


Implicações gerais  no domínio geotécnico

O que são e para que servem as  
**Argilas ?**

# O QUE É A ARGILA?

## Argila como classe granulométrica

- Partículas de dimensão inferior a 0.002 – 0.004 mm

## Argila como mineral

- Grupo de minerais conhecidos como

## MINERAIS ARGILOSOS

## Argila como rocha

- Designa rochas compostas essencialmente por minerais argilosos

## Argila como matéria prima

- Produto natural que desenvolve, quase sempre, plasticidade em meio húmido, endurecendo depois de seco e mais ainda depois de cozido (...mil e uma aplicações)

# O QUE SÃO MINERAIS ARGILOSOS ?

- **Os minerais argilosos são filossilicatos**

Quais as outras categorias de silicatos?

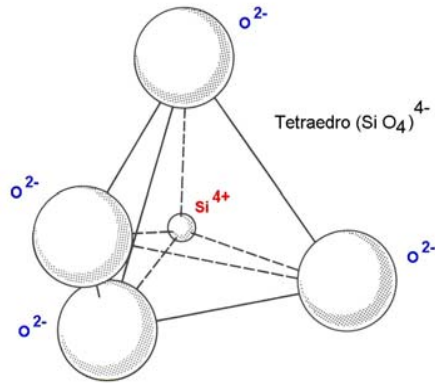
- **No geral são aluminossilicatos hidratados**

Aluminossilicato / Silicato de alumínio

Qual a diferença?

# SILICATOS

## Tetraedro isolado



Polímeros com  
número  
crescente de  
tetraedros



Arranjo  
tridimensional  
de tetraedros

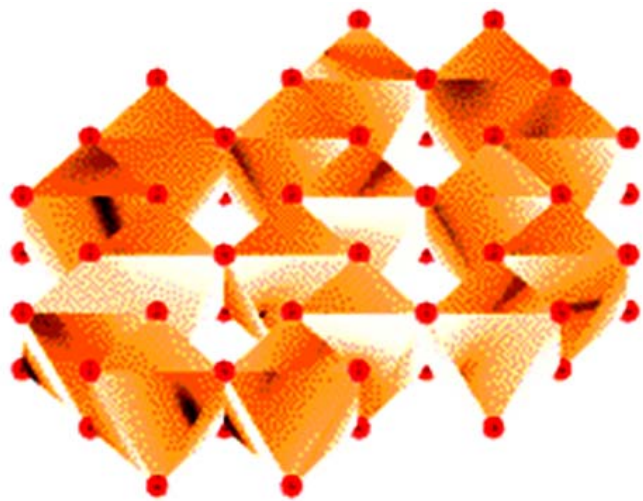
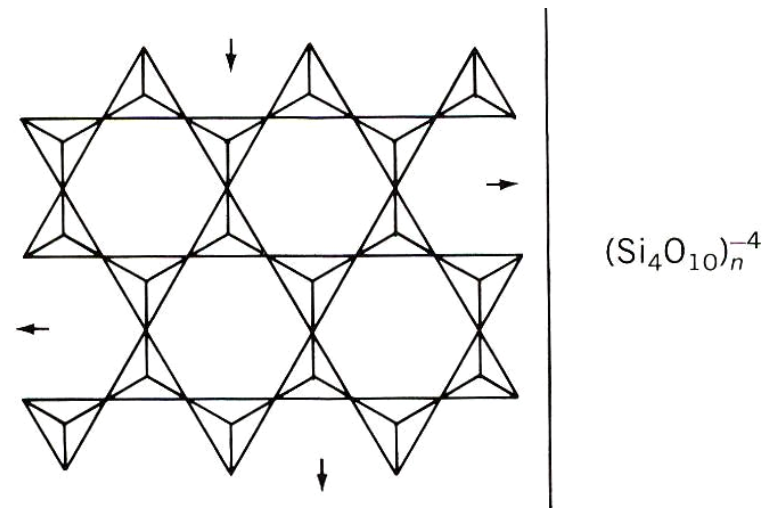
	Arranjo dos tetraedros de sílica	Fórmula dos complexos aniônicos	Mineral típico	
			Nome	Composição
Tetraedros isolados		(SiO <sub>4</sub> ) <sup>-4</sup>	<b>Olivinas</b>	(Mg, Fe) <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>
Grupos polimerizados isolados		(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ) <sup>-6</sup>	Lawsonite	CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (OH) <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O
		(Si <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ) <sup>-6</sup>	Volastonite	Ca <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>9</sub>
		(Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub> ) <sup>-12</sup>	Berilo	Be <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub>
Cadeias contínuas		(SiO <sub>3</sub> ) <sub>n</sub> <sup>-2</sup>	<b>Piroxenas</b>	(Fe, Mg)SiO <sub>3</sub>
		(Si <sub>4</sub> O <sub>11</sub> ) <sub>n</sub> <sup>-6</sup>	<b>Anfíbolos</b>	Ca <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> (Si <sub>4</sub> O <sub>11</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>
Camadas ou Folhas contínuas		(Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ) <sub>n</sub> <sup>-4</sup>	<b>Minerais Argilosos</b> <b>Biotite</b> <b>Moscovite</b>	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
Rede tridimensional	Demasiado complexo para ser representado a duas dimensões	(SiO <sub>2</sub> )	<b>Quartzo</b>	SiO <sub>2</sub>

