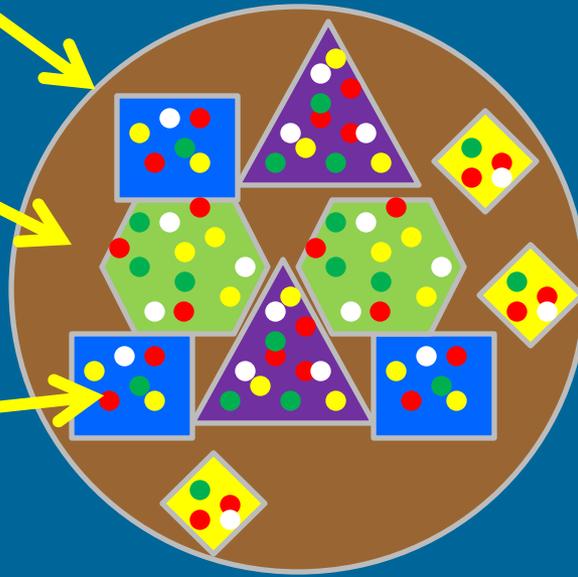


Relação Rocha - Solo

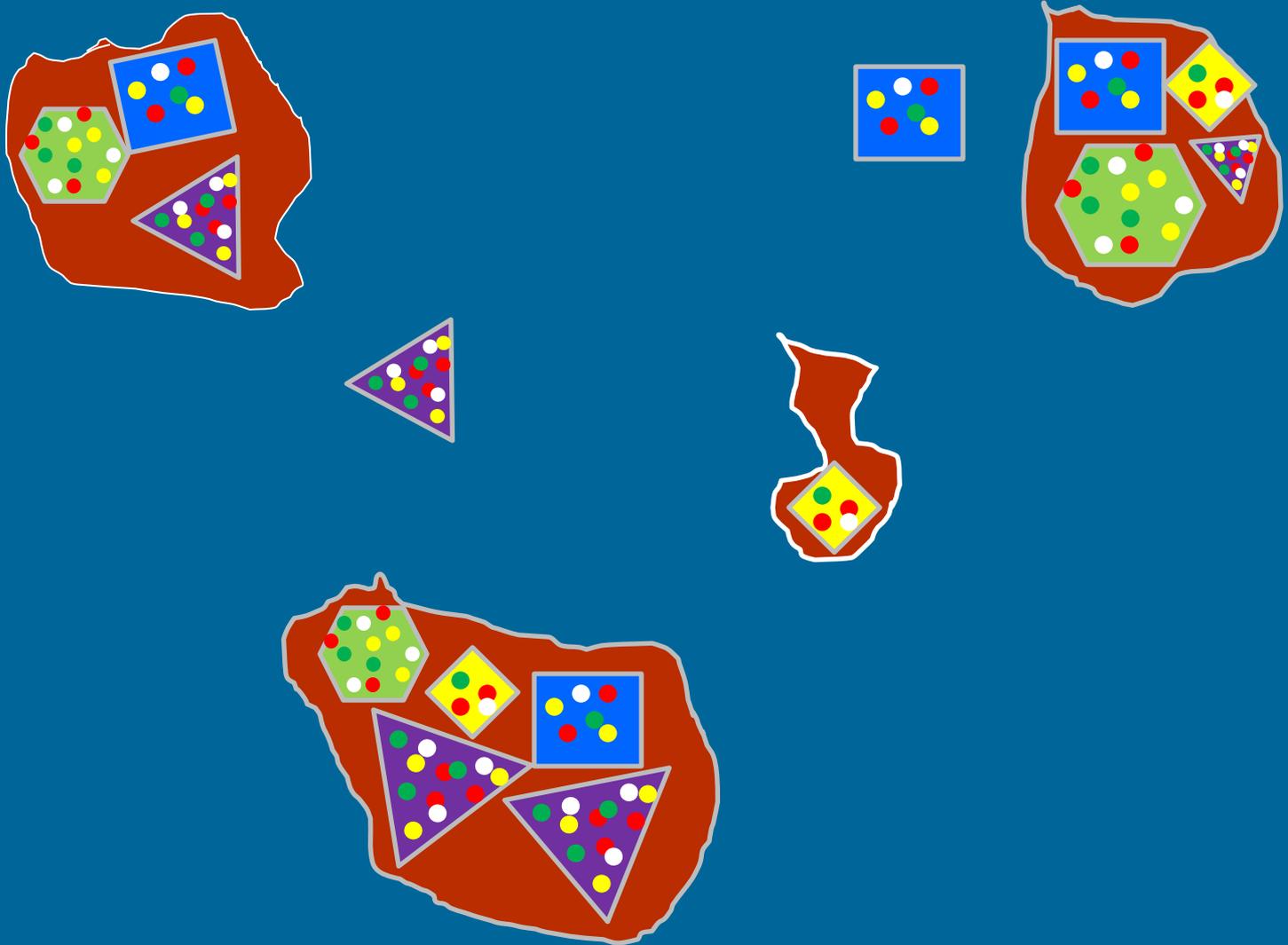
ROCHA

**MINERAIS
Primários
(Litogênicos)**

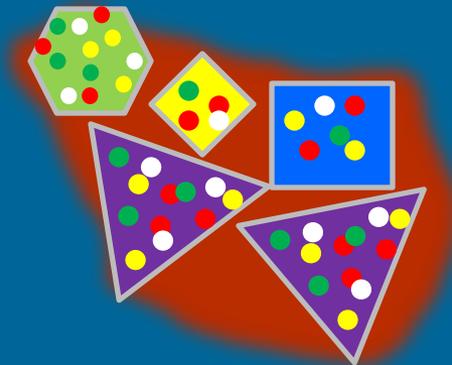
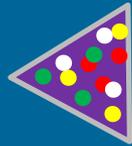
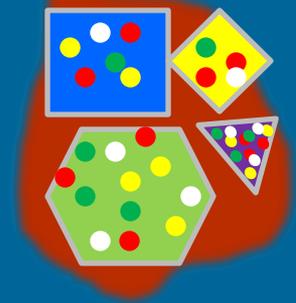
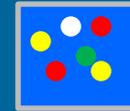
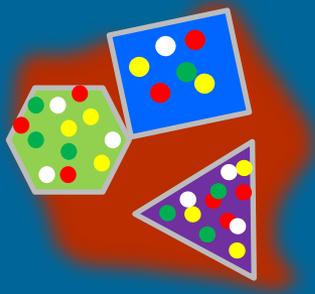
**Elementos
Químicos**



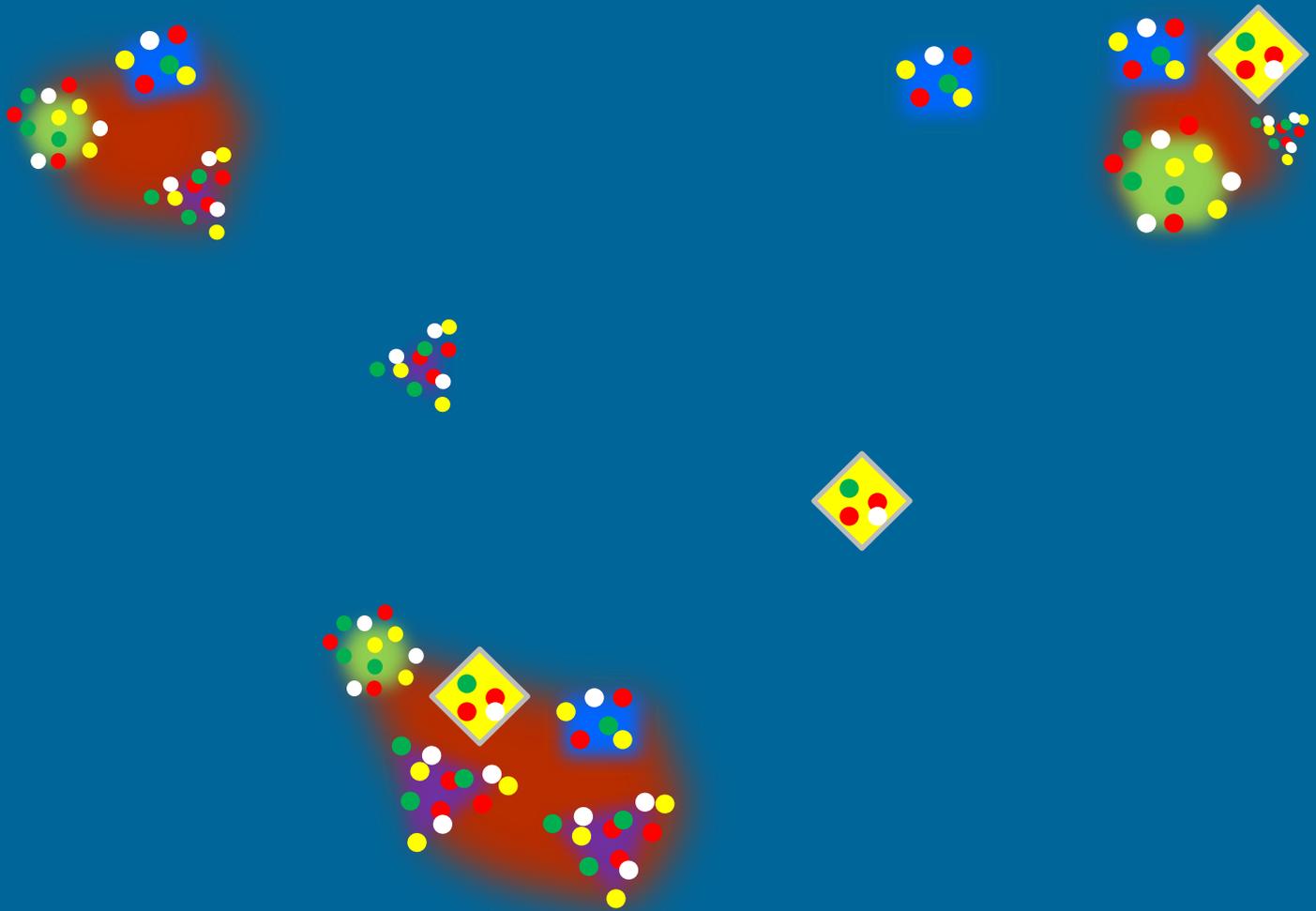
INTEMPERISMO FÍSICO



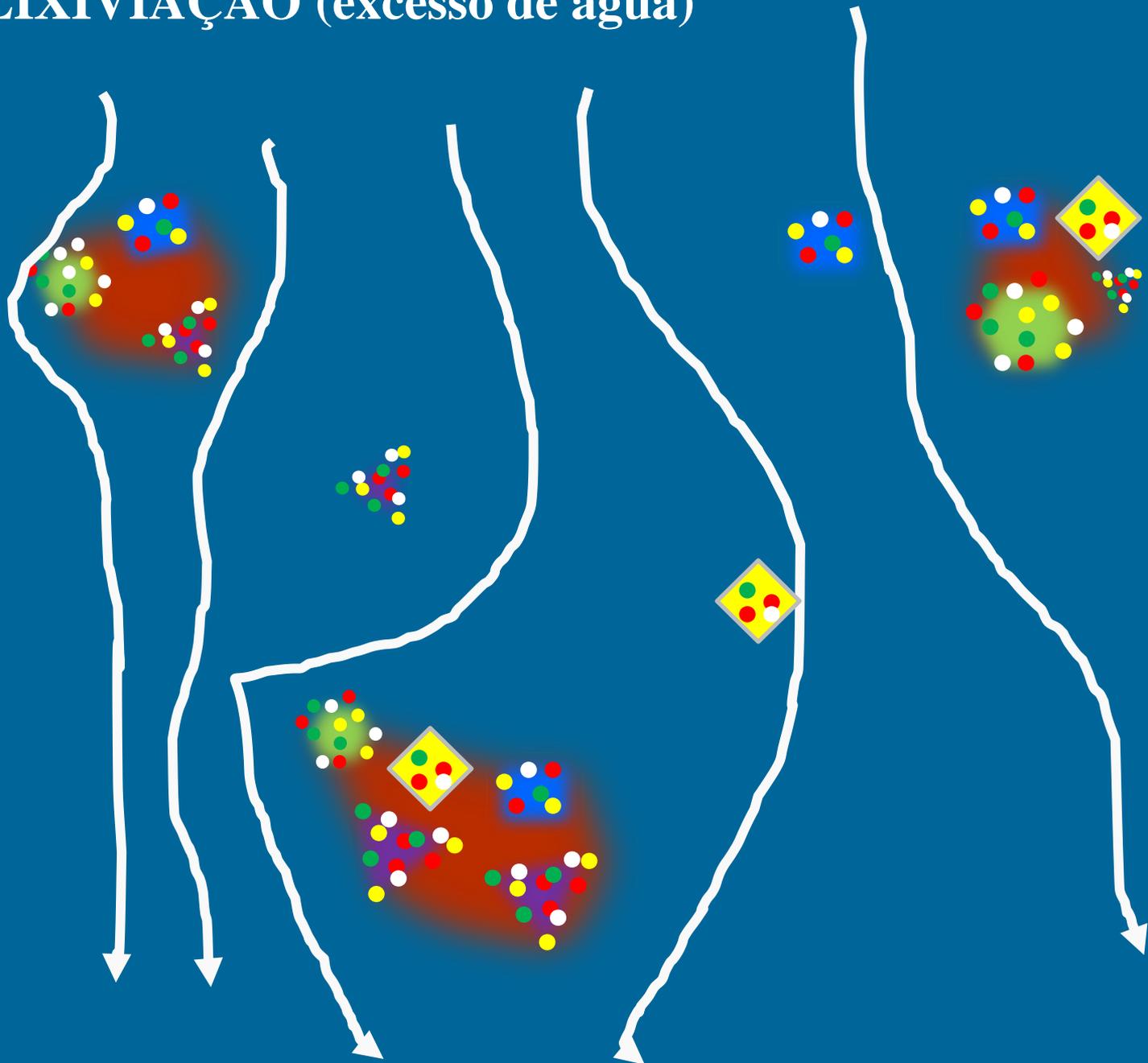
INTEMPERISMO QUÍMICO



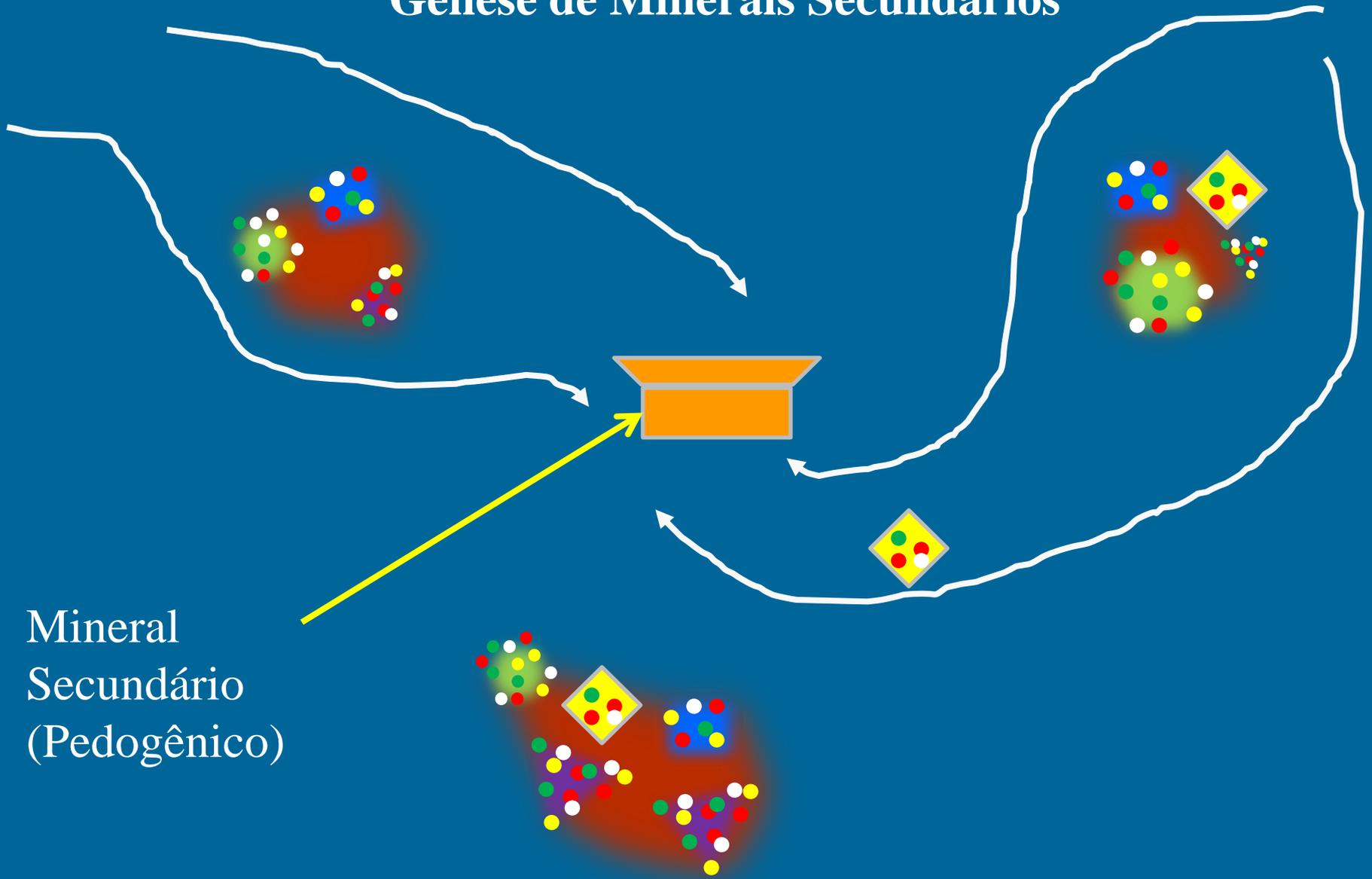
INTEMPERISMO QUÍMICO



LIXIVIAÇÃO (excesso de água)



Gênese de Minerais Secundários



Mineral
Secundário
(Pedogênico)

QUARTZO



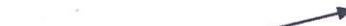
AREIA (quartzo)

FELSPATOS



Argilas

**FERRO-
MAGNESIANOS**
Piroxênios, anfibólios,
biotitas



Argilas +



**Óxidos e hidróxidos
Fe e Al**

MINERAIS NAS ROCHAS

MINERAIS NOS SOLOS

Como a rocha se transforma em solo ?

