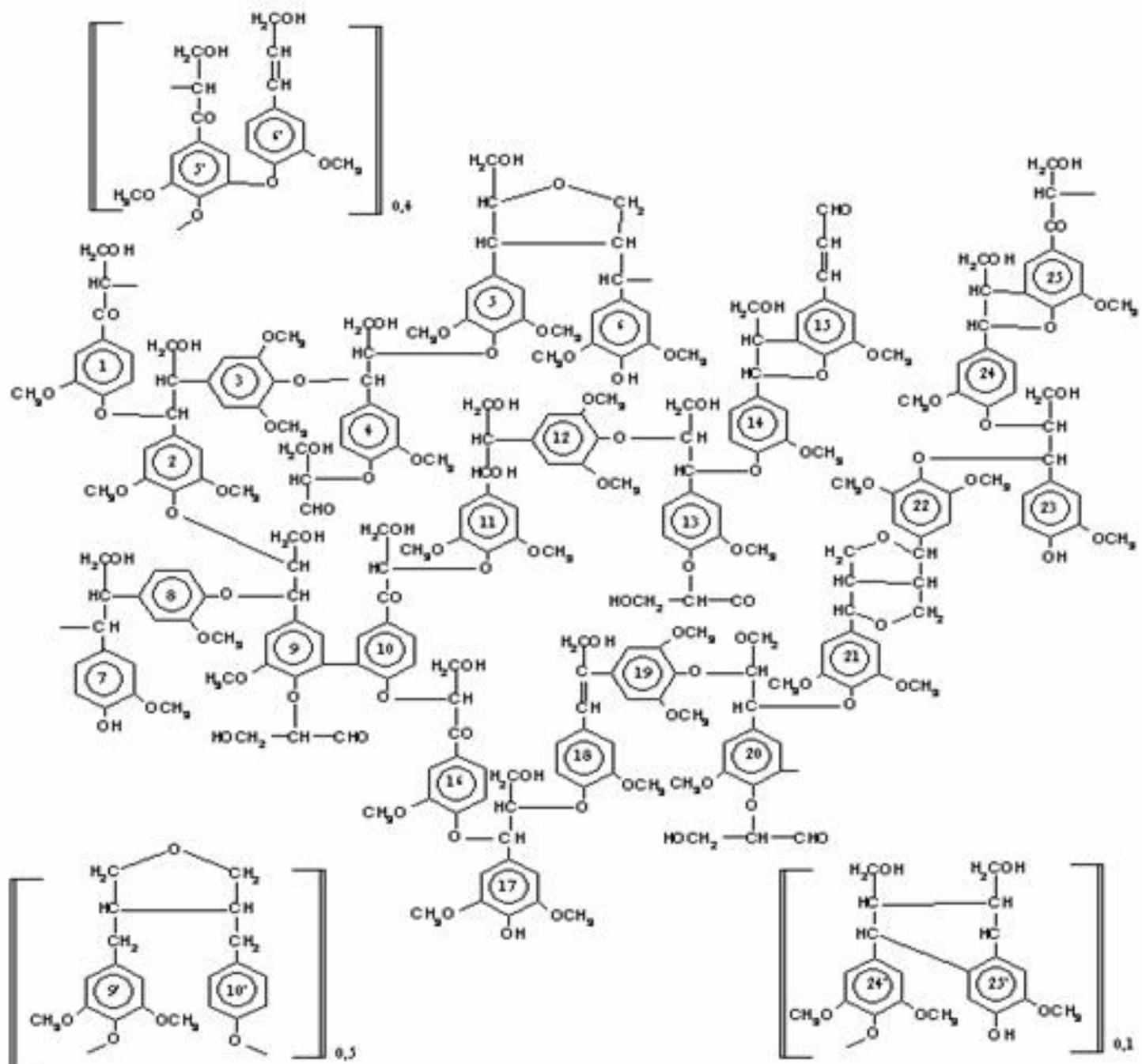
(mais degradável, polímero de glicose)