# ESTRUTURA DOS FILOSSILICATOS

(Combinações de 2 Unidades Fundamentais)

MINERAIS ARGILOSOS

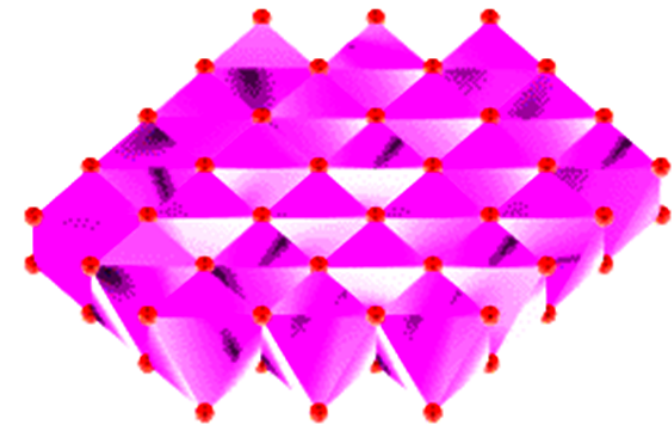
CAMADA ou FOLHA  
TETRAÉDRICA



CAMADA ou FOLHA DIOCTAÉDRICA  
Tipo **Gibbsite**  $2\text{Al}^{3+}$

+

ou



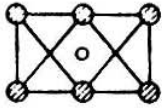
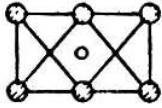
CAMADA ou FOLHA TRIOCTAÉDRICA  
Tipo **Brucite**  $3\text{Mg}^{2+}$

# Estruturas de alguns filossilicatos

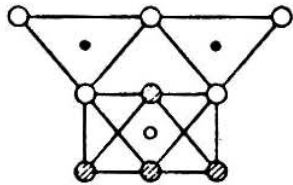
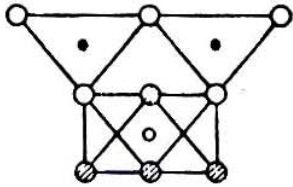


## Trioctahedral

Brucite



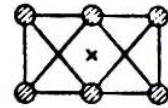
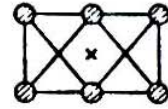
Lizardite



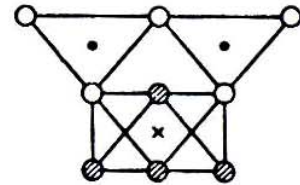
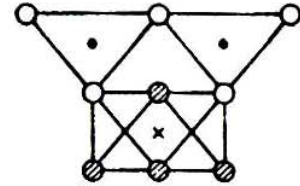
*o* = octahedral  
*t* = tetrahedral

## Diocahedral

Gibbsite



Kaolinite



○ = Oxygen  
⊗ = Hydroxyl  
• = Silicon  
x = Aluminum  
○ = Magnesium

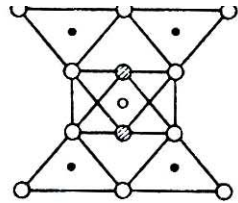
*o*

*o*

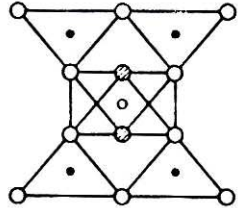
*t*  
|  
*o*

*t*  
|  
*o*

### Trioctahedral



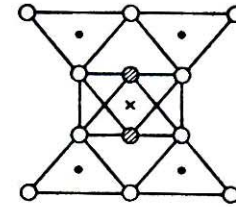
Talc



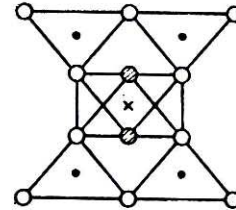
t  
|  
o  
|  
t

t  
|  
o  
|  
t

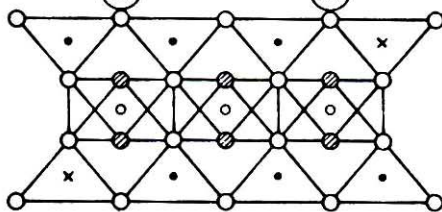
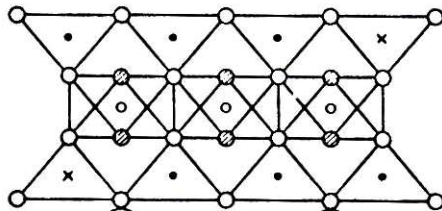
### Dioctahedral