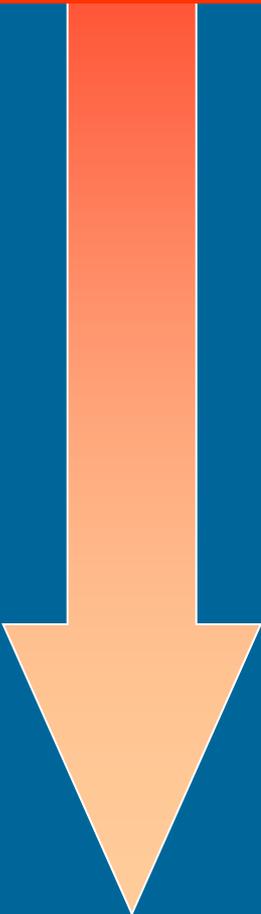
- Intemperismo
- Pedogênese

Como a rocha se transforma em solo ?

- Intemperismo
- Pedogênese

Processos de Superfície
(da Terra)

Intensidade
Intemperismo
diminui



Perfil de Solo

Saprolito

Rocha inalterada

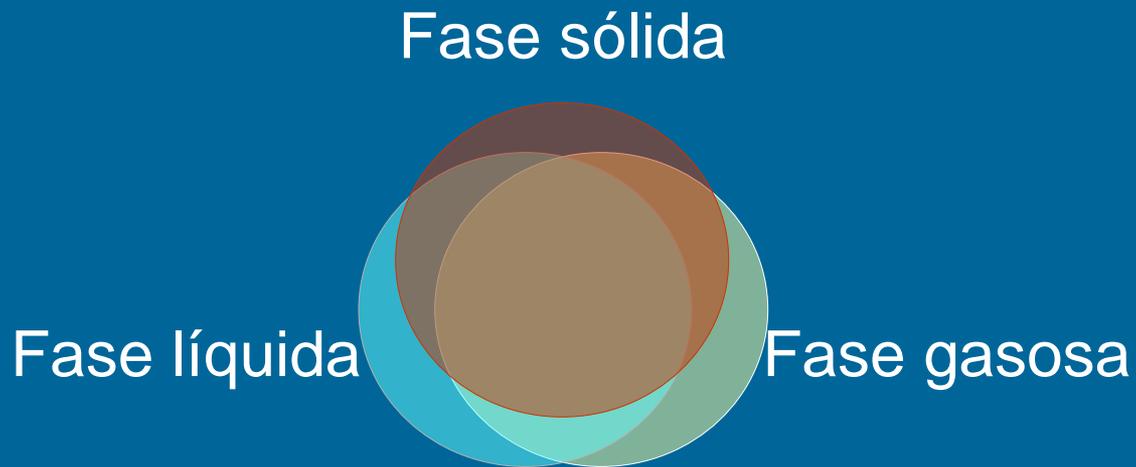


Intensidade
Intemperismo
diminui



Composição do solo
e
Mineralogia

Composição do Sistema Solo



Composição do solo – Fase sólida



Assunto principal desta aula:
fase sólida do solo,
principalmente a

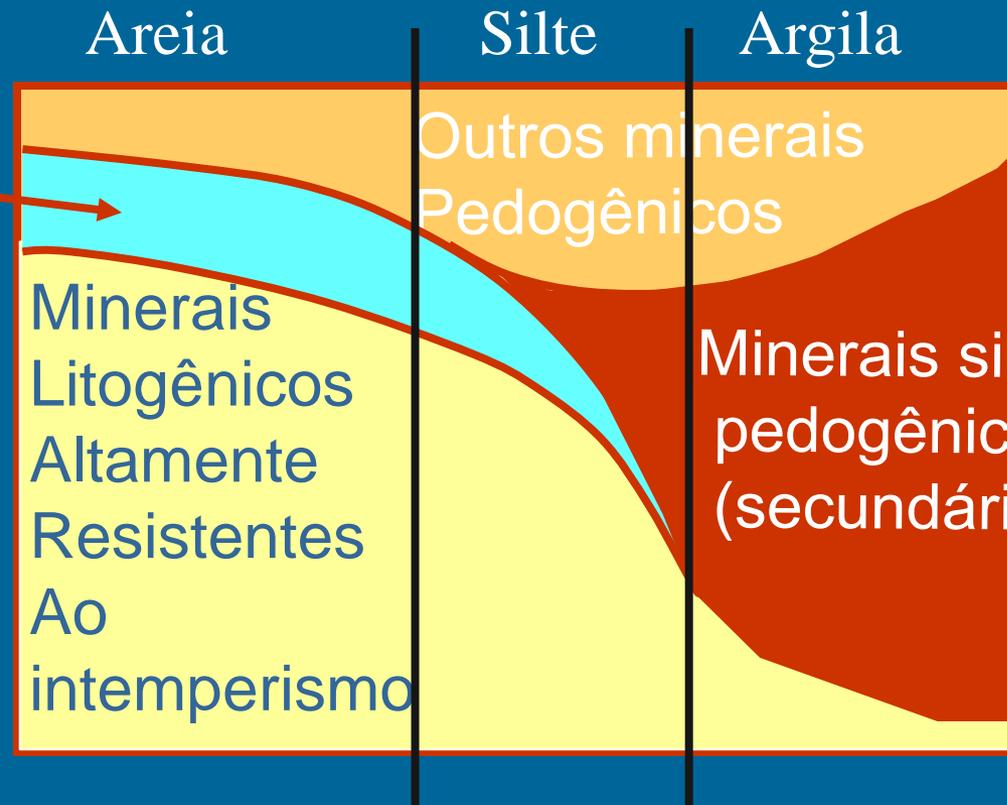
fração argila

Frações do solo

Porque estes limites de tamanho e não outros?

Frações de tamanho

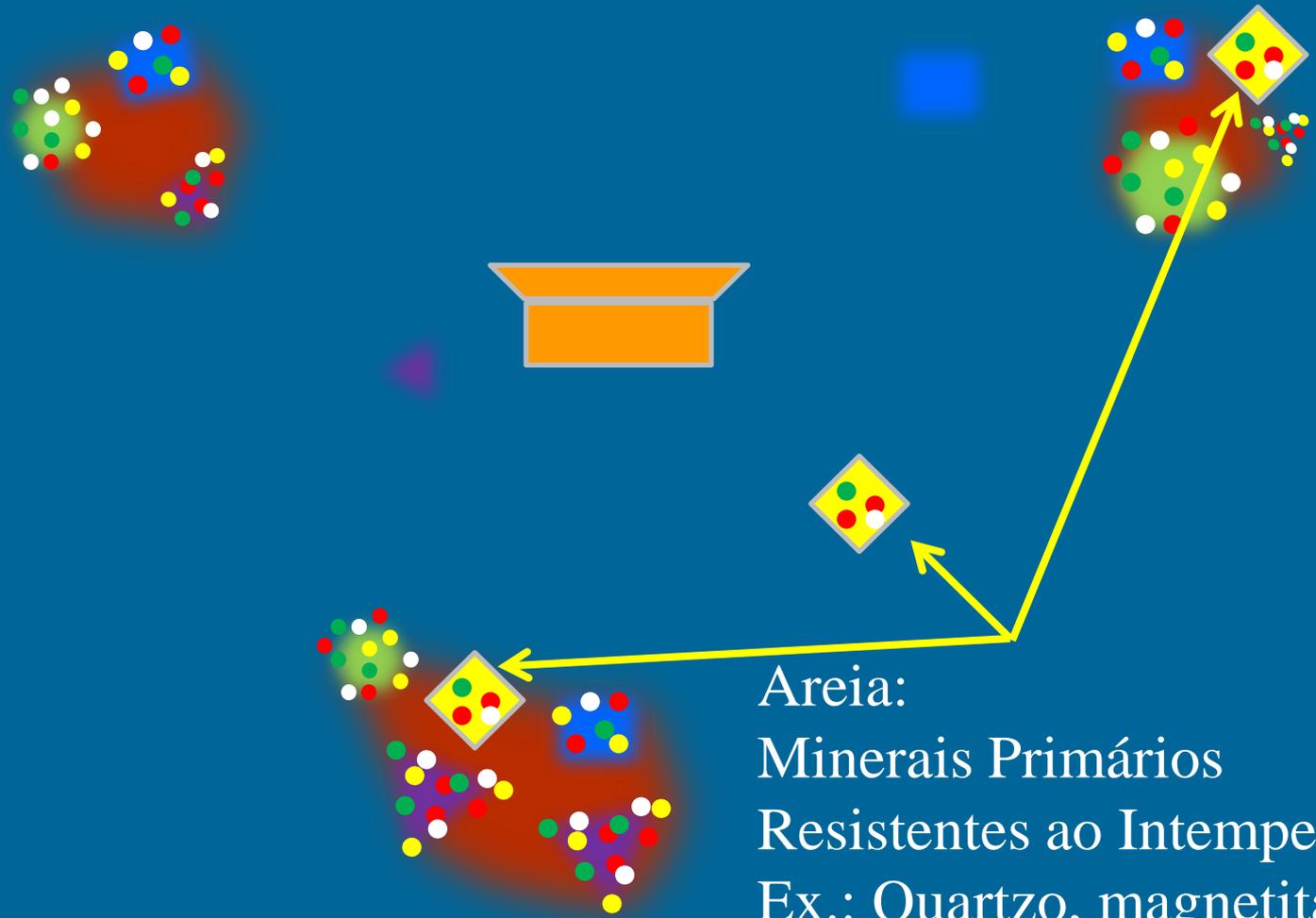
Minerais
Primários
Pouco Resistentes
Ao Intemperismo



Minerais silicatados
pedogênicos
(secundários)

Diminui o tamanho da partícula

Distribuição dos minerais nas classes de tamanho



Areia:
Minerais Primários
Resistentes ao Intemperismo
Ex.: Quartzo, magnetita

Distribuição dos minerais nas classes de tamanho

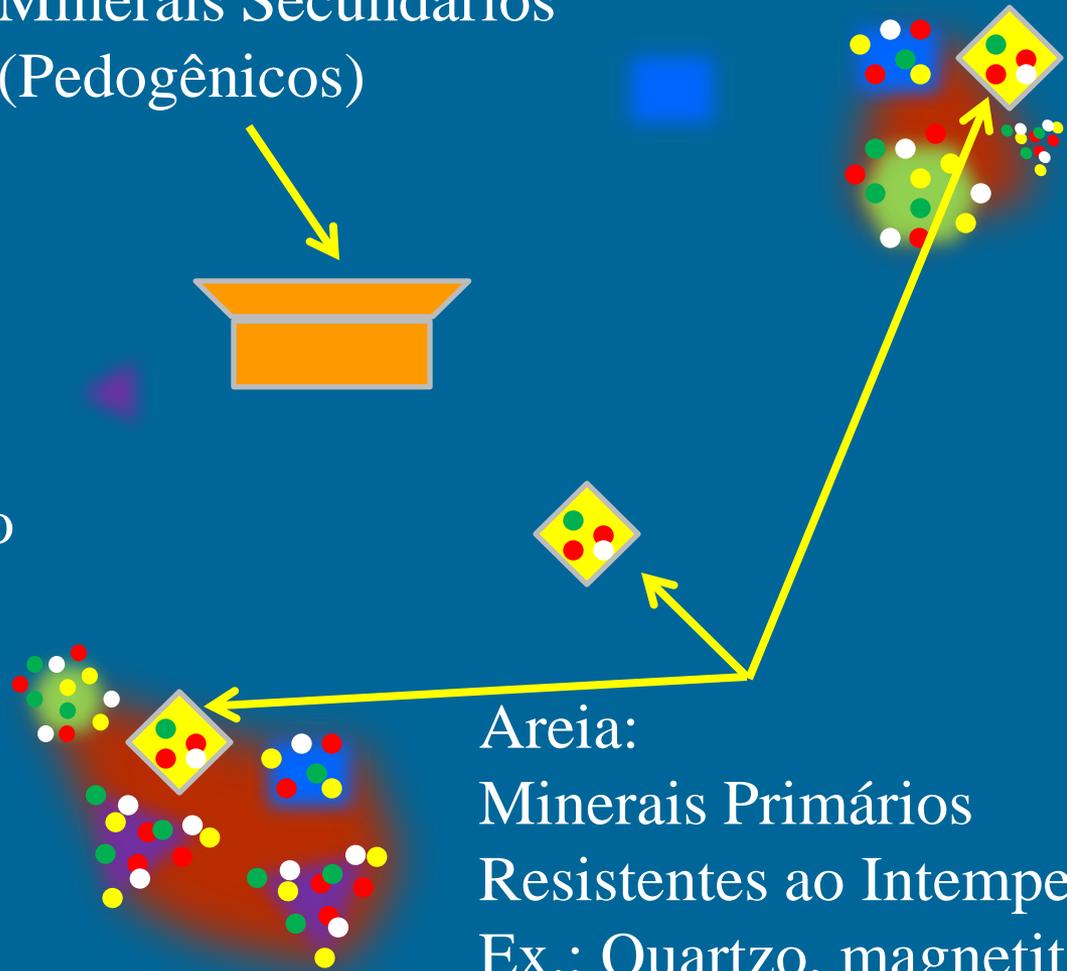


Distribuição dos minerais nas classes de tamanho

Argila:
Minerais Secundários
(Pedogênicos)

Silte:
Minerais Primários
em estado intermediário
de intemperismo

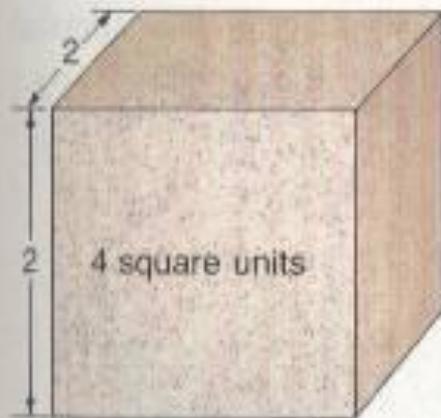
Areia:
Minerais Primários
Resistentes ao Intemperismo
Ex.: Quartzo, magnetita



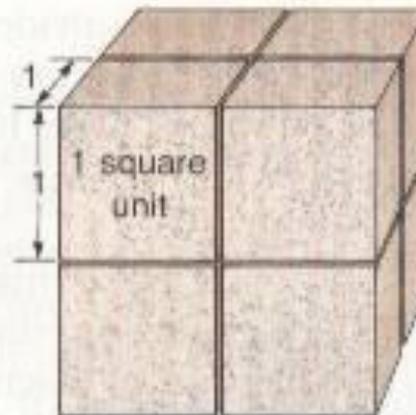
Porque tamanho da partícula
é importante ??

Por causa da...

Área Superficial Específica



$$\begin{array}{r} 4 \text{ square units} \times \\ 6 \text{ sides} \times \\ 1 \text{ cube} = \\ \hline 24 \text{ square units} \end{array}$$



$$\begin{array}{r} 1 \text{ square unit} \times \\ 6 \text{ sides} \times \\ 8 \text{ cubes} = \\ \hline 48 \text{ square units} \end{array}$$

FIGURE 2.1

Mechanical weathering increases the surface area available for chemical attack.