PRECURSORES

HUMIFICAÇÃO  
Bactérias e Fungos

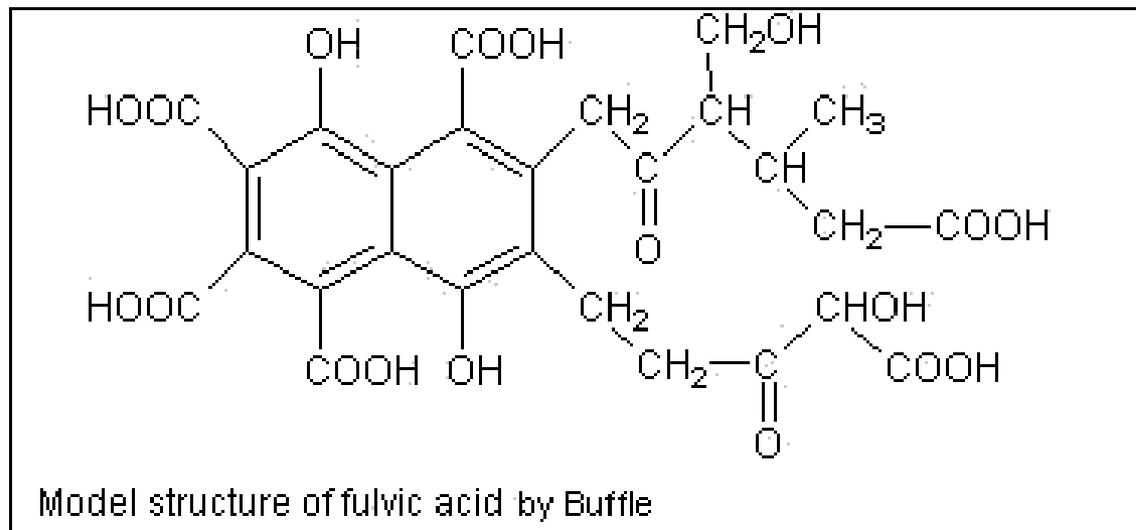
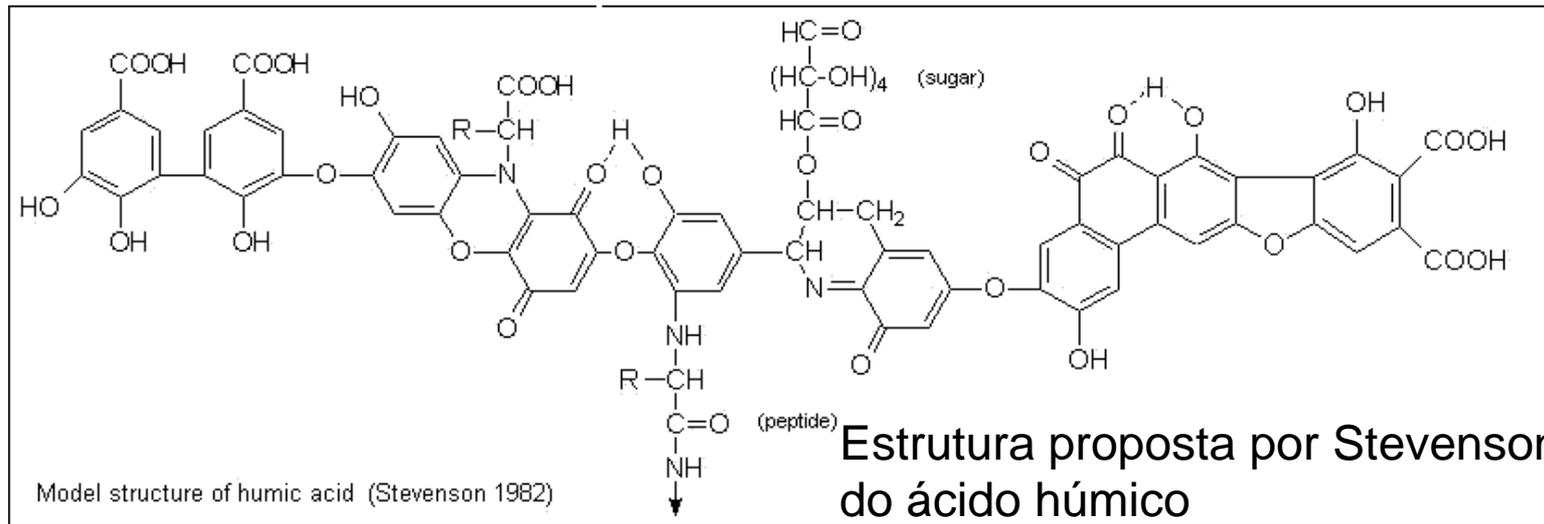
HÚMUS

(similar a lignina com mais grupos ácidos carboxílicos)  
contém - uma parte hidrofílica  
- uma parte hidrofóbica



Estrutura esquemática reduzida da lignina

## Estruturas dos **Ácido húmico** e **Ácido fúlvico** :



Estrutura proposta por Buffle do ácido fúlvico

# Propriedades do HÚMUS

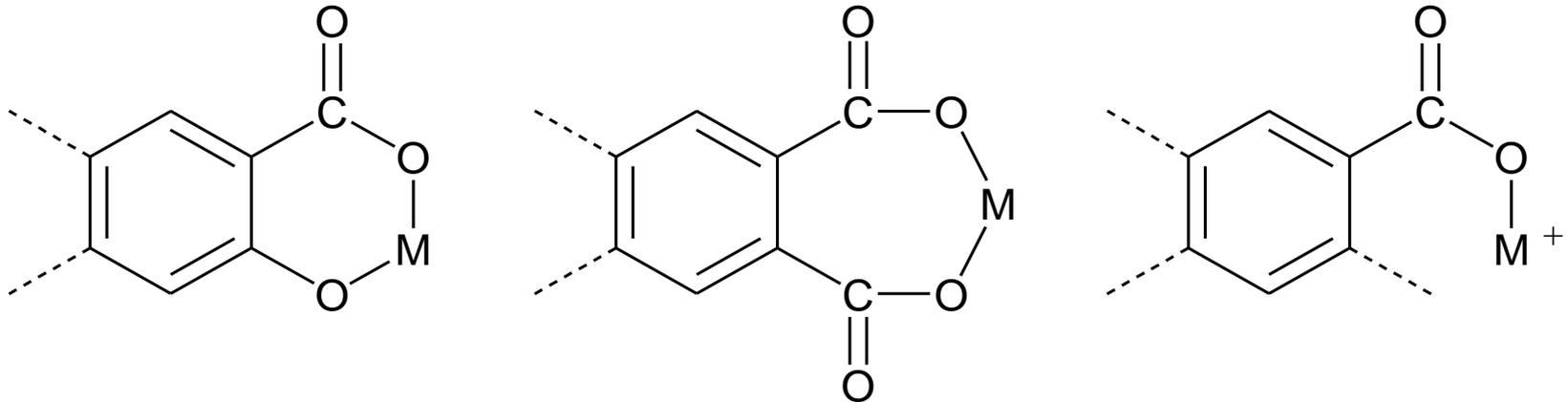
1- Afinidade alta para cátions polivalentes:

$\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  : Alta

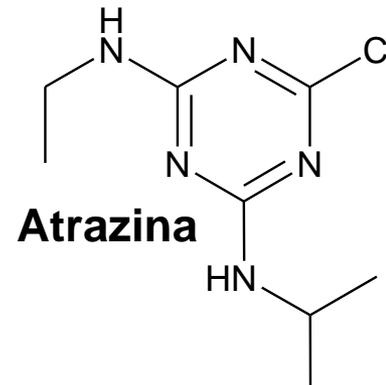
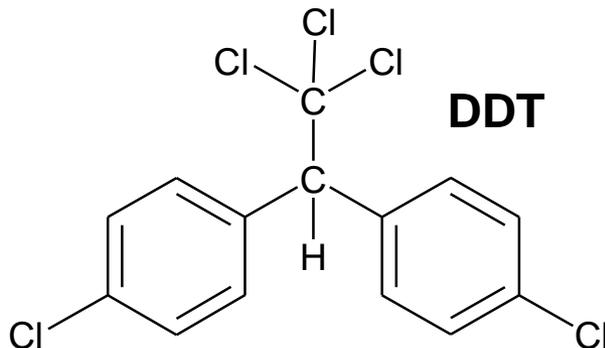
$\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  : Média

⇒ retêm esses cátions (nutrientes para as plantas)

Tipos de interações entre as funções da matéria húmica e os cátions metálicos:



2- Afinidade alta da parte hidrofóbica da matéria húmica para compostos orgânicos pouco solúveis em água como o DDT (inseticida) ou a Atrazina (herbicida)

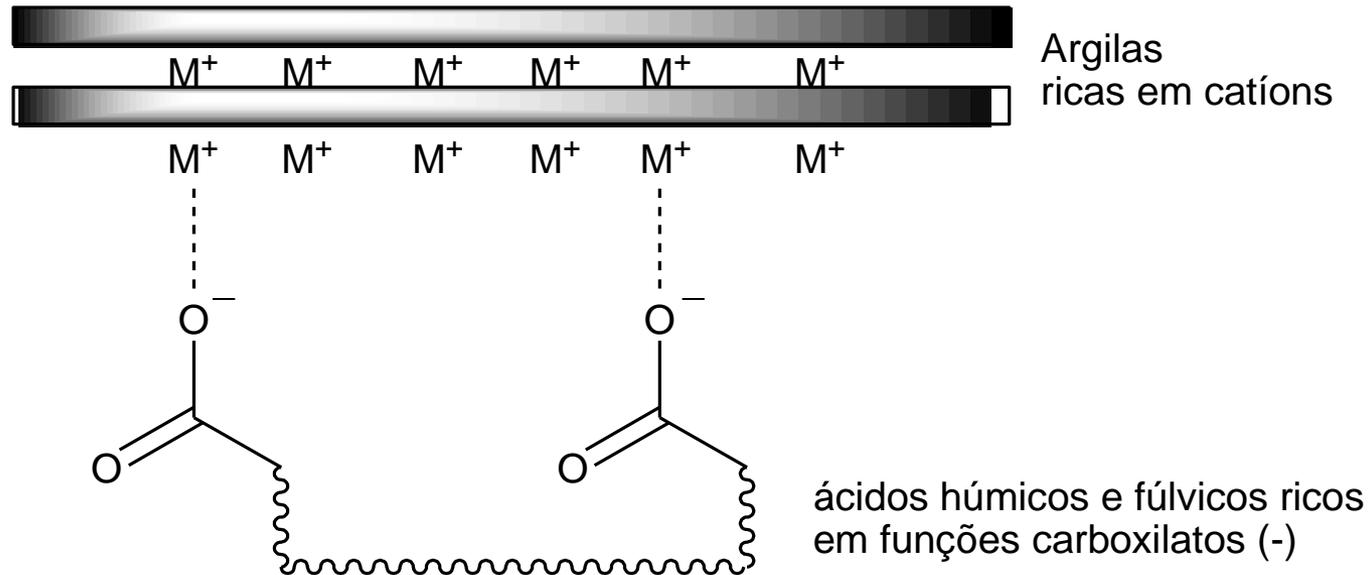


### 3- Interação forte entre os ácido húmico e fúlvico e as argilas.

Em alguns casos vai haver formação de complexos orgânicos (ácido húmico e fúlvico) e inorgânicos (argilas) através de interações eletrostáticas entre as cargas positivas das argilas e negativas dos ácidos húmicos e fúlvicos.