Pyrophyllite



Phlogopite

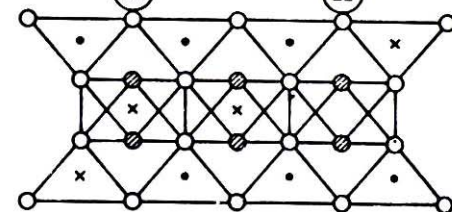
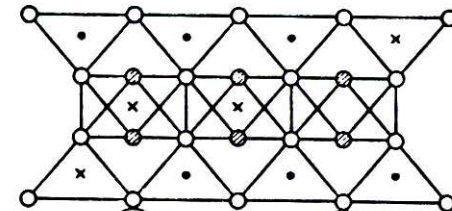


t  
|  
o  
|  
t

Interlayer cation

t  
|  
o  
|  
t

Muscovite



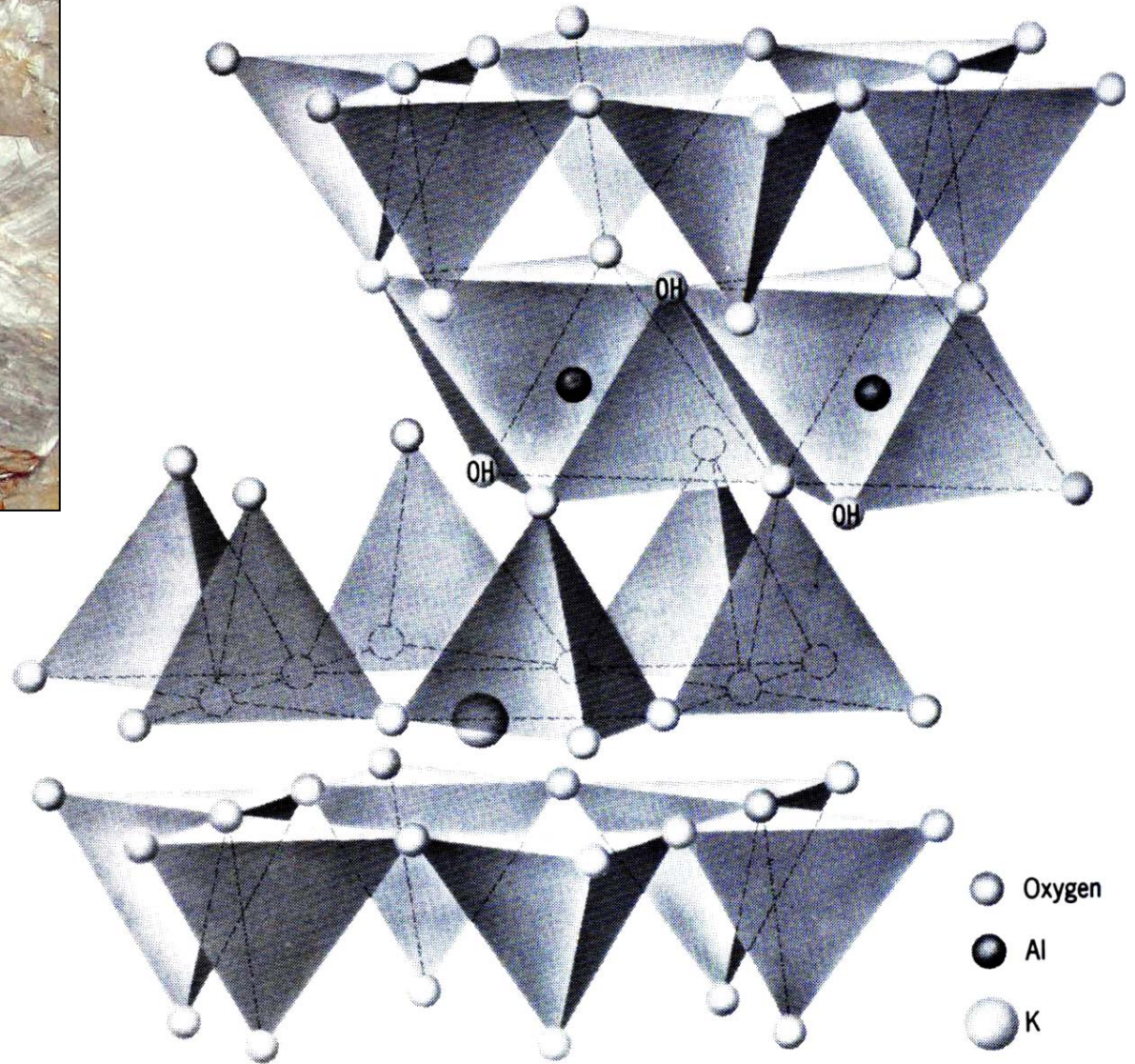
o = octahedral  
t = tetrahedral

- = Oxygen
- ◉ = Hydroxyl
- = Silicon
- × = Aluminum
- ◊ = Magnesium






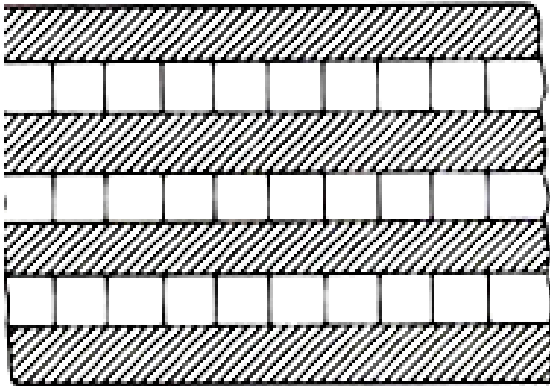
# MOSCOVITE



# **Minerais argilosos** Grupos Principais

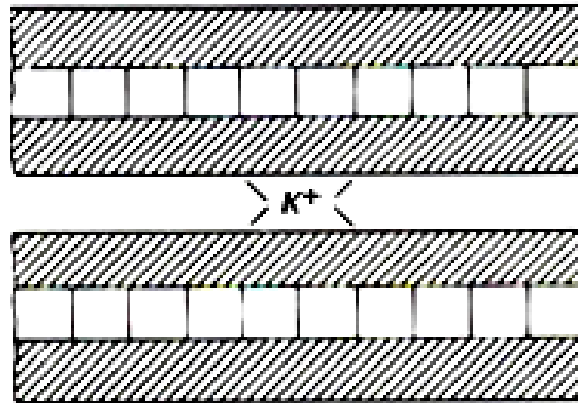