ASE vs CTC

- Quanto maior a ASE, maior a reatividade (capacidade de participar de reações químicas) do objeto ou partícula

ASE das Frações do solo

Classe de Tamanho	Composição Mineralógica	Diâmetro (mm)	A.S.E. (m^2g^{-1})
Areia Grossa	Quartzo	2,0-0,2	0,01
Areia Fina	Quartzo	0,2-0,05	0,1
Silte	Minerais 1°	0,05-0,002	1
Argila	Minerais 2°	< 0,002	5-800*

ASE depende do tipo do argilomineral

1:1

Caulinita 5 – 20 m²g⁻¹

2:1

Vermiculita 300-500

Montmorilonita 700-800

Mineralogia da fração argila de solos

Dois grupos de minerais importantes para a fração argila do solo:

- Filossilicatos de alumínio
- Óxidos:
 - De ferro
 - De alumínio

Conceitos importantes

(revisão da geologia/mineralogia)

- Polimerização;
- Substituição isomórfica;

Conceitos importantes

(revisão da química)

- CTC permanente;
- CTC variável;

1. Filossilicatos de Alumínio

Filossilicatos de alumínio

- Reveja a aula de classificação de minerais;
- Uma unidade básica dos silicatos é o tetraedro de silício;
- No caso dos Filossilicatos, o octaedro de alumínio também é outra unidade básica

Filossilicatos – modelo simplificado



Lâmina de silício

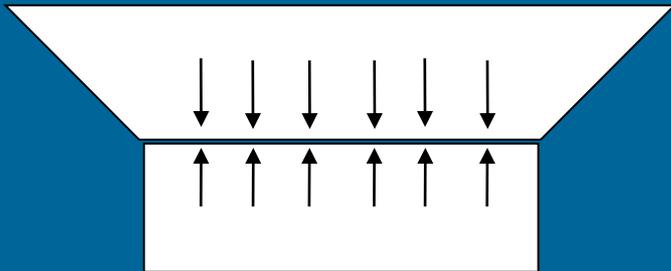


Lâmina de alumínio

Filossilicatos – modelo simplificado

Regra 1: Lâminas de Al atraem lâminas de Si.

Quando **1** lâmina de Al e **1** lâmina de Si se conectam, formam um filossilicato de camada **1:1**

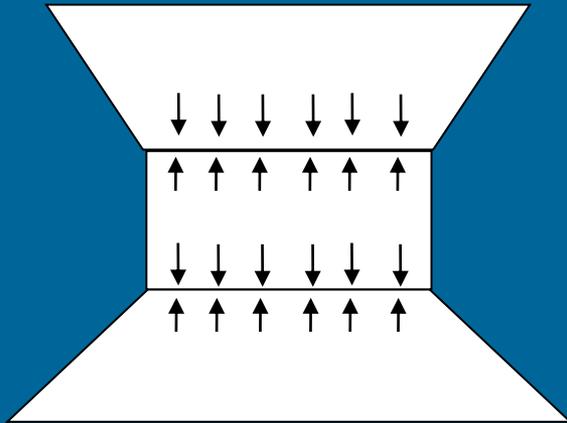


Camada 1:1

Filossilicatos – modelo simplificado

Regra 1: Lâminas de Al atraem lâminas de Si.

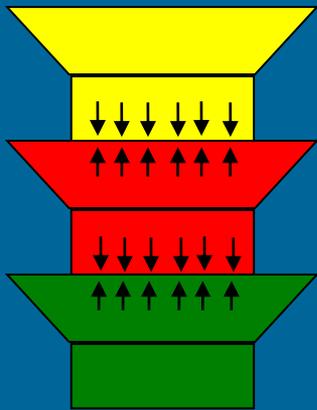
Quando **1** lâmina de Al e **2** lâminas de Si se conectam,
Formam um filossilicato de camada **2:1**



Camada 2:1

Filossilicatos – modelo simplificado

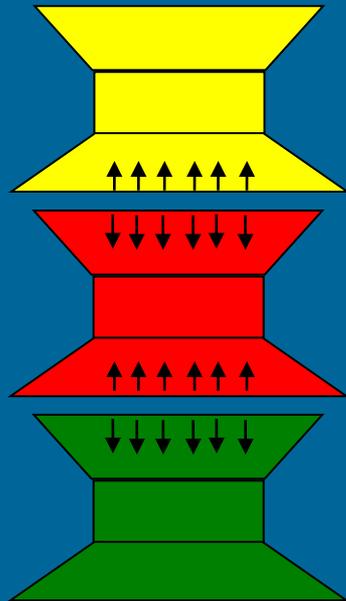
Regra 2: Lâminas de Si se repelem.



**Consequência 1:
Filossilicatos de
camada 1:1
NÃO expandem.**

Filossilicatos – modelo simplificado

Regra 2: Lâminas de Si se repelem.

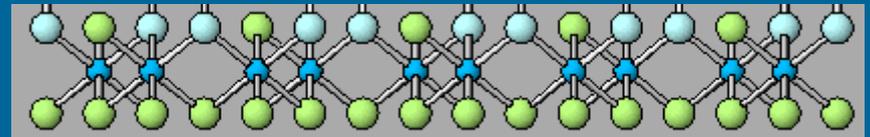
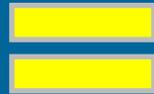
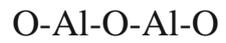
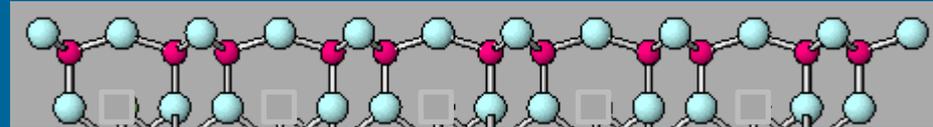
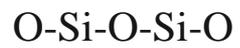


**Consequência 2:
Filossilicatos de camada
2:1**

PODEM expandir

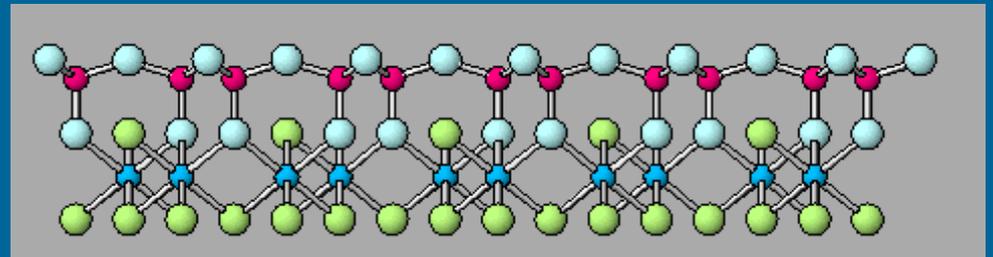
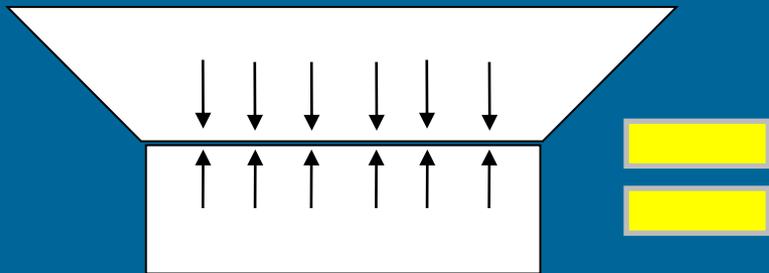
Ok. Agora o modelo mais
detalhado !!!

Filossilicatos



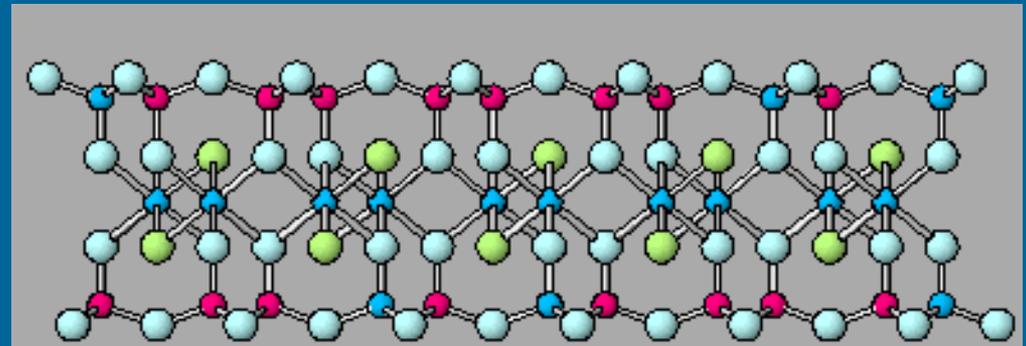
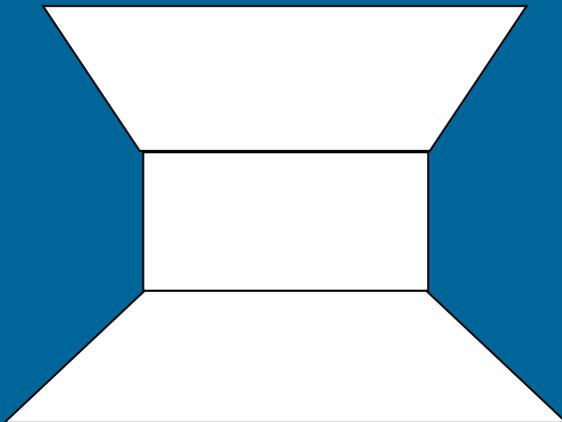
Filossilicatos