Tais complexos têm papéis importantes nas

- Propriedades físico-químicas do solo
- Fertilidade do solo
- Estabilidade da matéria orgânica no solo



4- Caráter ácido/básico da matéria húmica  $\Rightarrow$  substâncias húmicas servem de tampão no solo.

# POLUIÇÃO DE SOLOS

## 1- INTRODUÇÃO:

O solo é um componente essencial nos ecossistemas terrestres porque

- 1) o crescimento das plantas e
- 2) o ciclo biogeoquímico dos nutrientes dependem dele (o solo).

A poluição, a erosão e o espalhamento de áreas urbanas ameaçam:

- A sustentabilidade das riquezas do solo (agricultura).
- A saúde humana, quando substâncias tóxicas atingem o homem (cadeia alimentar ou contaminação das plantas) ou atingem águas subterrâneas usadas para o consumo.

Papel do solo:

- Depósito para muitos poluentes
- Filtro que retarda a passagem de compostos químicos até as águas subterrâneas.
- Bio-reator onde muitos compostos orgânicos são decompostos.

Poluentes no solo provêm

- Ar
- Agricultura (pesticidas)
- Uso industrial e urbana da terra (mais grave)

É conhecido que geralmente a maioria dos solos das regiões desenvolvidas tecnologicamente são contaminadas pelo menos um pouco. Apesar disso, pequenas quantidades de poluentes podem não apresentar efeitos significantes, tanto na fertilidade do solo como na saúde dos animais e dos homens. Contaminações mais severas, que apresentam ameaça real, foram estimadas recentemente e mostraram uma relação com a atividade industrial.

Foram avaliados

50000-100000 sítios contaminados no Reino Unido

25000 sítios contaminados nos EUA

6000 sítios contaminados na Holanda

6000 sítios contaminados na ex-Alemanha oriental.

Locais contaminados por indústrias mostram uma distribuição heterogênea dos poluentes; penetração profunda do poluente.

Locais contaminados por poluição atmosférica mostram uma distribuição mais uniforme; somente as camadas superiores do solo são mais contaminadas.

## 2- Poluentes dos solos e suas origens:

### A- Metais pesados

Eles têm densidade superior a 6 g/cm<sup>3</sup> e ocorrem naturalmente em rochas mas se estiverem em uma concentração alta no solo isso resulta de uma contaminação. Os metais pesados pertencem ao grupo dos elementos geoquimicamente descritos como “elementos traços” que juntos compõem menos de 1% das rochas da crosta.

Todos os elementos traços são tóxicos para os organismos vivos em concentração elevada, mas alguns são essenciais para esses seres vivos em concentração baixa.

Elementos essenciais: Co, Cr, Cu, Mn, Mo (plantas unicamente), Ni (plantas unicamente), Se, Zn, Fe, B, I são essenciais mas não são metais pesados (nem metais no caso de B e de I).

Elementos não essenciais: Ag, As, Ba, Cd, Hg, Pb, Sb, Tl

Todos (essenciais e não essenciais) são tóxicos em concentração elevada

Os metais responsáveis pela contaminação dos solos mais importantes são: As, Cd, Cr, Hg, Pb e Zn.

## Fontes de metais pesados :

### a- Mineração metalíferas

Porque no minério de um metal desejado sempre têm outros metais.

A maioria dos sítios de mineração são contaminados com outros metais e não metais (enxofre).

### b- Fusão dos metais

### c- Indústrias metalúrgicas

### d- Outras indústrias contaminadores

Fontes de poluição - atmosférica

- efluentes líquidos

- lixo sólidos

- Indústria eletrônica (semi-condutores, circuitos, soldas, baterias...)

Cd, Ni, Pb, Hg, Se, Sb

- Pigmentos e tintas: Pb, Cr, As, Sb, Se, Mo, Cd, Co, Ba, Zn

- Indústrias de plásticos (estabilizantes de polímeros)

Cd, Zn, Sn, Pb

- Indústrias químicas (catalisadores e eletrodos)

Hg, Pt, Ru, Mo, Ni, Sn, Sb, Pd, Os

### e- Disposição de resíduos

Lixos sólidos municipais, lixos especiais e lixos perigosos de muitas origens podem conter uma grande variedade/quantidade de metais pesados.

f- Corrosão de metais em uso.

g- Agricultura

As, Cu, Zn são adicionados às rações animais

Alguns pesticidas são compostos de metais pesados (As, Cu (exemplo:antifúngico), Pb, Zn)

i- Preservantes de madeira

Preservantes de madeira contendo As, Cr e Cu foram usados durante muitos anos causando contaminação de solos e água nas vizinhanças de depósitos de madeira.

j- Combustão de combustíveis fósseis

Elementos traços como Cd, Zn, As, Sb, Se, Ba, Cu, Mn, V presentes no carvão e petróleo podem estar presentes nas cinzas ou emissões gasosas ou ainda nas partículas resultantes da combustão.