- 1. Caulinite ou das candites**
  - 2. Ilite**
  - 3. Montmorilonite ou das esmectites**
  - 4. Clorite**
  - 5. Vermiculite**
  - 6. Interestratificados**
  - 7. Paligorsquite e sepiolite ou das hormites**
- 

*Caulinite*



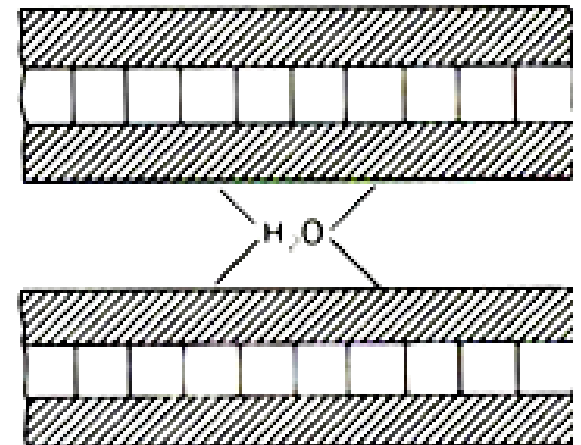
# Diferentes combinações de T e O

*Illite*

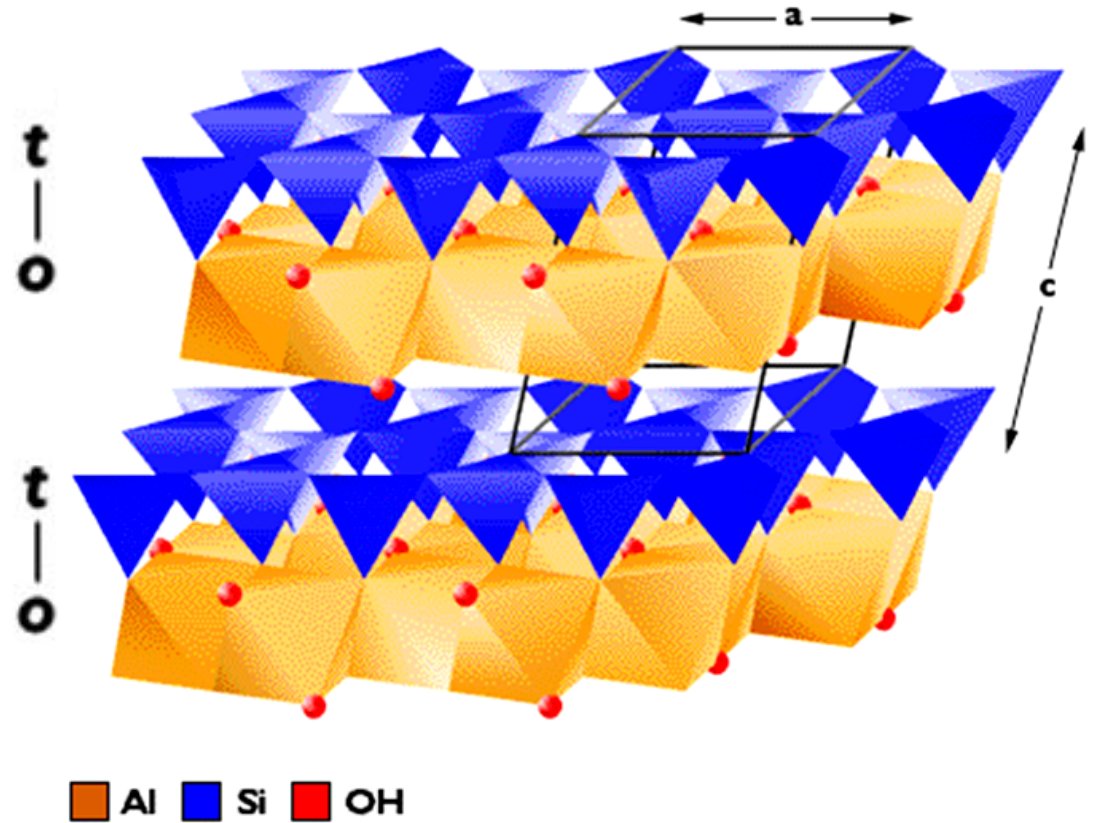
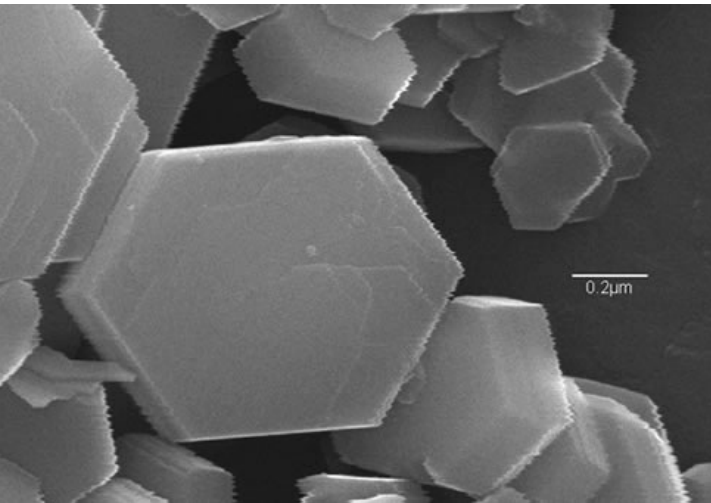
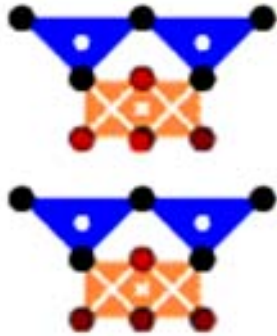