Camada 1:1

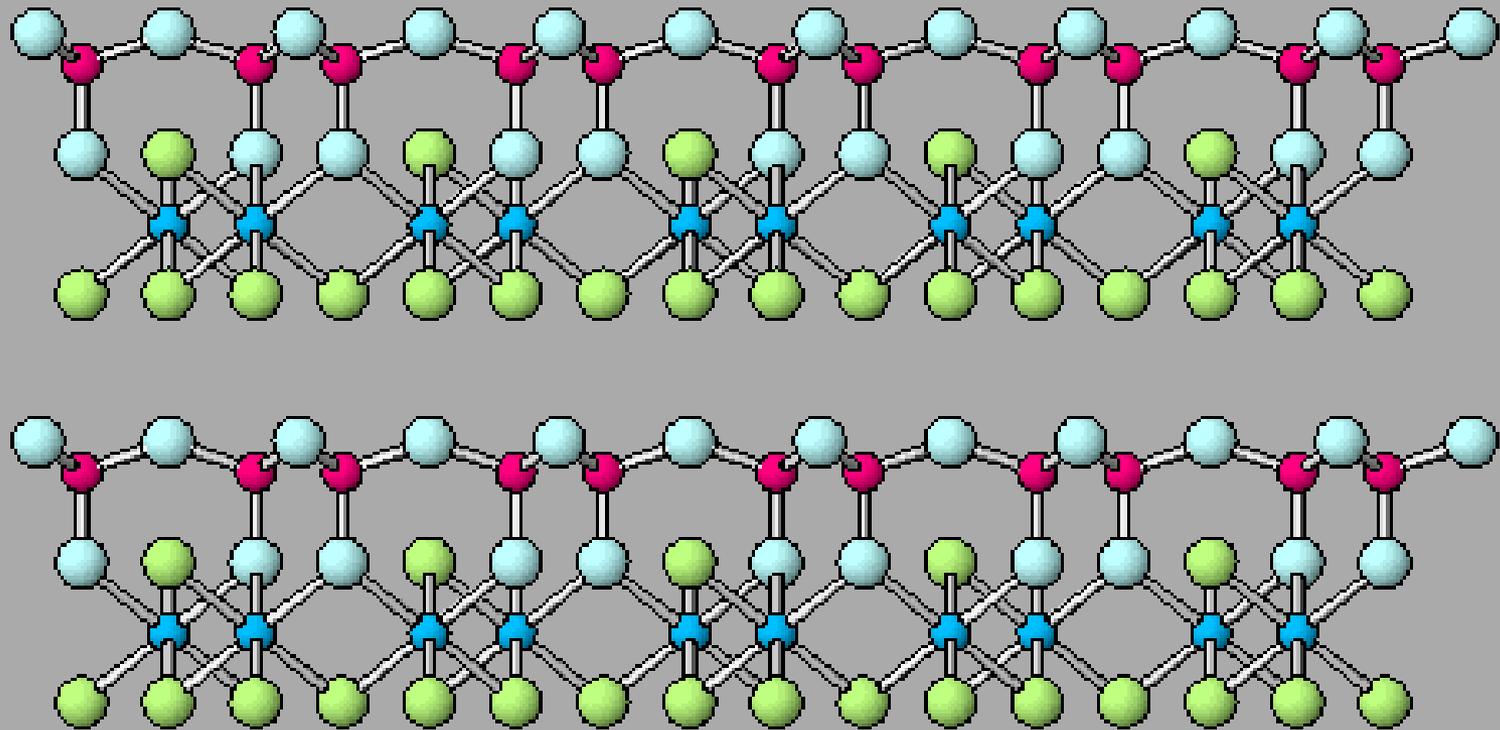


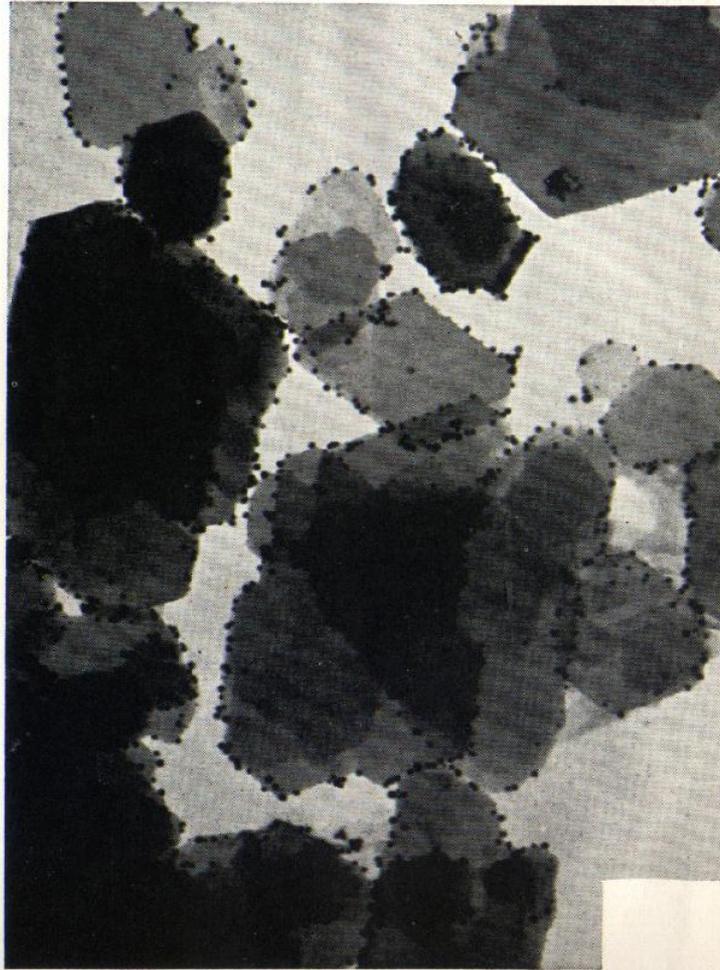
Filossilicatos

Camada 2:1



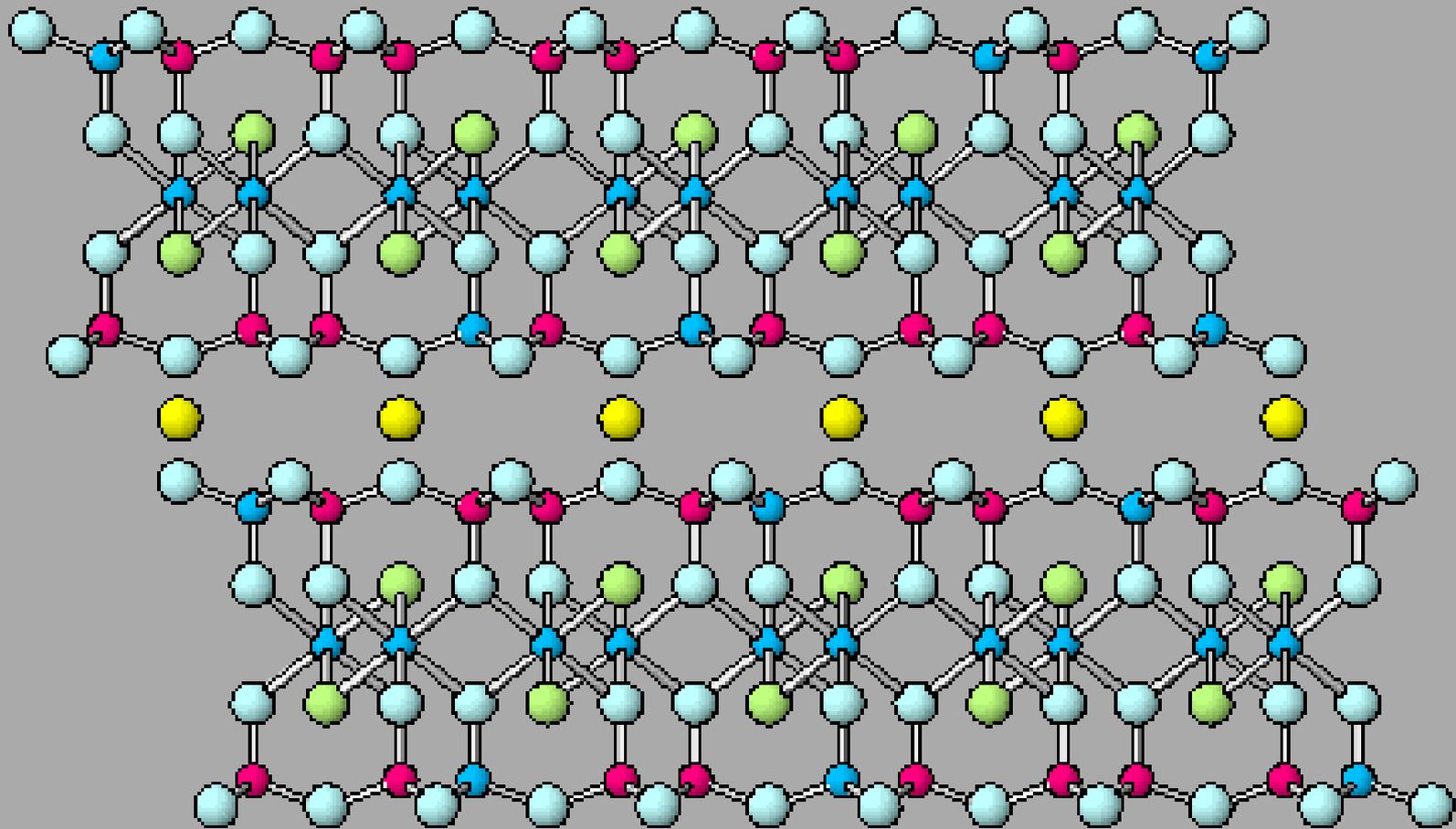
Filossilicato 1:1

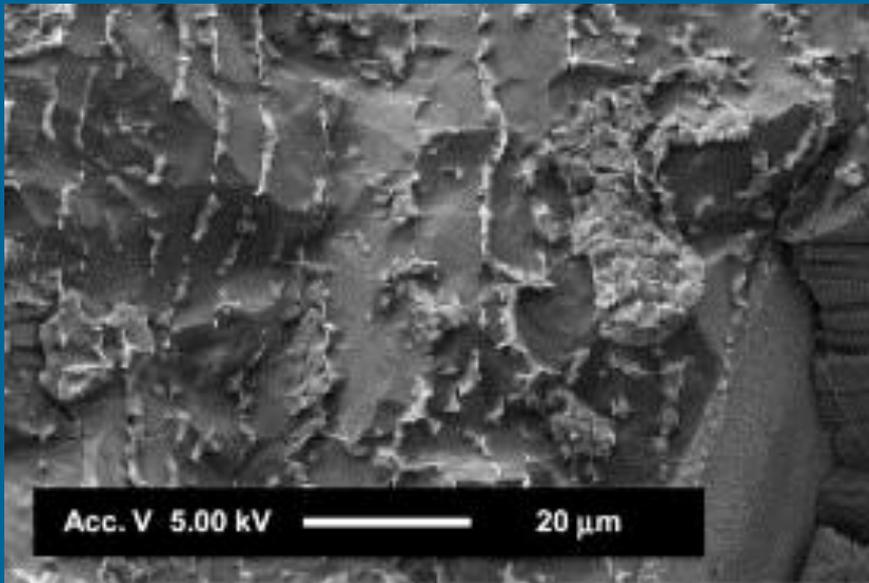




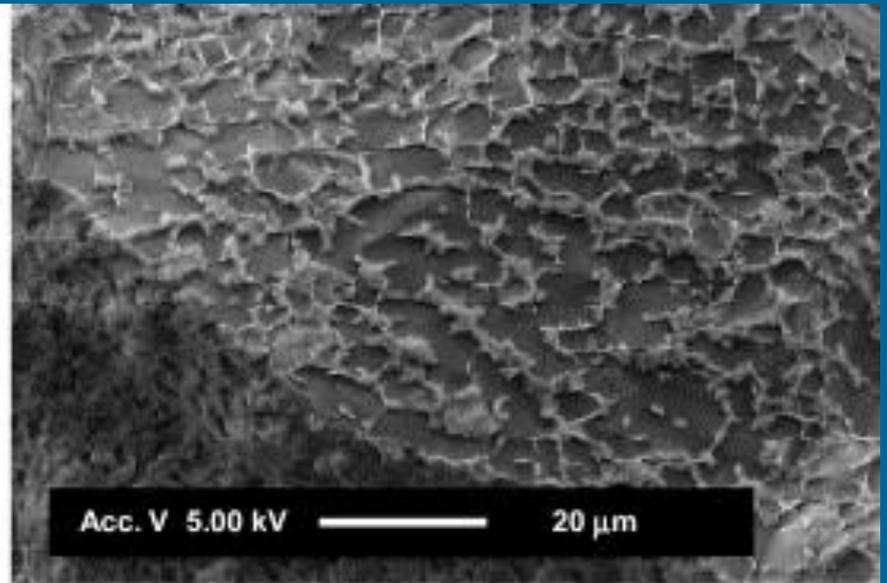
Kaolinite and gold sol.

Filossilicato 2:1



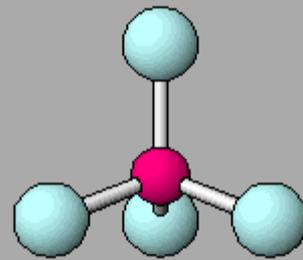


A

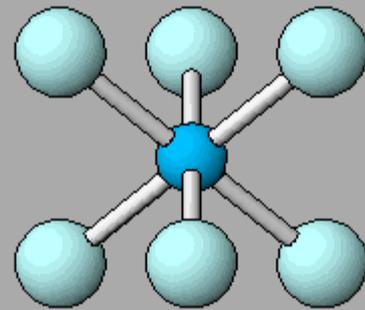


B

McFarlane et al, 2004



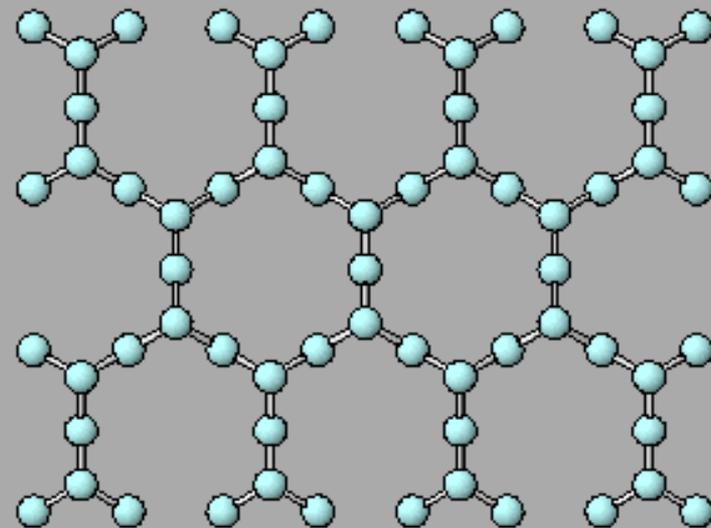
A Tetrahedron



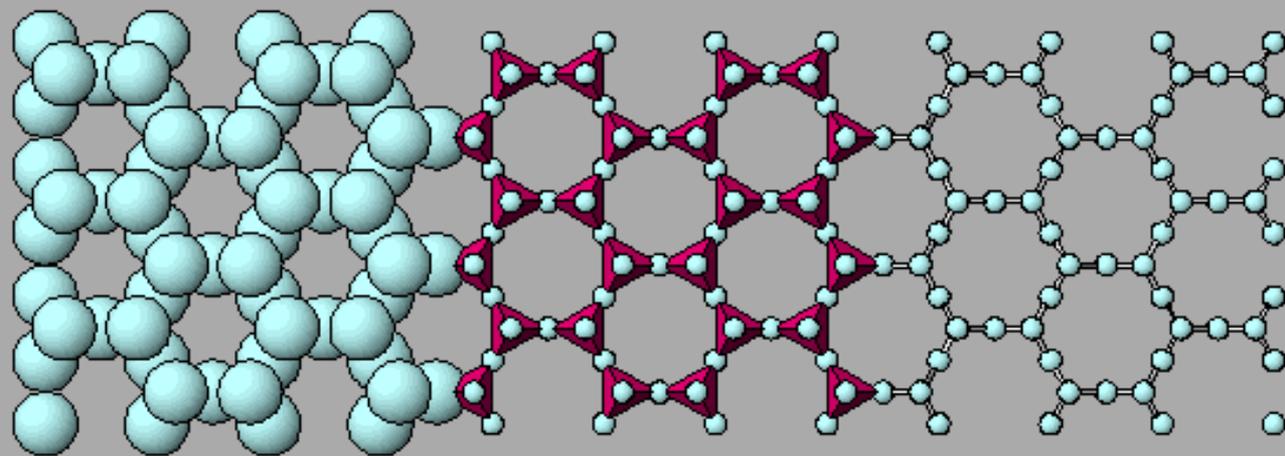
An Octahedron

Polimerização das unidades básicas

- Os tetraedros de Si se polimerizam compartilhando oxigênios;
- Nos filossilicatos, são compartilhados os oxigênios da base;
- Isto forma uma **LÂMINA TETRAEDRAL**



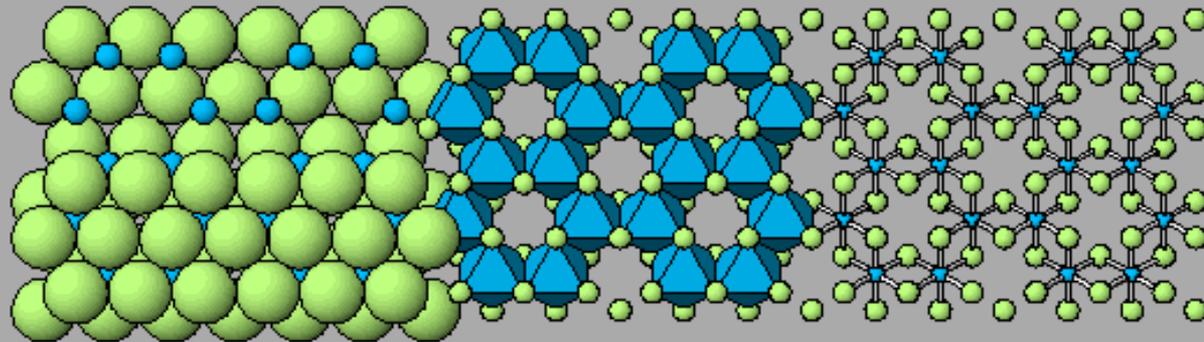
Tetrahedral Sheet



Polimerização das unidades básicas

- Os octaedros de alumínio também se polimerizam, formando as **LÂMINAS OCTAEDRAIS.**

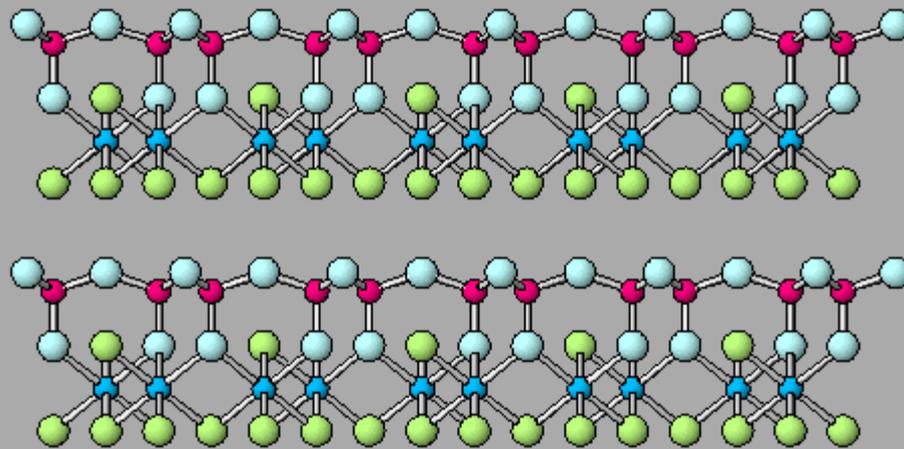
Laminas dioctaedrais



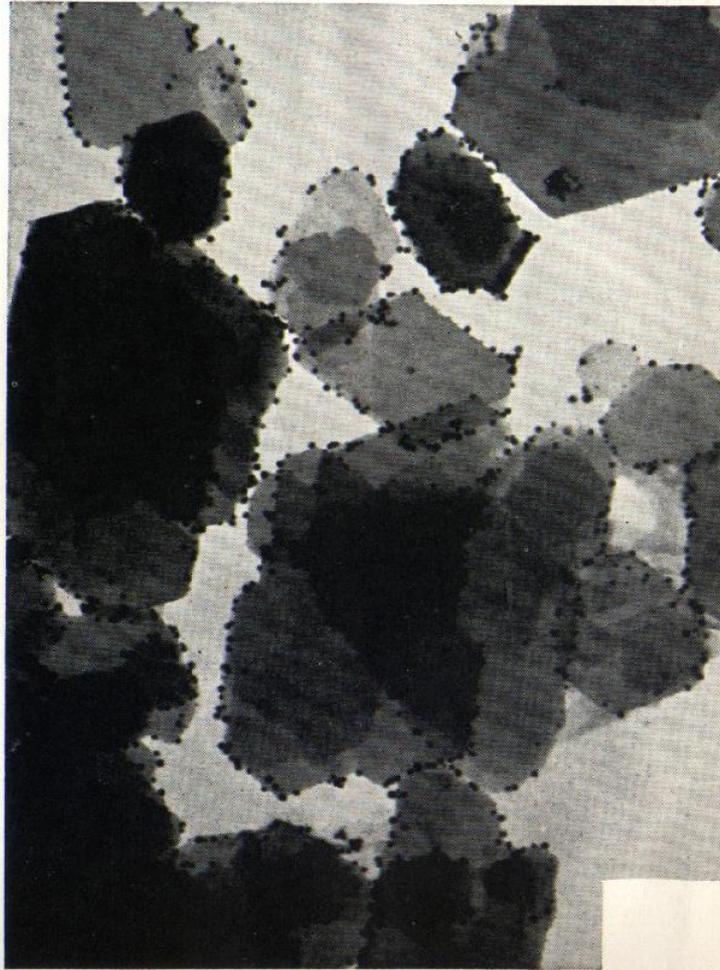
Os Filossilicatos 1:1

Filossilicatos 1:1

- As lâminas tetraedrais se ligam às lâminas octaedrais para formar os filossilicatos.
- Esta ligação também se dá pelo compartilhamento de oxigênios.
- Quando uma lâmina tetraedral se liga à uma lâmina octaedral, temos um
 - FILOSSILICATO 1:1.
- O principal filossilicato 1:1 no solo é a
 - CAULINITA



Kaolinite

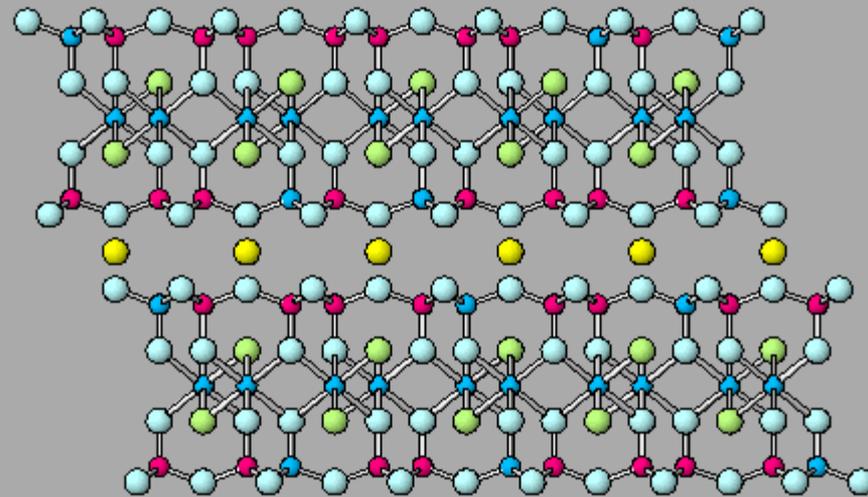


Kaolinite and gold sol.