Também metais são adicionados em lubrificantes e combustíveis para melhorar suas propriedades: Se, Te, Pb, Mo

## B- Poluentes hidrocarbonetos (HC)

São compostos extraídos do petróleo e compreendem uma faixa de alcanos saturados de curta cadeia até  $C_{76}H_{154}$  + hidrocarbonetos aromáticos (benzeno, tolueno) + hidrocarbonetos aromáticos com N (piridina), com S (tiofeno).

Além da toxicidade e riscos associados com a ingestão e inalação de HC voláteis, também há risco de fogo e explosão.

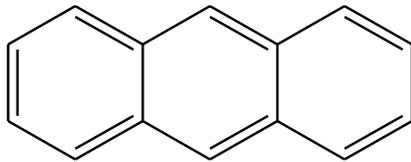
Fontes de HC poluentes:

- Estocagem e distribuição de combustíveis. Vazamentos de câmaras subterrâneas e de postos de distribuição + acidentes rodoviários → poluição dos solos e águas. Apesar do volume grande de poluentes despejado no meio ambiente, esses HC são rapidamente degradados em solos (bactérias) e são menos tóxicos que outros compostos orgânicos como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP) ou as dioxinas.

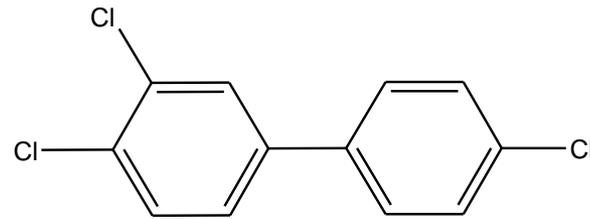
- Vazamentos de solventes de áreas industriais. Os solventes são muito usados para a limpeza e desengordurar os metais.

## C- Poluentes orgânicos persistentes (POP's)

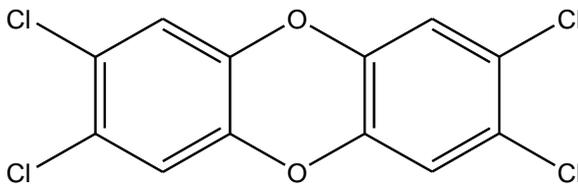
Variedade de compostos com muitas diferenças de comportamento em solos e de toxicidade para as plantas, organismos do solo e humanos. Maior problema com esses produtos é a baixa biodegradabilidade → poluição das águas (superficiais e subterrâneas) + entrada na cadeia alimentar através de grãos ou de animais (peixes, aves) contaminados.



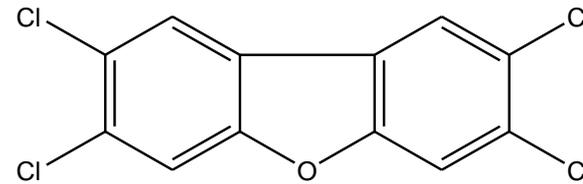
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP)



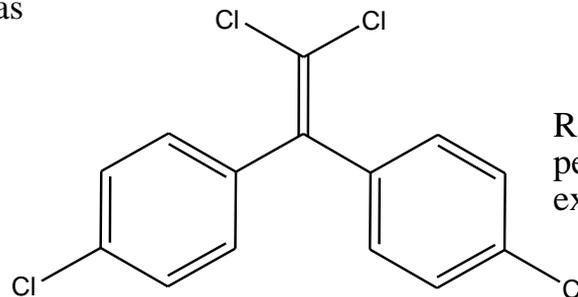
Bifenilas policloradas (PCBs)



Dioxinas



Furanos



Resíduos e metabolito de  
pesticida  
ex: DDE = metabolito do DDT

## D- Descartes ricos em nutrientes

1- Resíduos de esgotos = Resíduos provenientes do tratamento de águas de esgotos (ricas em N, P). Usados em área agrícola = fonte de nutriente como N e P para as plantas → problema por causa que esses resíduos contêm também - metais pesados

- POP's

2- Estercos = fontes de N, P e K mas contém aditivos de rações animais como As, Cu e Zn

## E- Radionuclídeos

Acidentes nucleares como Tchernobyl (Ukraniâ 1986) resulta na dispersão de muitos elementos radioativos no meio ambiente →  $^{137}\text{Cs}$  tem um  $t_{1/2} = 30$  anos e ele tem um comportamento parecido ao K. Os seres vivos vão acumular o  $^{137}\text{Cs}$  no lugar do K.

Testes atmosféricos de bombas atômicas (1950-1960) liberaram  $^{90}\text{Sr}$  ( $t_{1/2} = 29$  anos).  $^{90}\text{Sr}$  é parecido ao Ca nos sistemas biológicos → danos em homens no esqueleto.