Diferentes catiões intercamadas

*Montmorilonite*



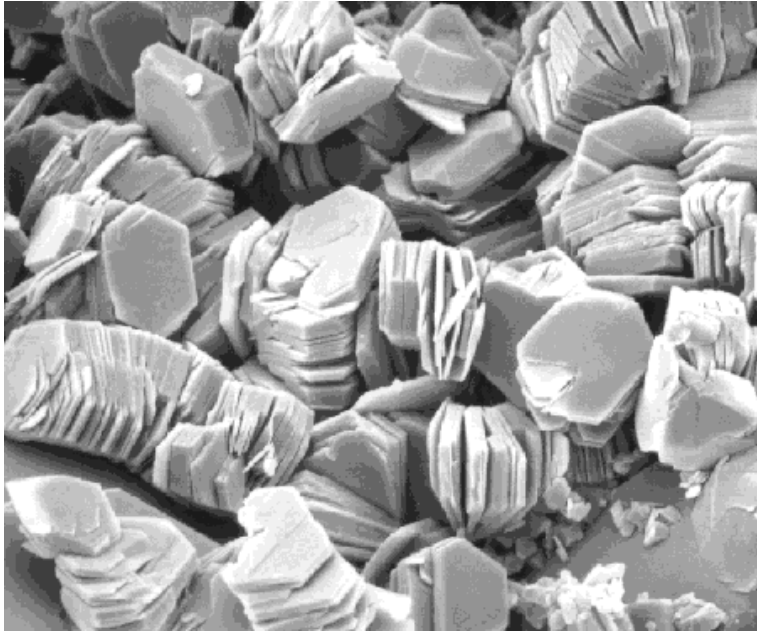
# Grupo das Candites (EX. CAULINITE)



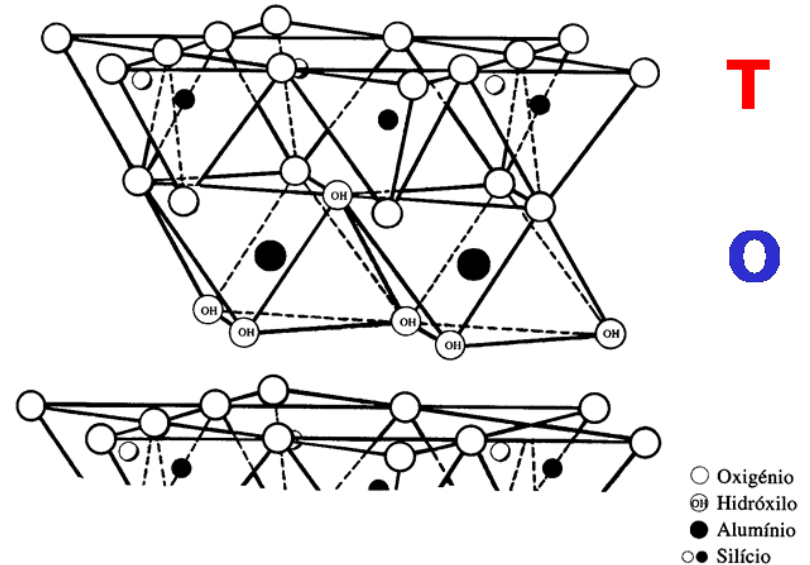
1:1

Combinação de folhas tetraédricas e dioctaédricas (gibbsite)