Os Filossilicatos 2:1

Filossilicatos 2:1

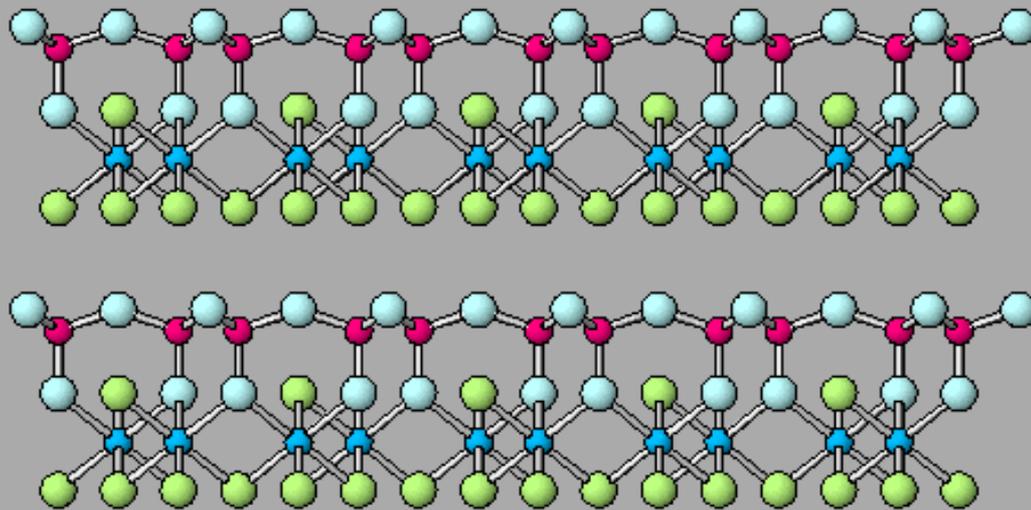
- Duas lâminas tetraedrais podem se ligar a uma lâmina octaedral;
- Esta ligação das lâminas também se dá por compartilhamento de oxigênios.
- Diferente dos filossilicatos 1:1, há vários grupos de filossilicatos 2:1 importantes no solo:
 - Ilitas;
 - Vermiculitas
 - Esmectitas
 - Minerais 2:1 HE



Mica

Minerais 1:1 não podem se expandir

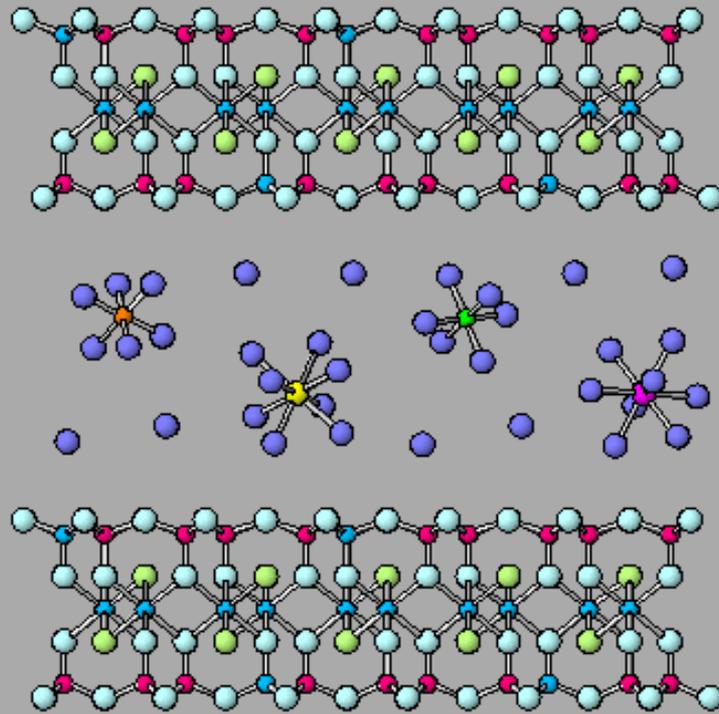
- Nos minerais 1:1, um plano de átomos de H fica “no meio” de dois planos de átomos de O, criando uma ligação mais forte que não permite que as camadas se afastem;



Kaolinite

Alguns Minerais 2:1 podem se expandir

- Nos minerais 2:1, dois planos de átomos de O ficam “em contato”, o que causa repulsão e o mineral PODE (nem sempre é o caso) se expandir;
- Quando o mineral se expande, criam-se 2 novas superfícies, o que aumenta muito a ASE dos minerais 2:1 expansíveis.



Smectite

ASE depende do tipo do argilomineral

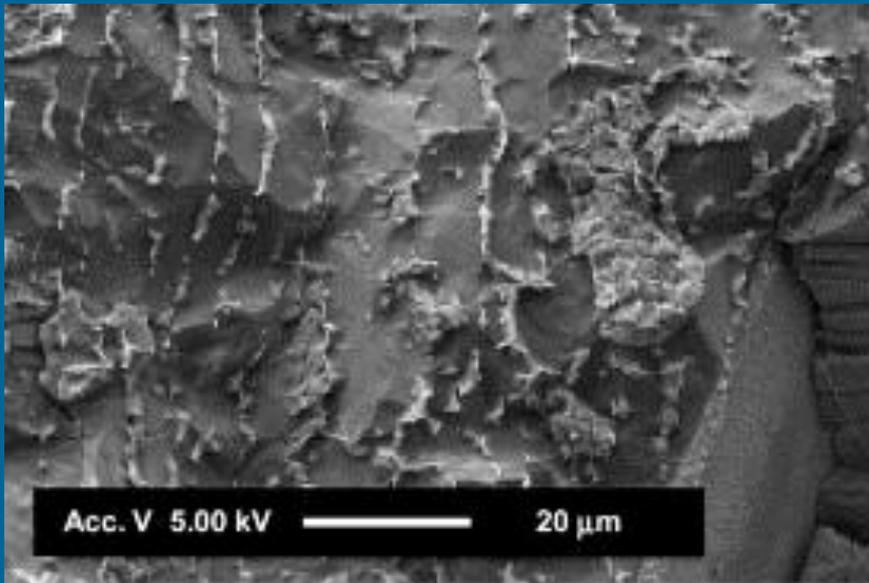
1:1

Caulinita 5 – 20 m²g⁻¹

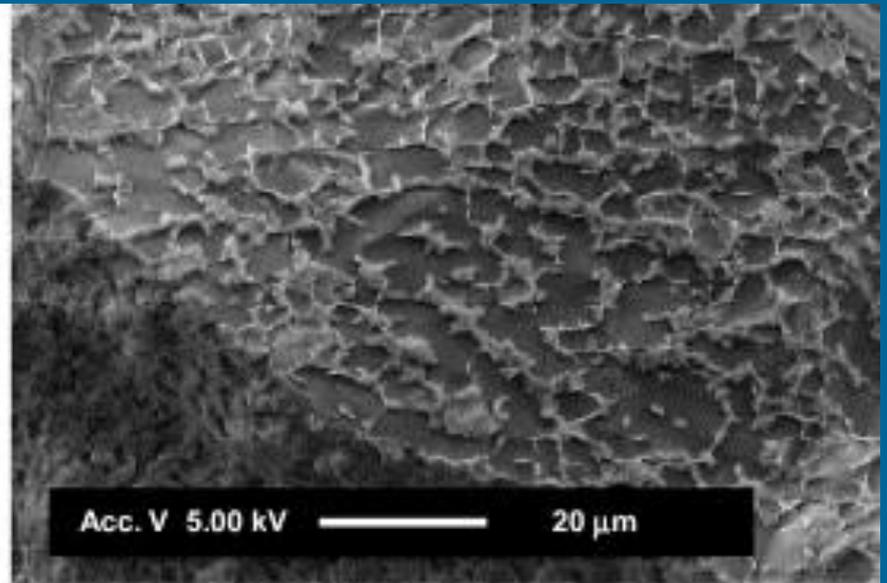
2:1

Vermiculita 300-500

Montmorilonita 700-800



A



B

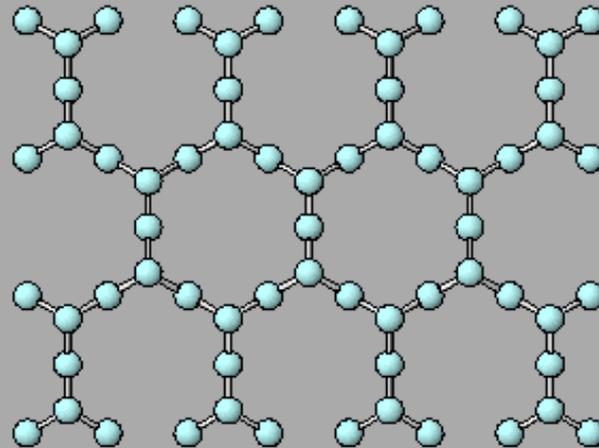
McFarlane et al, 2004

Porque alguns minerais 2:1 se expandem e outros não?

A superfície siloxana

- É a superfície formada pelos “anéis” hexagonais da polimerização do tetraedros de silício.

superficie siloxana



Tetrahedral Sheet

A superfície siloxana

- As cavidades formadas pelos anéis são chamadas de CAVIDADES SILOXANA.
- As cavidades siloxana podem ou não ter carga elétrica (depende da substituição isomórfica);
- As cavidades siloxana tem o tamanho aproximado dos íons de K e de NH_4 .

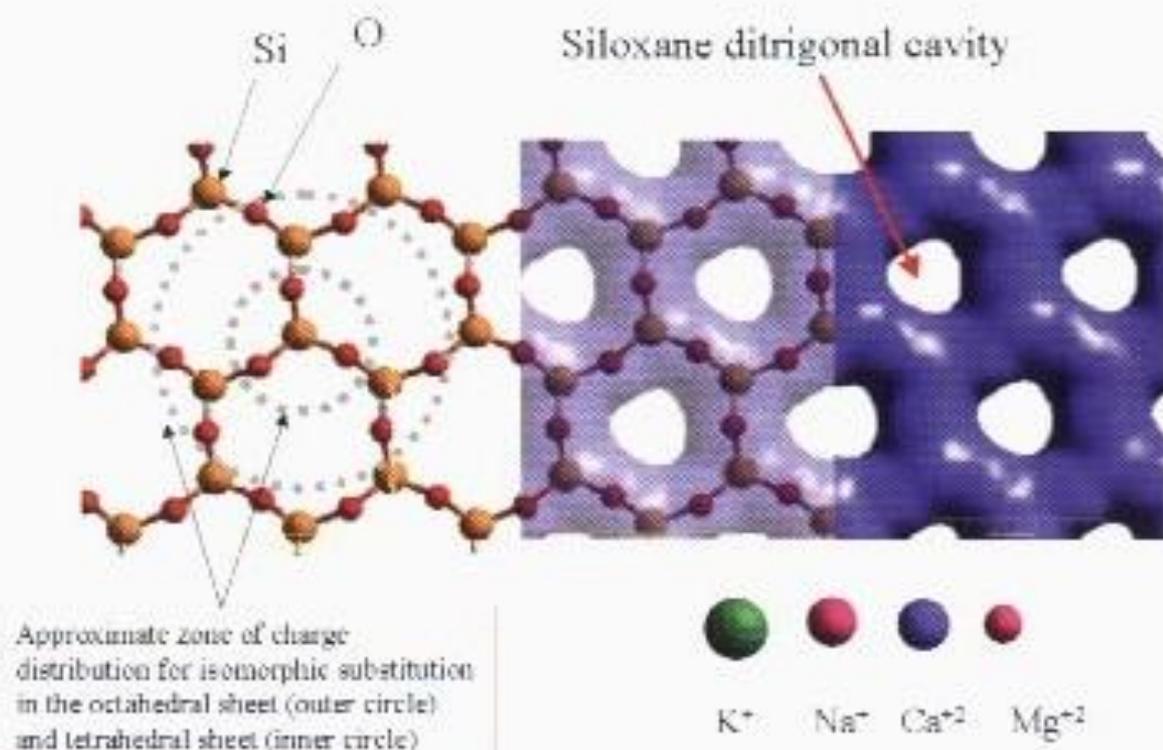


Plate 2 5. A 1.6 by 1.6 nm portion of the siloxane surface is shown on the left side in ball-and-stick representation. The total electron density of this structure is shown on the right side, illustrating the size of the ditrigonal cavity.

A cavidade siloxana

- Se a cavidade siloxana estiver carregada, íons de K^+ (principalmente) ficam “presos” entre as cavidades de duas camadas, e elas não podem se expandir.
- Neste caso, o mineral 2:1 não se expande.

Diferenças entre os 2:1

- Os minerais 2:1 se dividem em função de:
 - Capacidade de expandir;
 - Quantidade de cargas elétricas (CTC)

Diferenças entre os 2:1

- Estas duas características estão relacionadas:
- Quando a carga é muito alta, ocorre fixação de K e o mineral não expande, ou expande pouco...