### **3- Mecanismos de transporte que levam os poluentes para os solos:**

- Deposição atmosférica de particulados (chuvas e deposição de poeiras)**
- Sorção de gases da atmosfera**
- Transporte fluvial e deposição ou sorção de águas de inundação**
- Deposição (espalhamento, injeção, aterro, agricultura, etc...)**

### **4- A natureza e propriedades dos solos relacionadas ao comportamento de poluentes.**

#### **I- Propriedades químicas e físicas de solos afetando o comportamento e o futuro dos poluentes**

**Considerações importantes:**

**Metais pesados = cátions**

**Elementos importantes como As, B, Sb, Cr, Se = ânions**

**Alguns pesticidas = iônicos**

**A maioria dos compostos orgânicos = neutros e hidrofóbicos**

## **A- Adsorção não específica de cátions e ânions (troca iônica)**

- **Ânions são adsorvidos nos sítios carregados positivamente da fração coloidal de óxidos de ferro hidratados sobretudo.**

**Depende do pH**

**pH < 7  $\text{Fe}_y\text{O}_x^+$  → adsorve ânions**

**pH > 7  $\text{Fe}_y\text{O}_x^-$  → adsorve cátions**

- **Cátions são adsorvidos sobre as cargas negativas das superfícies da fração coloidal do solo**

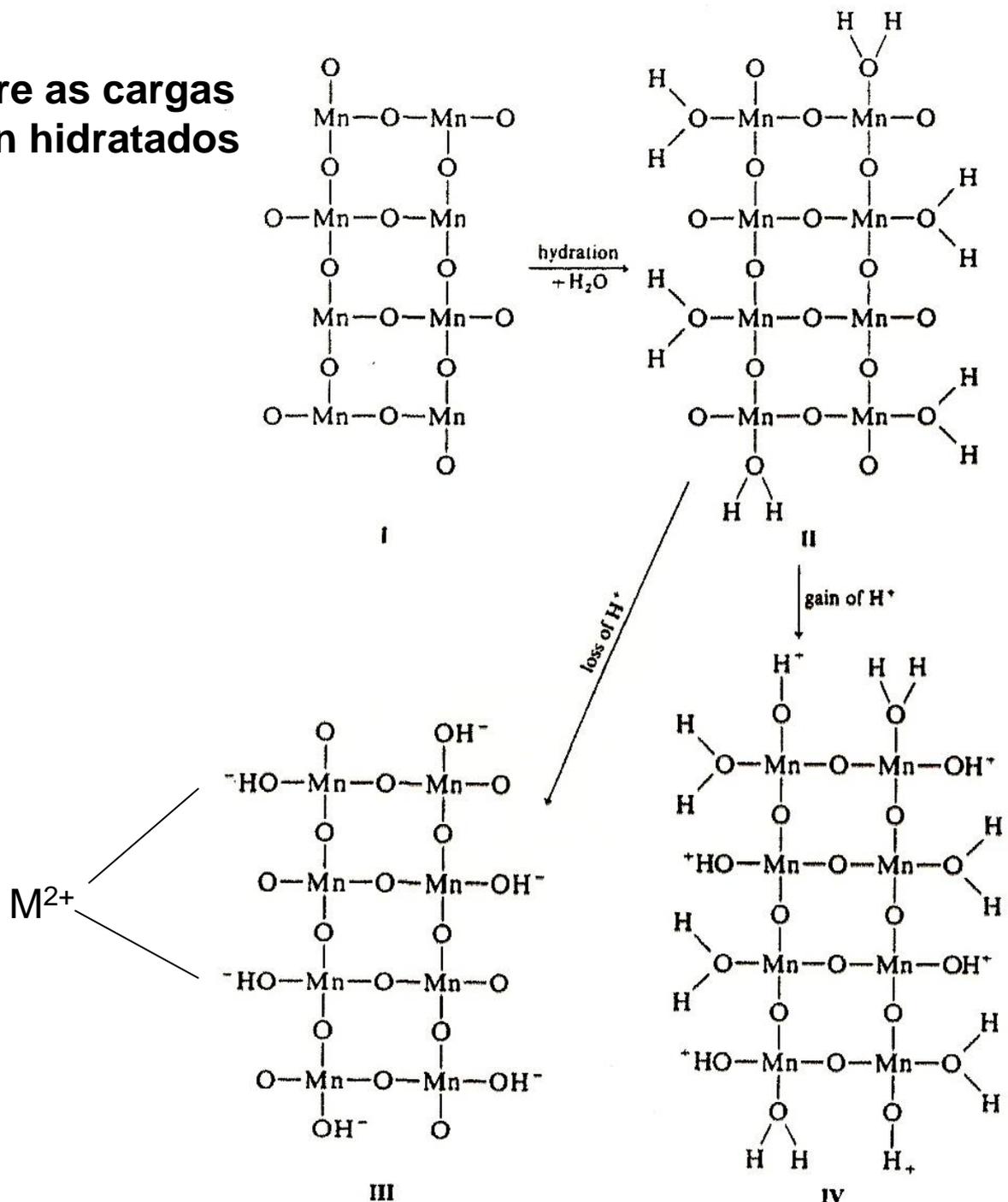
- **Argilas (carga negativa permanente)**