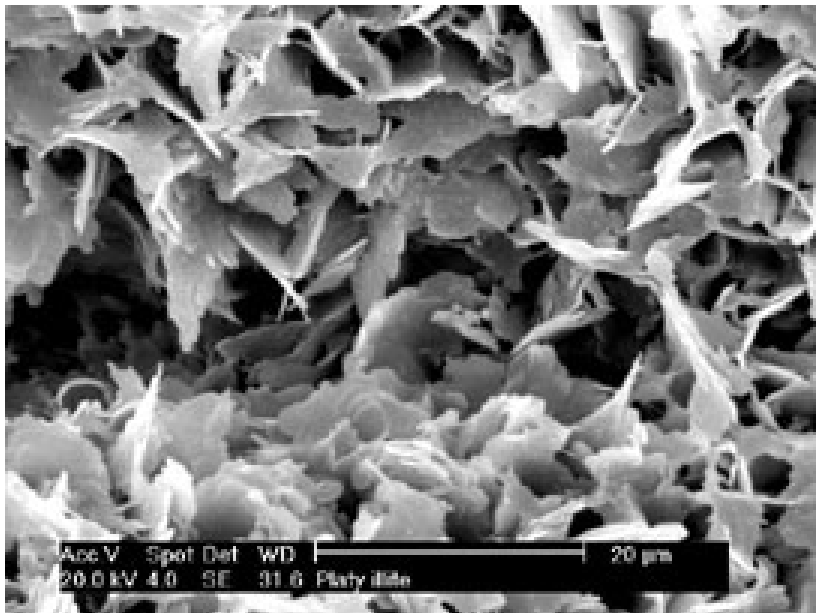
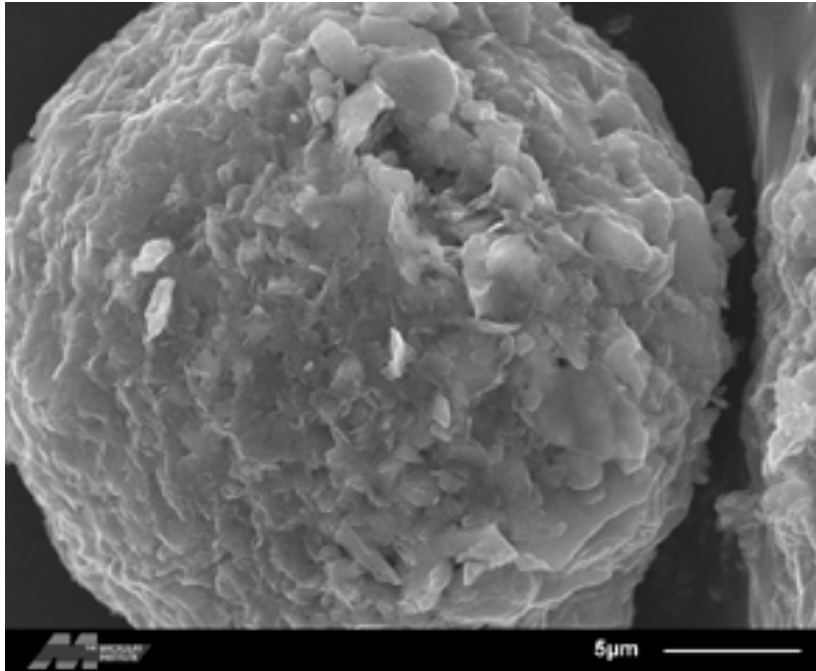
Modelo estrutural da Caulinite (Adaptado GRIM, 1968)



- A estrutura não expande em contacto com a água.
- Baixa CTC ( metade relativamente à ilite e um quinto em relação à montmorilonite).
- CTA relativamente elevada
- O empilhamento das camadas pode ser desordenado, com pequenos desvios segundo a direcção b, formando-se assim as “caulinites desordenadas”, constituintes comuns das argilas refractárias.