Expansão

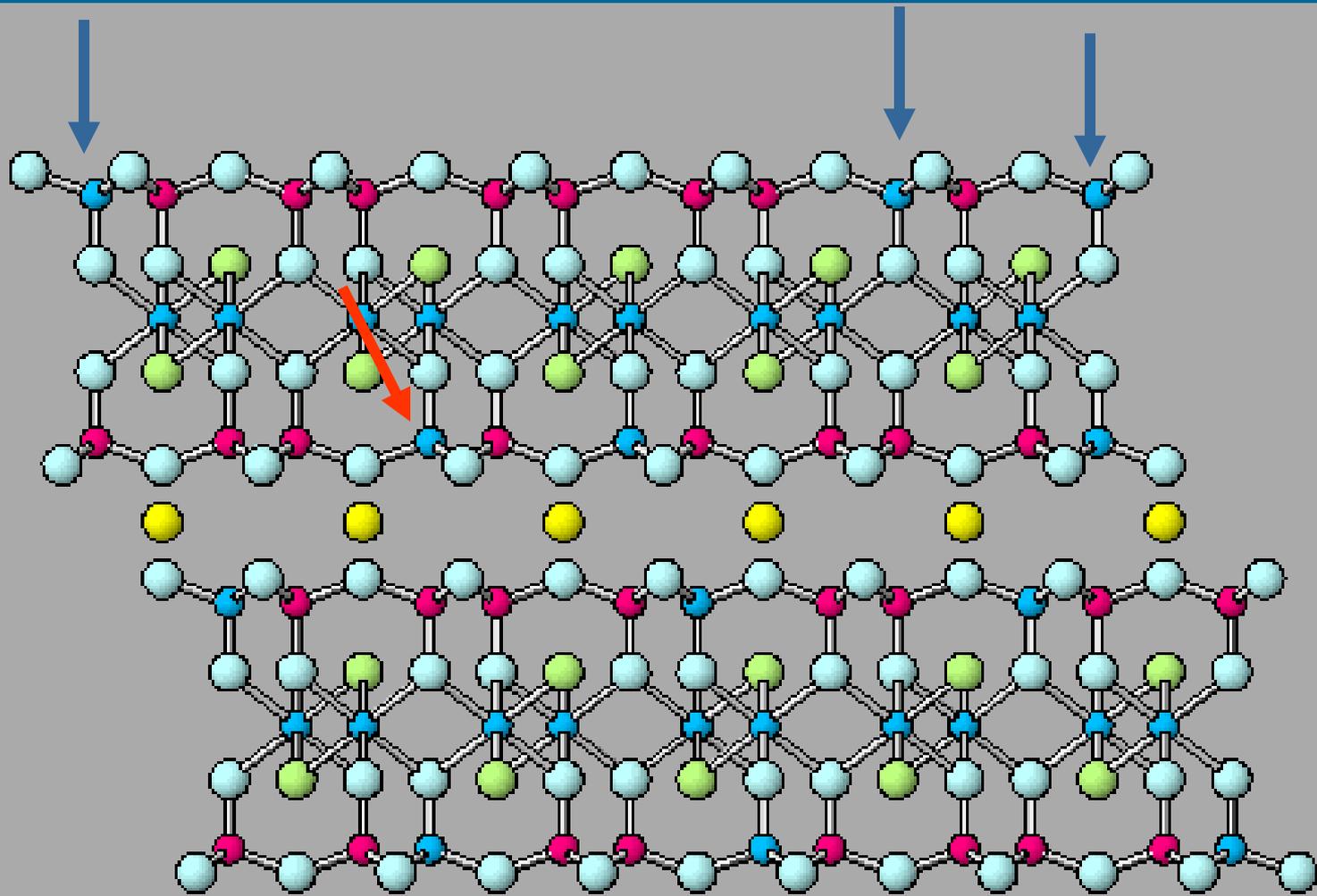


Carga

Principais filossilicatos 2:1 pedogênicos

Ilitas

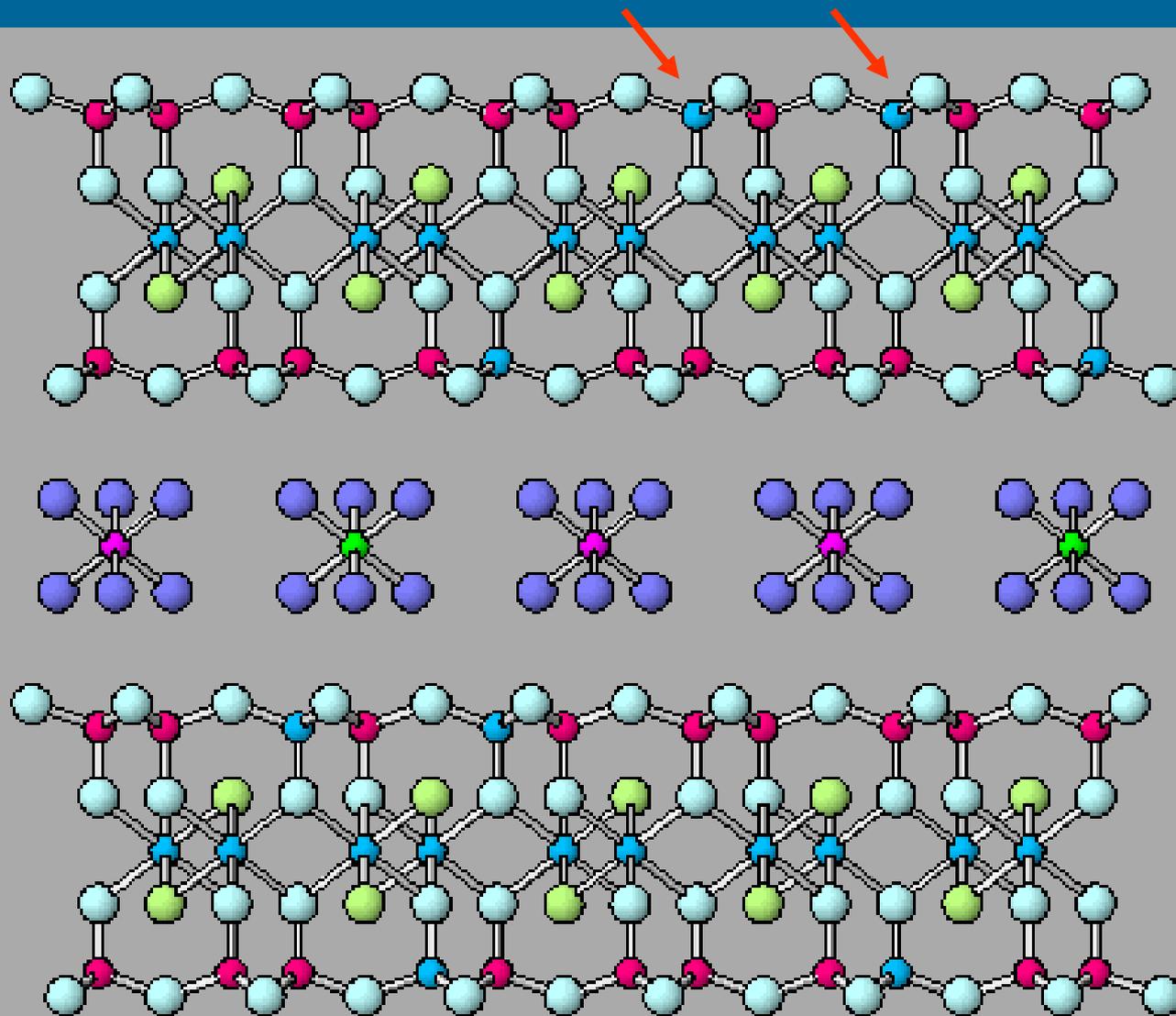
- São muito parecidas com as micas, porém possuem moléculas de água (são hidratadas) e ocorrem na fração argila;
- Possuem carga muito alta;
- Fixam K
- Não se expandem



Ilita

Vermiculitas

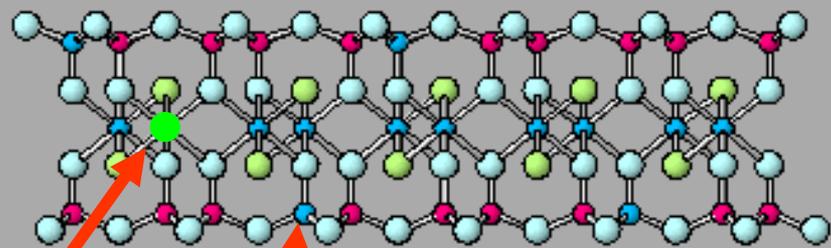
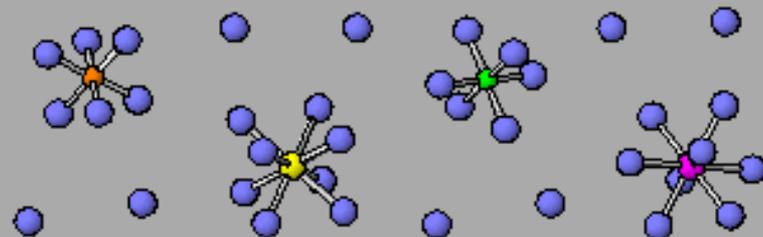
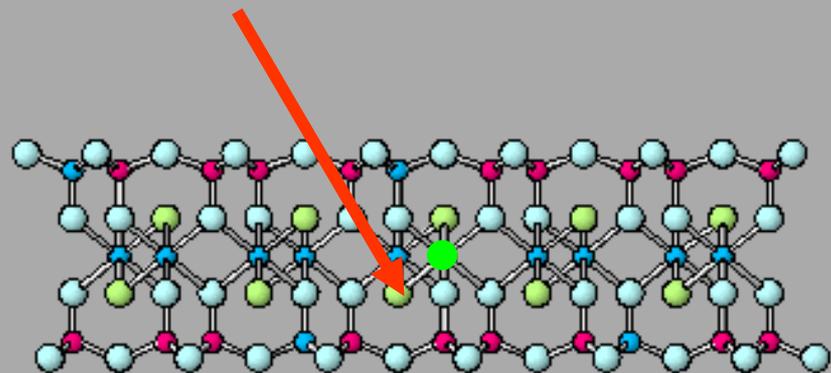
- Possuem carga menor que as ilitas;
- Podem fixar um pouco de K;
- Expandem, porem não tanto quanto as esmectitas;



Vermiculite

Esmectitas

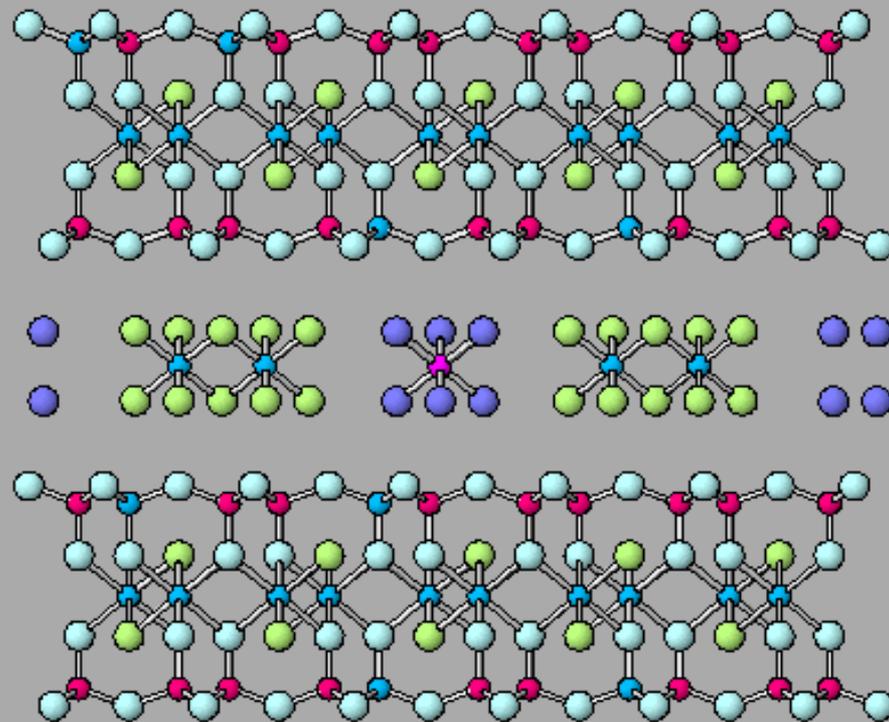
- Possuem menos carga;
- São as mais expansíveis;
- Por isto possuem maior ASE;



Smectite

2:1 HE

- São minerais 2:1 nos quais polímeros de AlOH (e às vezes FeOH) se depositaram nas entrecamadas;
- Esta deposição bloqueia a expansão e a CTC dos minerais 2:1 Originais;
- São minerais típicos do solo;
- Ocorrem geralmente em pequenas quantidades;

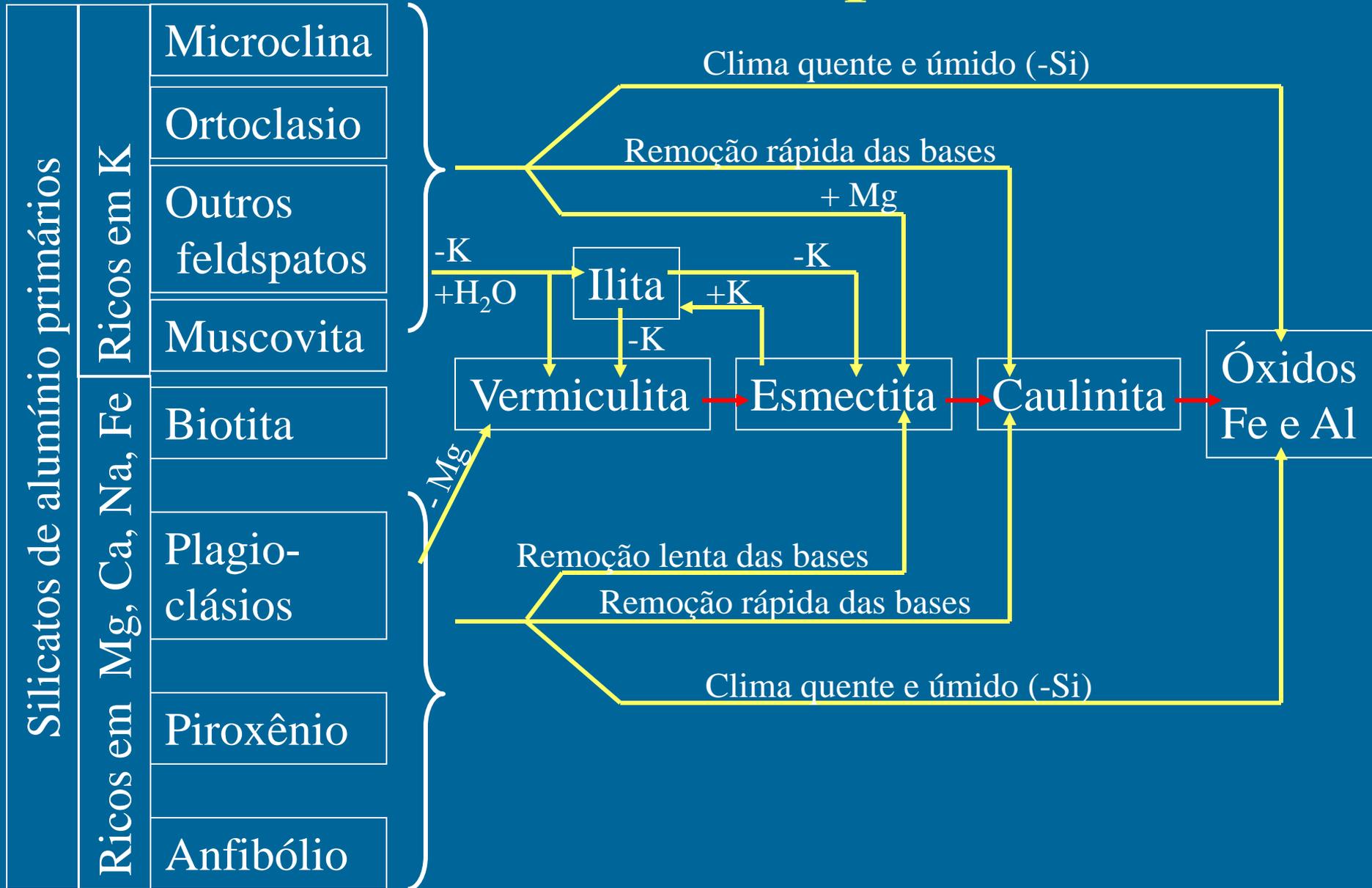


Hydroxy-interlayered Vermiculite or Smectite (HIV or HIS)

Resumo filossilicatos

Componente	Tipo de mineral	CTC (cmol₊ kg⁻¹)	ASE (m² g⁻¹)	Expansividade	Dependência da CTC com o pH	Atividade coloidal
Ilita	2:1	20-40	70-120	Não	Média	Alta
Vermiculita	2:1	120-100	600-800	pequena	Baixa	Alta
Montmorilonita	2:1	80-120	600-800	Sim	Baixa	Extrem. alta
2:1 HE	2:1:1	20-40	70-150	Não	Elevada	Média
Caulinita	1:1	1-10	10-20	Não	Elevada	Baixa

Minerais e intemperismo



2. Óxidos !!!

Geralmente são mais abundantes à medida em que o solo fica mais intemperizado;

Além de CTC, podem desenvolver cargas positivas (CTA), que quando predominantes, dão caráter “ácrico” ao solo

Óxidos – Modelo Simples



São formados por lâminas octaédrais de Fe e de Al



Óxidos de aluminio

Modelo Simplex Gibbsita

O-Al-O-Al-O

O-Al-O-Al-O

O-Al-O-Al-O

O-Al-O-Al-O

Alumínio

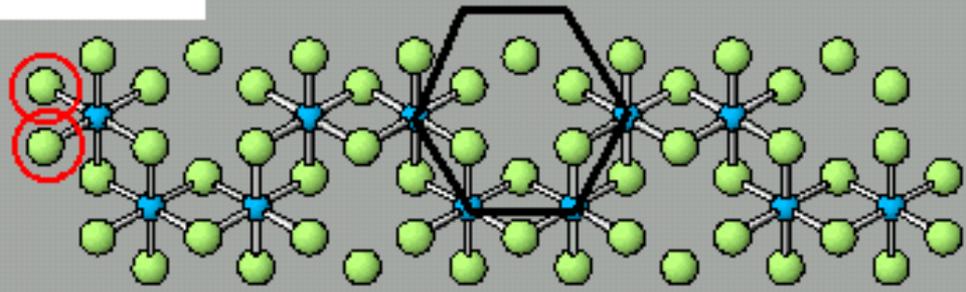
- Al é o terceiro elemento mais abundantes na crosta terrestre (7% em massa);
- Durante o intemperismo, Al é liberado dos minerais primários e se precipita como mineral secundário, principalmente silicatos de alumínio;
- Com o avanço do intemperismo, Si pode ser perdido e o Al se precipita como óxido.