- **Óxidos de Fe e Mn hidratados**

- **Substâncias húmicas**

**Matéria Orgânica = carga negativa quando pH > 2,5**

# Cátions adsorvidos sobre as cargas negativas dos óxidos Mn hidratados



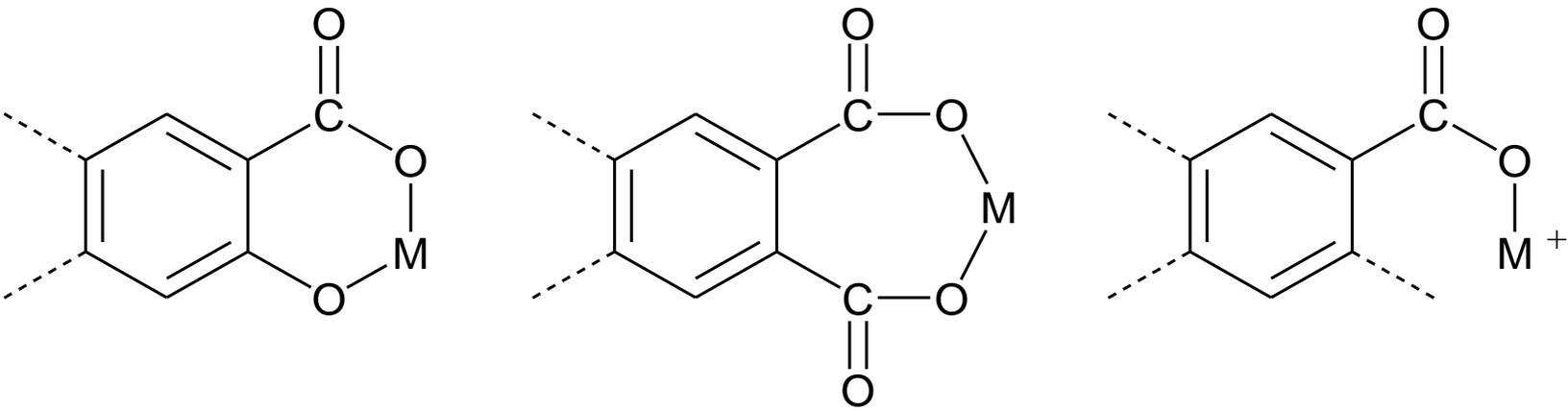
## B- Adsorção específica (não tem troca)

Ânions de Cd, Cu, Ni e Zn formam íons complexos (MOH<sup>+</sup>) em superfície contendo grupos hidroxila, sobretudo de óxidos de Fe, Mn ou Al hidratados. Estes cátions não são sujeitos a trocas catiônicas mas podem ser substituídos por ácidos fortes ou agentes complexantes. A adsorção específica é fortemente dependente do pH e é responsável por uma maior quantidade de metais adsorvidos que a adsorção não específica.

## C- Complexação orgânica de metais

**Matéria húmica sólida**

**Metais como Pb ou Cu ficam presos no suporte**



## **D- Sorção de contaminantes orgânicos sobre o material húmico.**

**Principal mecanismo pelo qual as moléculas orgânicas hidrofóbicas se ligam ao solo.**

- - interações físicas**
- ligação química**

## **E- Sorção química de elementos**

**Ocorre quando um elemento é incorporado dentro da estrutura de um composto.**

**Ex: Cd pode substituir o Ca na estrutura mineral da calcita ( $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CdCO}_3$ )**

## **F- Precipitação**

**Ocorre quando  $[\text{Metal}] > K_{ps}$**

**Ex:  $\text{CdCO}_3$**

## **II – Degradação dos poluentes orgânicos nos solos**

- **Mecanismo não-biológico**
  - **hidrólise**
  - **oxidação/redução**
  - **foto-decomposição**
  - **evaporação**
- **Biodegradação (microorganismos → enzimas)**
  - **hidrólise**
  - **eliminação**
  - **oxidação**

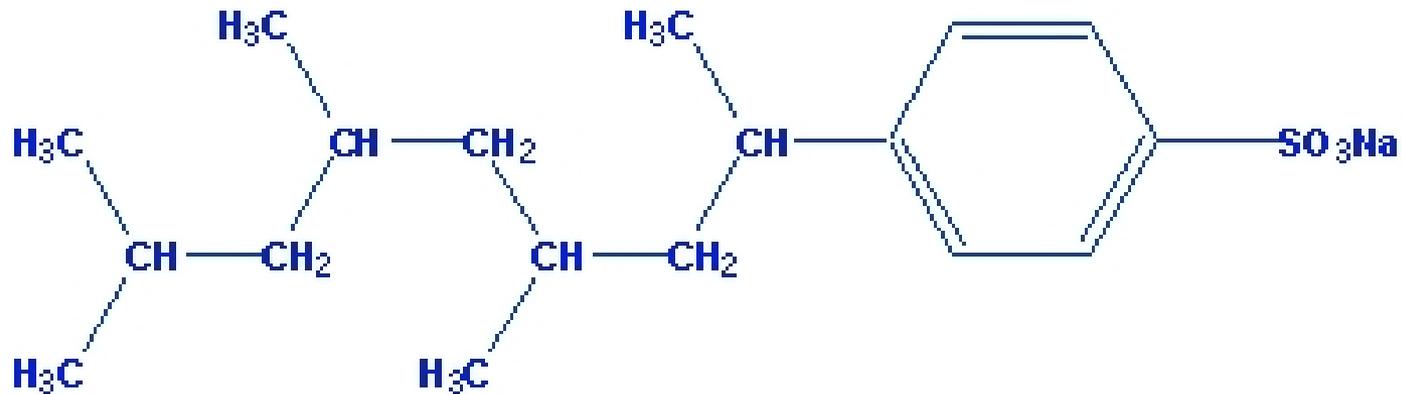
**A maioria dos compostos orgânicos são biodegradáveis**