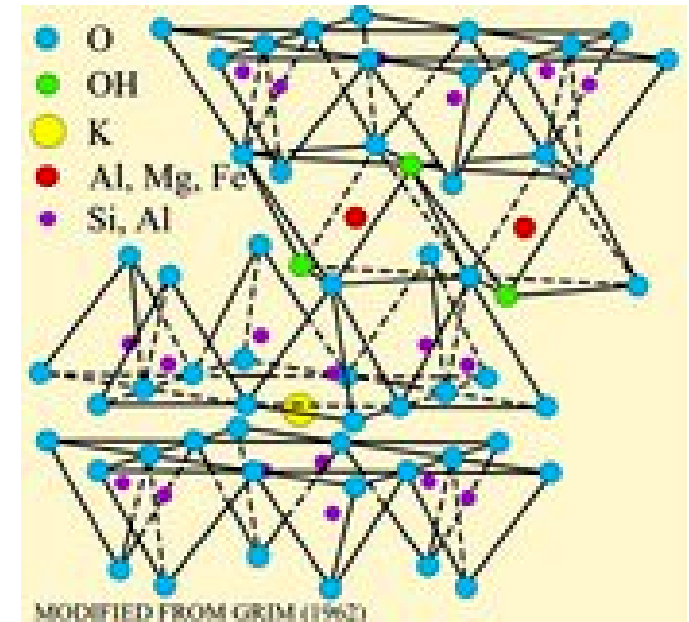
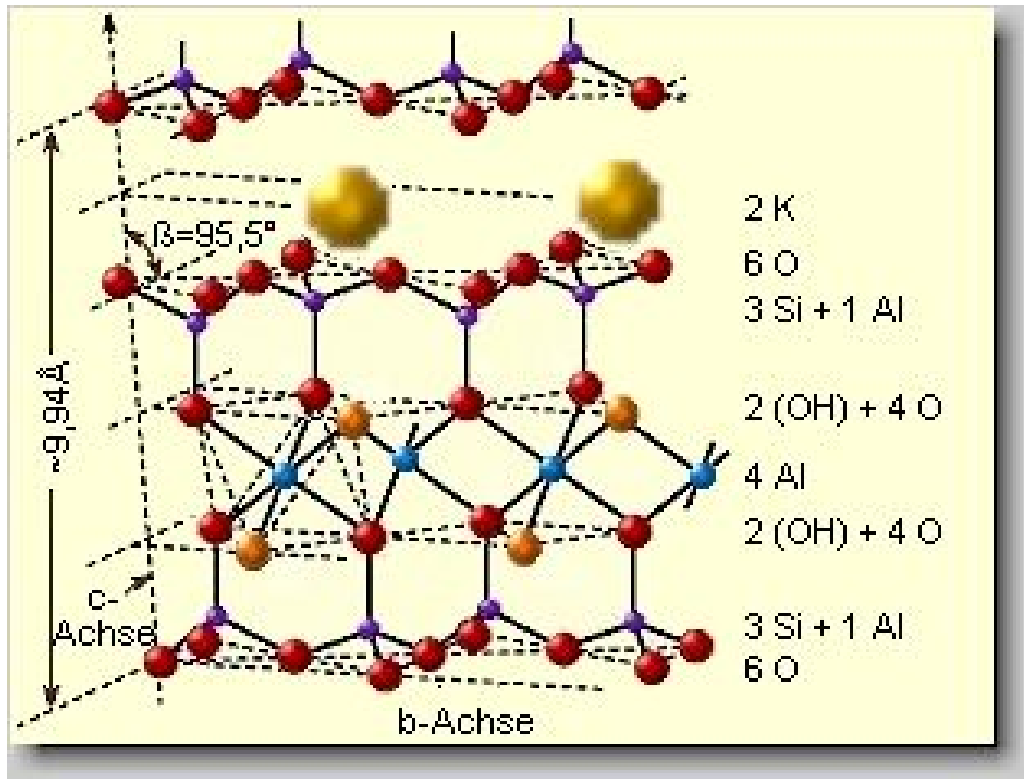
# ILITE

A ilite é o mineral argiloso mais abundante nos xistos argilosos e nos argilitos, e ocorre noutras rochas sedimentares, incluindo o calcário. Pode formar-se pela alteração dos silicatos, particularmente do feldspato, pela modificação diagenética de outras argilas, pela degradação da moscovite ou ainda pela recristalização de sedimentos coloidais.





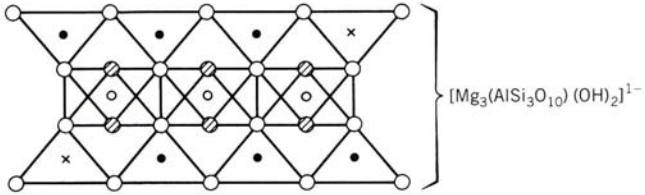
# ILITE



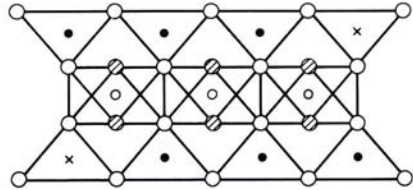
Esta argila tem estrutura semelhante à das micas, mas como tem menos cátions inter-camadas as suas ligações são mais fracas e existe maior irregularidade no empilhamento.