Estrutura $\text{Al}(\text{OH})_3$

- Lâminas dioctaedrais de Al^{+3}
- Al distribuído em anéis hexagonais;
- No interior da estrutura, cada OH^- compartilhado por 2 Al;
- Nas bordas, 2 OH^- ligados apenas a 1 Al

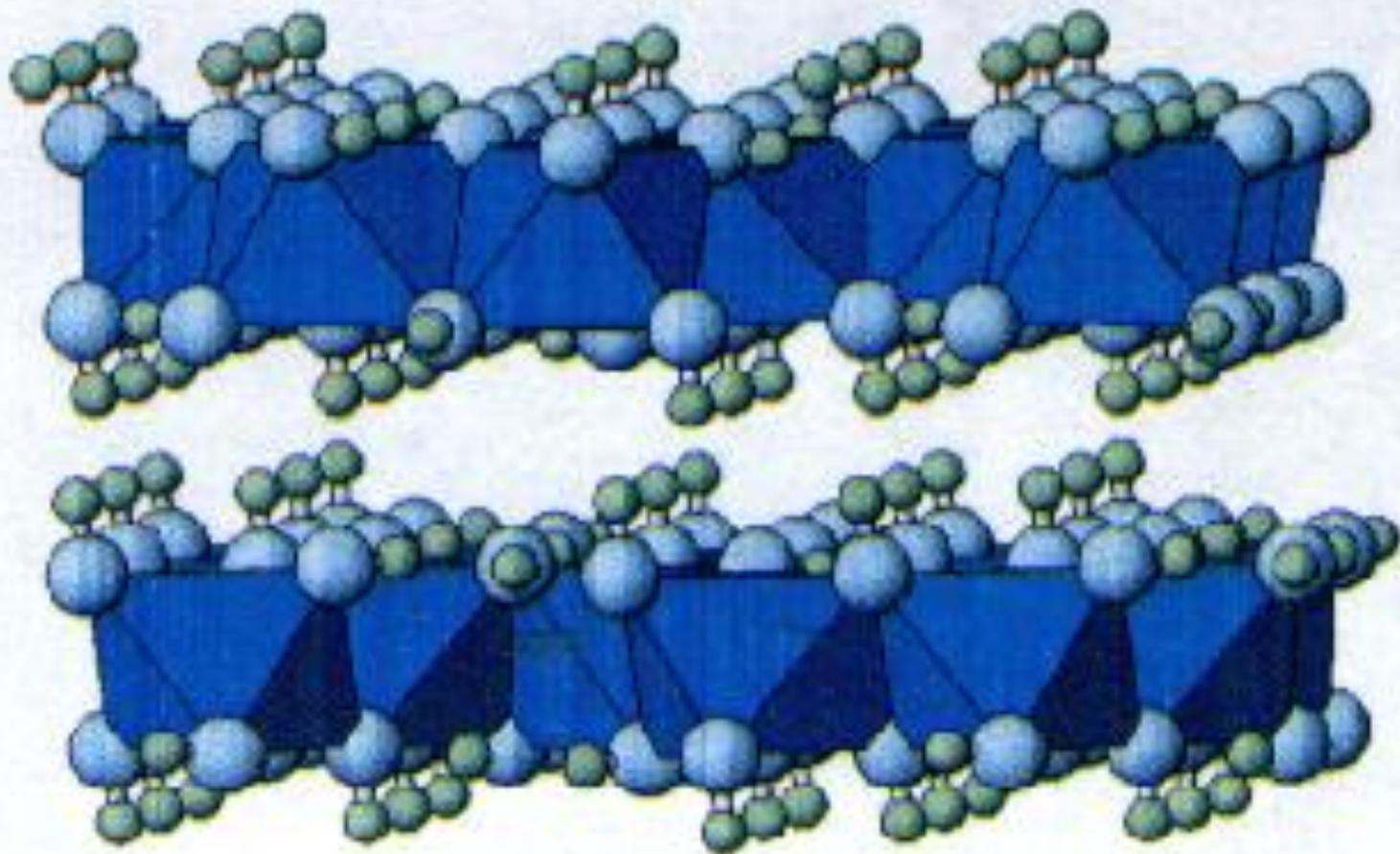
OH's nas areastas ligados a um único Al

Al's formam hexágonos

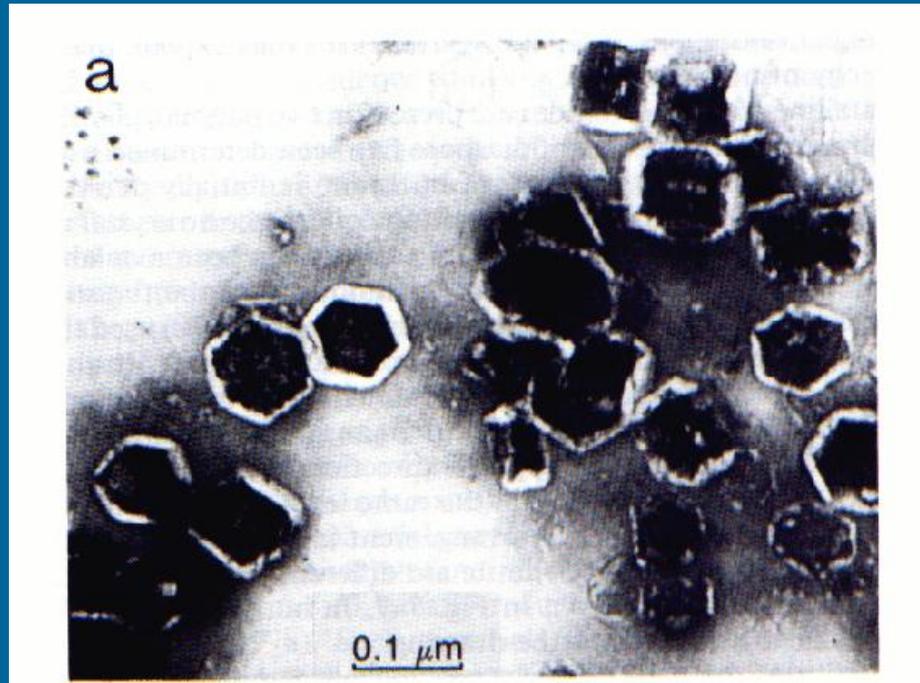


Gibbsite

Gibbsite



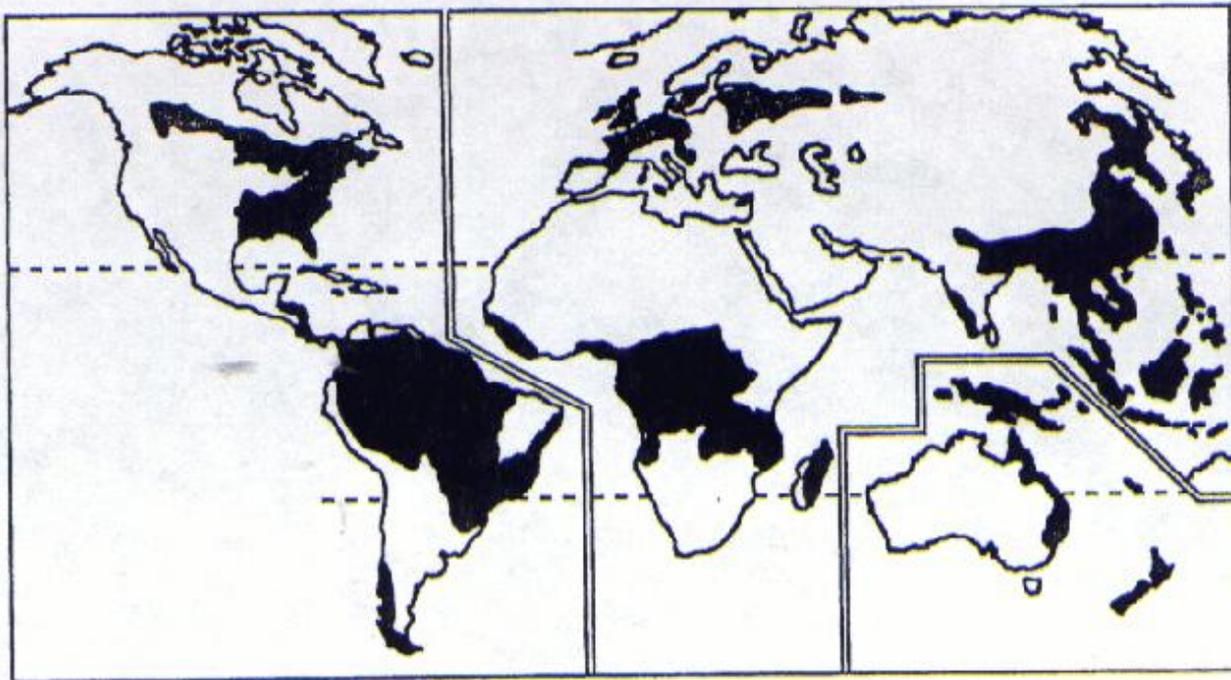
Gibbsita



Gibbsita em Solos

- Gb é comum em Latossolos e alguns Argissolos, mas quase sempre em quantidades menores que os óxidos de Fe. Ocorrem exceções em alguns Latossolos do Cerrado Brasileiro.

Gibbsita em Solos



Óxidos de ferro

Modelo Simples

Hematita, Goethita

O-Fe-O-Fe-O

O-Fe-O-Fe-O

O-Fe-O-Fe-O

O-Fe-O-Fe-O

Óxidos de ferro

- Variações no arranjo dos octaedros:
 - Octaedros vazios
 - Número de OH's
 - Estado de oxidação do Fe (Fe^{+2} e Fe^{+3})
- produzem os diferentes tipos de óxidos de ferro

Importância

- Maioria dos óxidos pedogênicos:
 - Refletem condições no momento da formação e alterações posteriores;
 - Fácil observação no campo (cor);
 - AMPLAMENTE UTILIZADOS COMO INDICADORES PEDOGÊNICOS.

Importância

- Óxido metálico mais abundante no solo;
- Ocorrem dispersos no solo, concentrados em um horizonte ou em nódulos, ferricretes, mosqueados, plintita, petroplintita...

Importância

- Papel importante na morfologia do solo:
 - Cor;
 - Estrutura;
 - Feições como mosqueados, plintita, etc.



Plate 10-2. Iron oxide colors.

COR

Importância

- Maioria muito ativa quimicamente:
 - Adsorção de ânions inorgânicos:
 - Fosfato, silicato....
 - Adsorção de ânions orgânicos:
 - AH, AF, ...
 - Adsorção de cátions:
 - Nutrientes,
 - Metais pesados...

ESTRUTURA

Estrutura

- As unidades básicas são octaedros de Fe;
- Diferenças entre as espécies minerais são principalmente o arranjo dos octaedros;

Introdução

- Possuem alta capacidade de adsorção de íons (ânions e cátions) inorgânicos e orgânicos

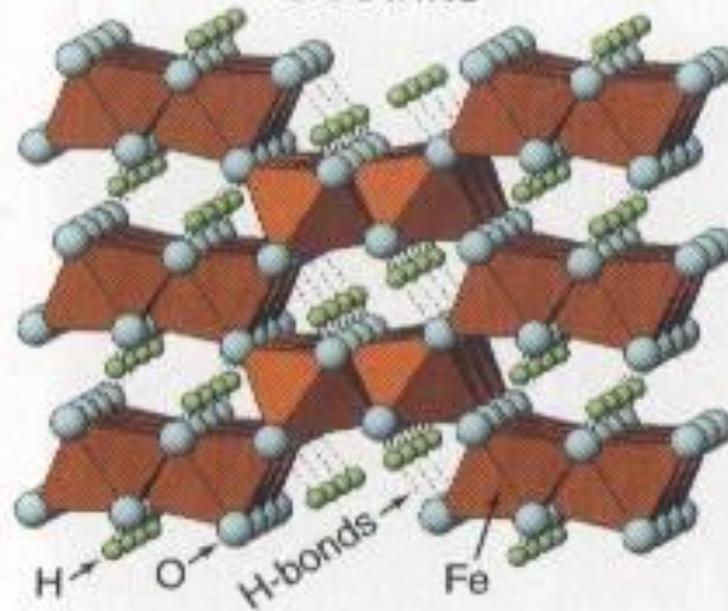
Goethita - Gt

- α - FeOOH;
- Ocorre em quase todos os solos;
- Coloração marrom-amarelada;