**→ depende da estrutura**

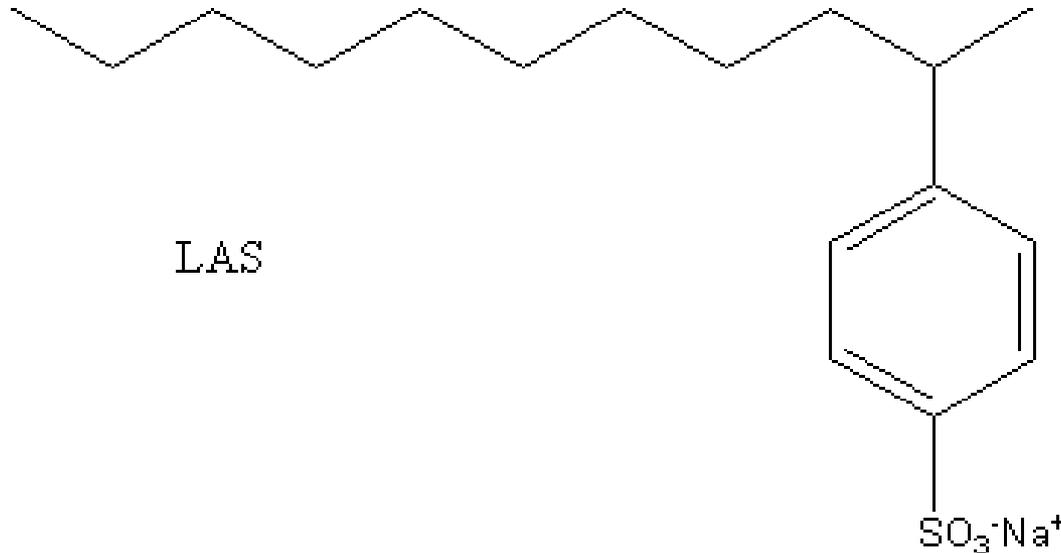
**Moléculas com alto número de átomos de cloro (pesticidas) ou com baixa solubilidade provocam uma diminuição da biodegradabilidade.**

**Exemplo dos detergentes:**

**Detergentes não biodegradável: ABS – Alquilbenzeno sulfonato**



**Detergentes biodegradável: LAS – Alquilbenzeno Linear sulfonato**



# Convenção de Estocolmo, sobre Poluentes Orgânicos Persistentes: POP's

Iniciaram-se em 1995, sob os auspícios da UNEP, as negociações para controlar o uso, produção e libertação de POP's. Foi criado um grupo de especialistas que identificou, com base em critérios científicos, os **doze poluentes** objeto da Convenção:

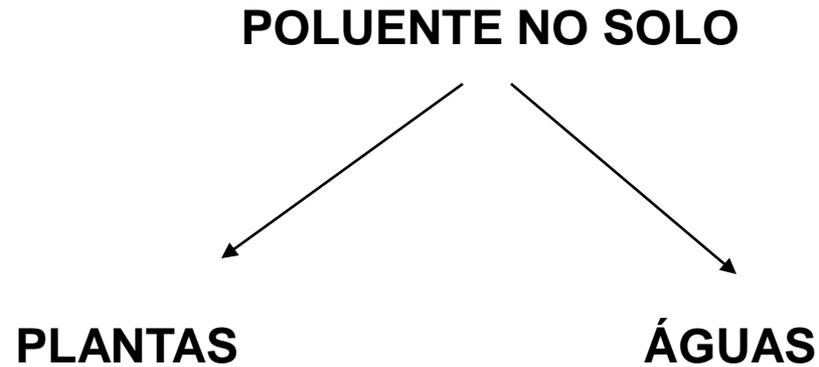
**oito pesticidas:** aldrina e dieldrina, endrina, clordano, heptacloro, DDT, toxafeno e mirex;

**dois químicos de aplicação industrial:** hexaclorobenzeno e PCBs;

**dois resíduos (sub-produtos não intencionais):** dioxinas e furanos.



## 5 – Conseqüências da poluição dos solos



Depende das plantas e do tipo da disponibilidade (tipo de sorção) do poluente no solo

Existem coeficientes de transferência : Contaminante no solo – Plantas

0,01-0,1 : As, Co, Cr, Hg, Pb e Sn

0,1-1 : Cu, Ni

1-10 : Cd, Tl, Zn → Metais mais assimiláveis por plantas

Poluentes orgânicos tendem a ter coeficientes mais baixos

Ex: dioxinas 0,033

Solo pode ser poluído por uma grande variedade de compostos químicos de várias origens da atividade humana. Para avaliar o futuro desses poluentes em solo, tem que considerar:

- Efeito combinatório, tipo e concentração do poluente
- A composição do solo (matéria orgânica, argilas,  $\text{CaCO}_3$ , etc...)
- Tipo de plantas
- Clima (umidade, temperatura)

→ interações complexas mas é possível fazer previsões para os metais pesados e micropoluentes orgânicos (bioremediação e fitoremediação)