Goethite

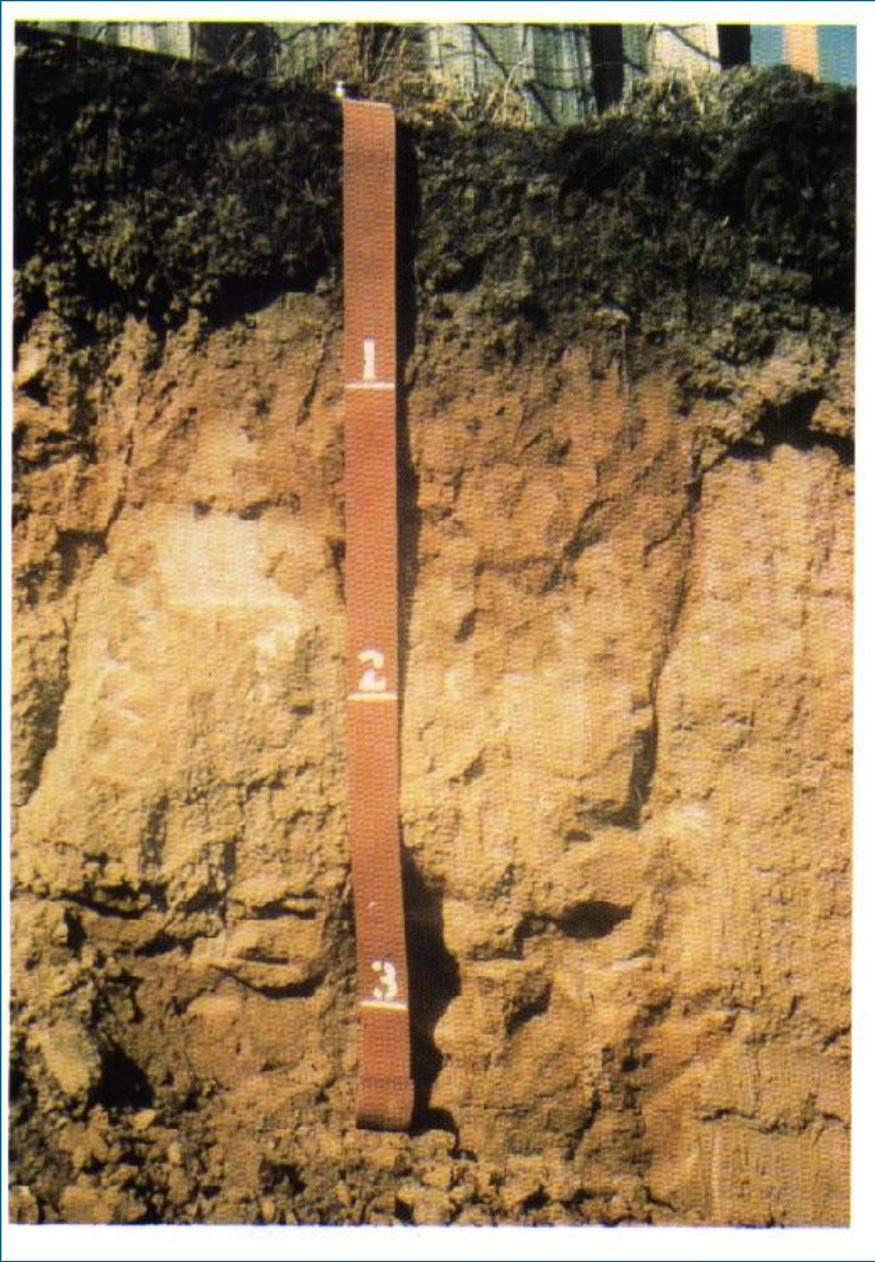
IRON OXIDES

Goethite

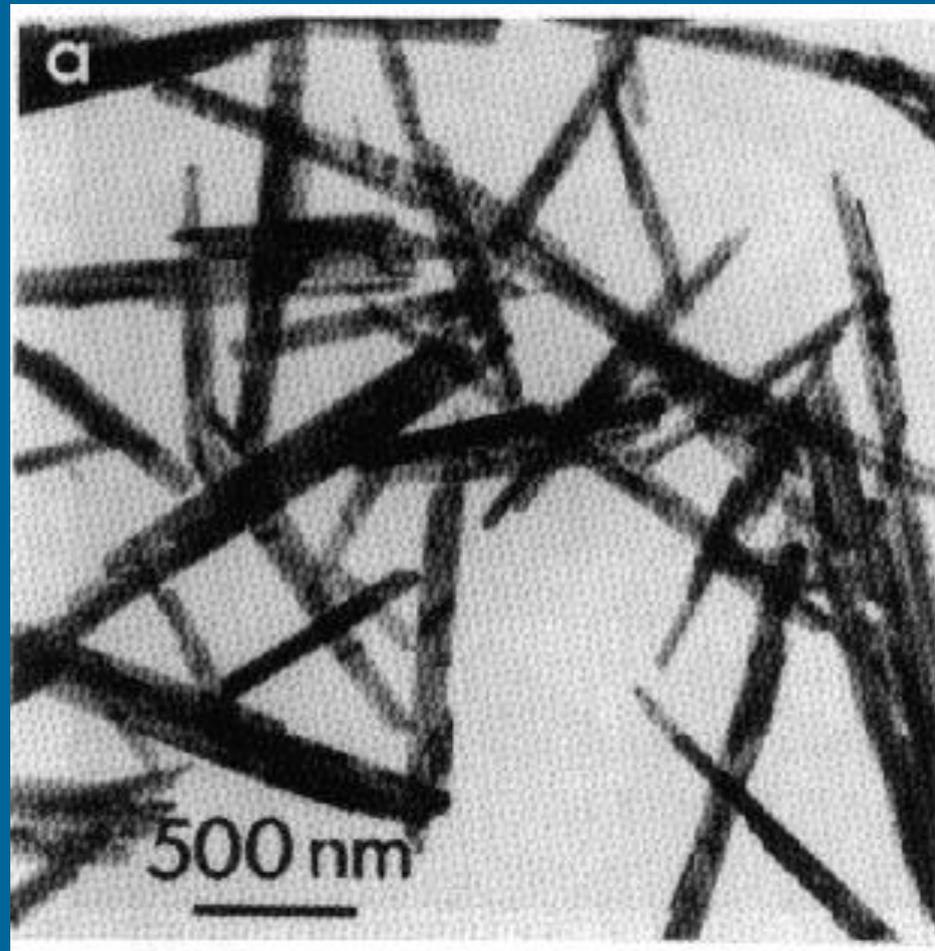


Goethita

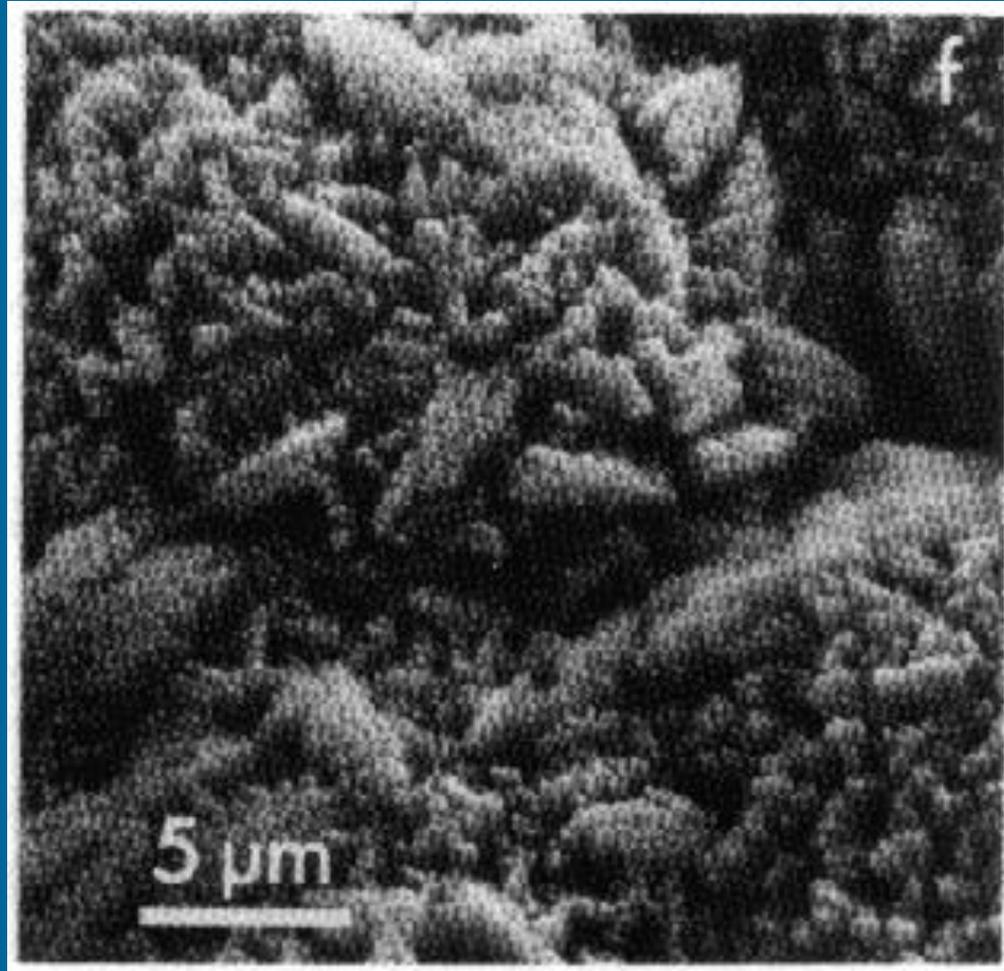
- ASE
– 6 a 20 x 10⁴ m² kg⁻¹.



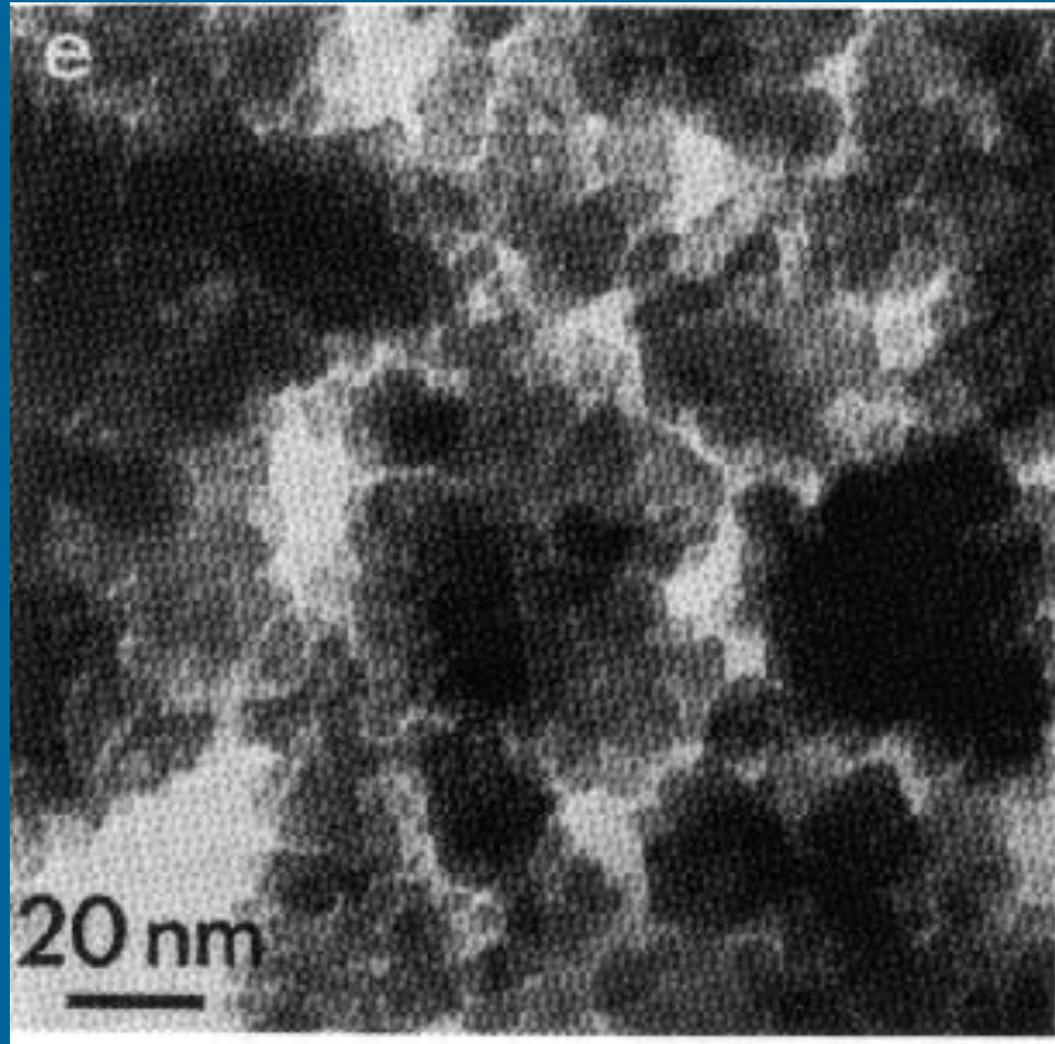
Goethita



Goethita

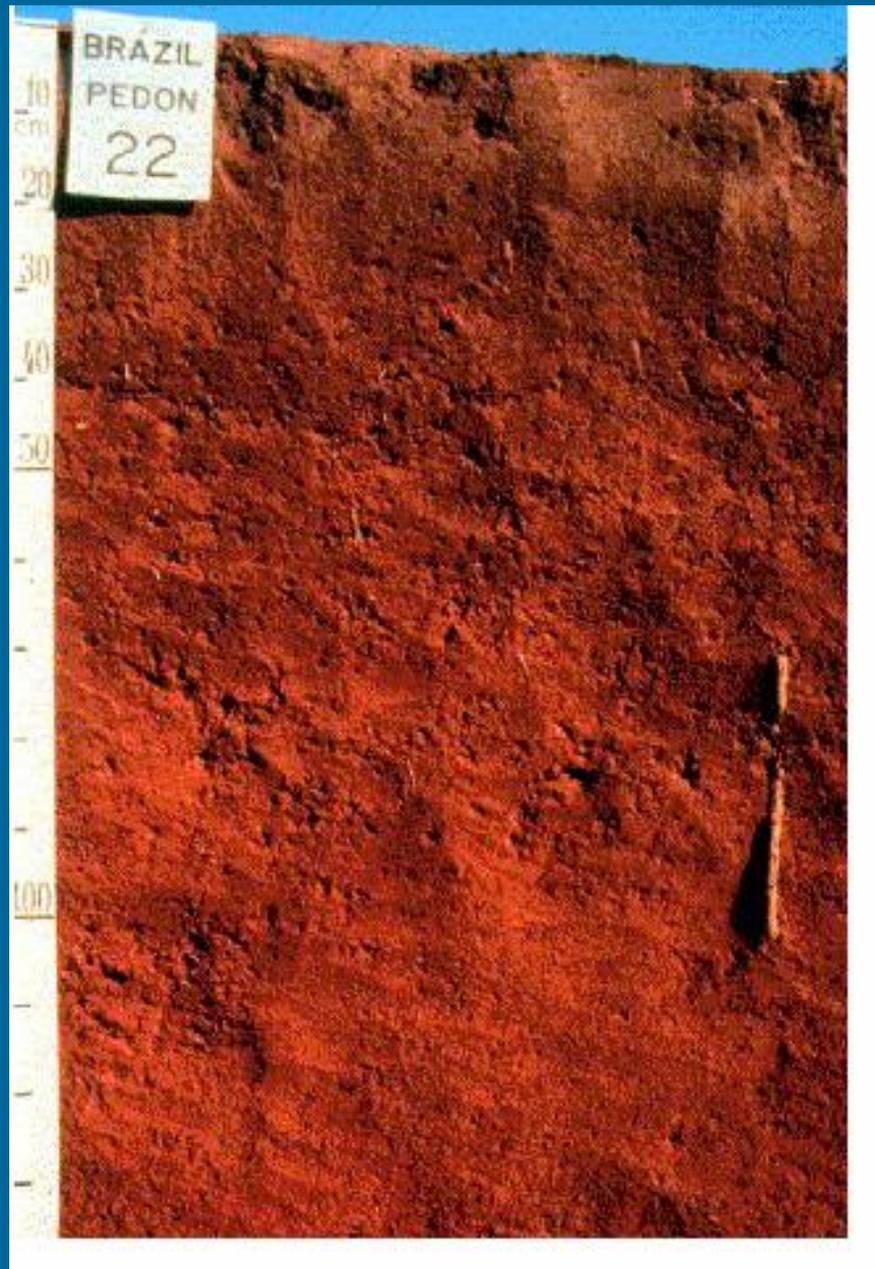


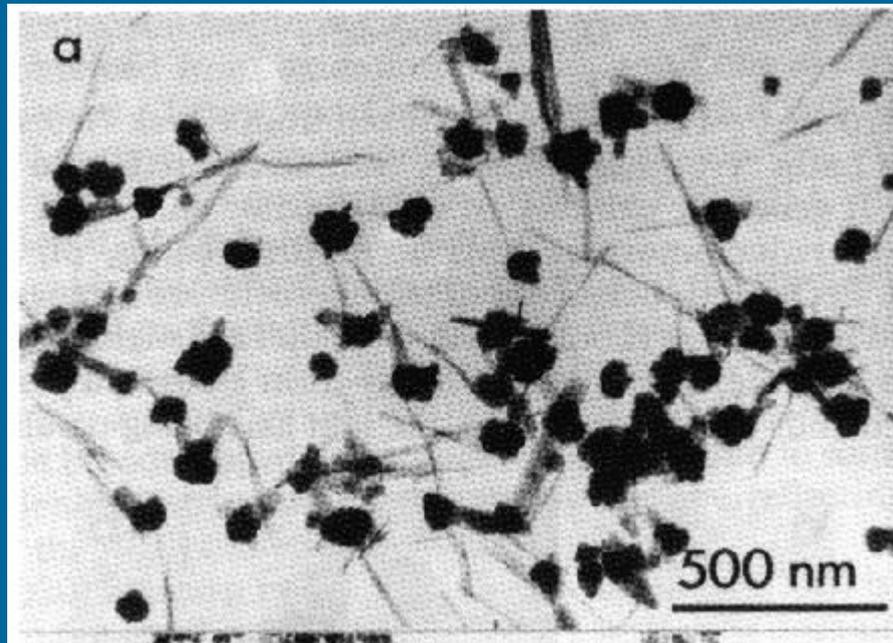
Goethita



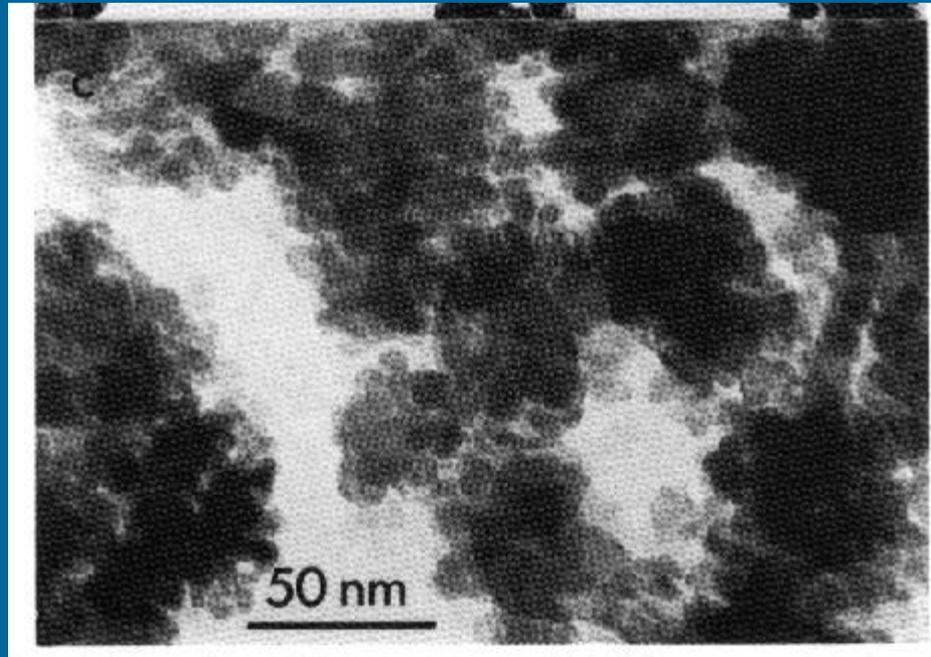
Hematita - Hm

- Alto poder pigmentante, pode mascarar outros pigmentantes de solo;





Hm sintética obtida a partir de Fh



Hematita de solo, Planalto do RS

Hematita

- ASE:
 - $5-12 \times 10^4 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$;

Leitura recomendada

- Kampf, N. and Curi, N. Argilominerais em Solos Brasileiros. Curi, N.; Marques, J. J. G. de S. e M.; Guilherme, L. R. G.; Lima, J. M. de; Lopes, A. S., and Alvarez V., V. H., Ed. Tópicos em Ciência do Solo III. Viçosa Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2000; pp. 1-54.

Leitura recomendada

- Kämpf, N.; Curi, N.; Marques, J. J. Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo. Capítulo V, p.333-380. IN: Alleoni, L. R. F.; Melo, V. de F. QUÍMICA E MINERALOGIA DO SOLO – Parte 1 – Conceitos Básicos. 695p. 2009.

Leituras opcionais

- **Minerais e intemperismo:**
 - Churchman, G. J. The alteration and formation of soil minerals by weathering. Sumner, M. E., Ed. Handbook of Soil Science. 1st ed. Boca Raton CRC Press; 2000; p. F3-F76.
- **Termos técnicos:**
 - Fontes, Luiz Eduardo F. and Fontes, Maurício Paulo F. Glossário de Ciência do Solo. Viçosa-MG Departamento de Solos, UFV; 1992. 142 p.

- **Pedologia:**

- Oliveira, João Bertoldo de. Pedologia aplicada. Jaboticabal - SP FUNEP-UNESP; 2001. 414 p.
- Resende, M.; Curi, N.; Rezende, S. B. de, and Corrêa, G. F. Pedologia base para distinção de ambientes. 1st ed. Viçosa, MG, Brazil NEPUT- Viçosa; 1995. 304p.