# CLORITE

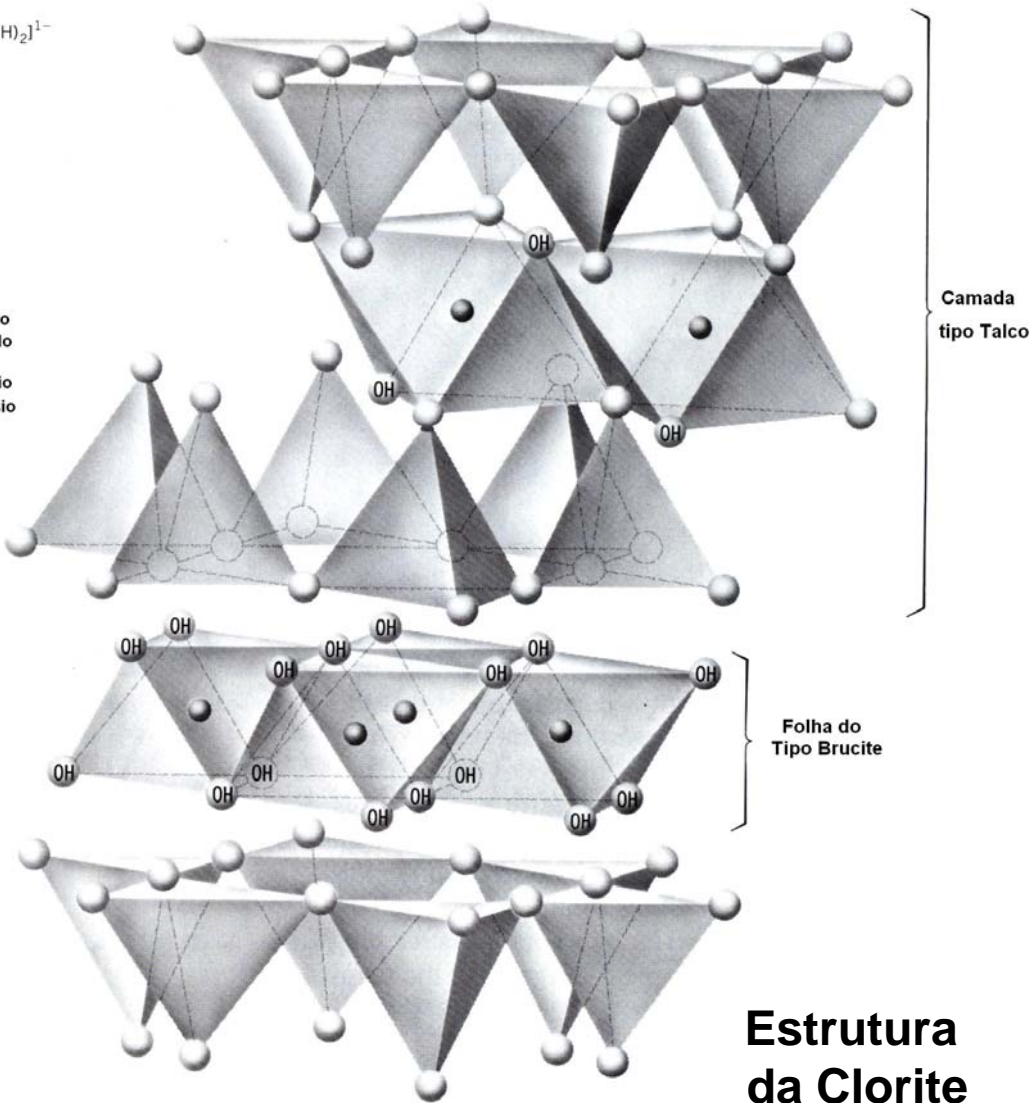
Clorite



Folha do Tipo Brucite



- = Oxigénio
- ⊗ = Hidroxilo
- = Silício
- x = Alumínio
- = Magnésio



Estrutura da Clorite Grim (1968)

# GRUPO DAS ESMECTITES (Montmorilonite)

Esmectite é uma designação geral para um grupo de minerais que têm a mesma estrutura mas que diferem no conteúdo iónico metálico.

As esmectites distinguem-se em duas espécies, **dioctaédricas** e **trioctaédricas**. Os membros são:

## Esmectites dioctaédricas

Montmorilonite

Beidellite

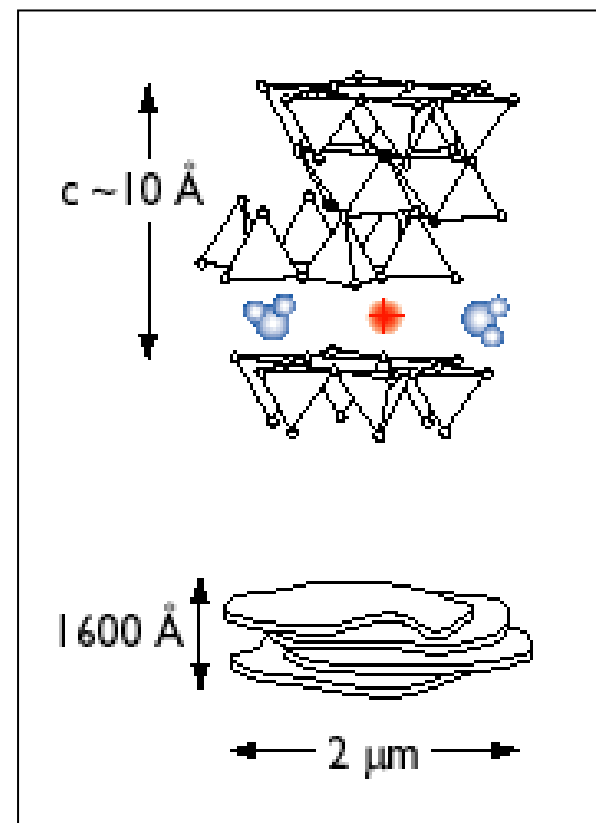
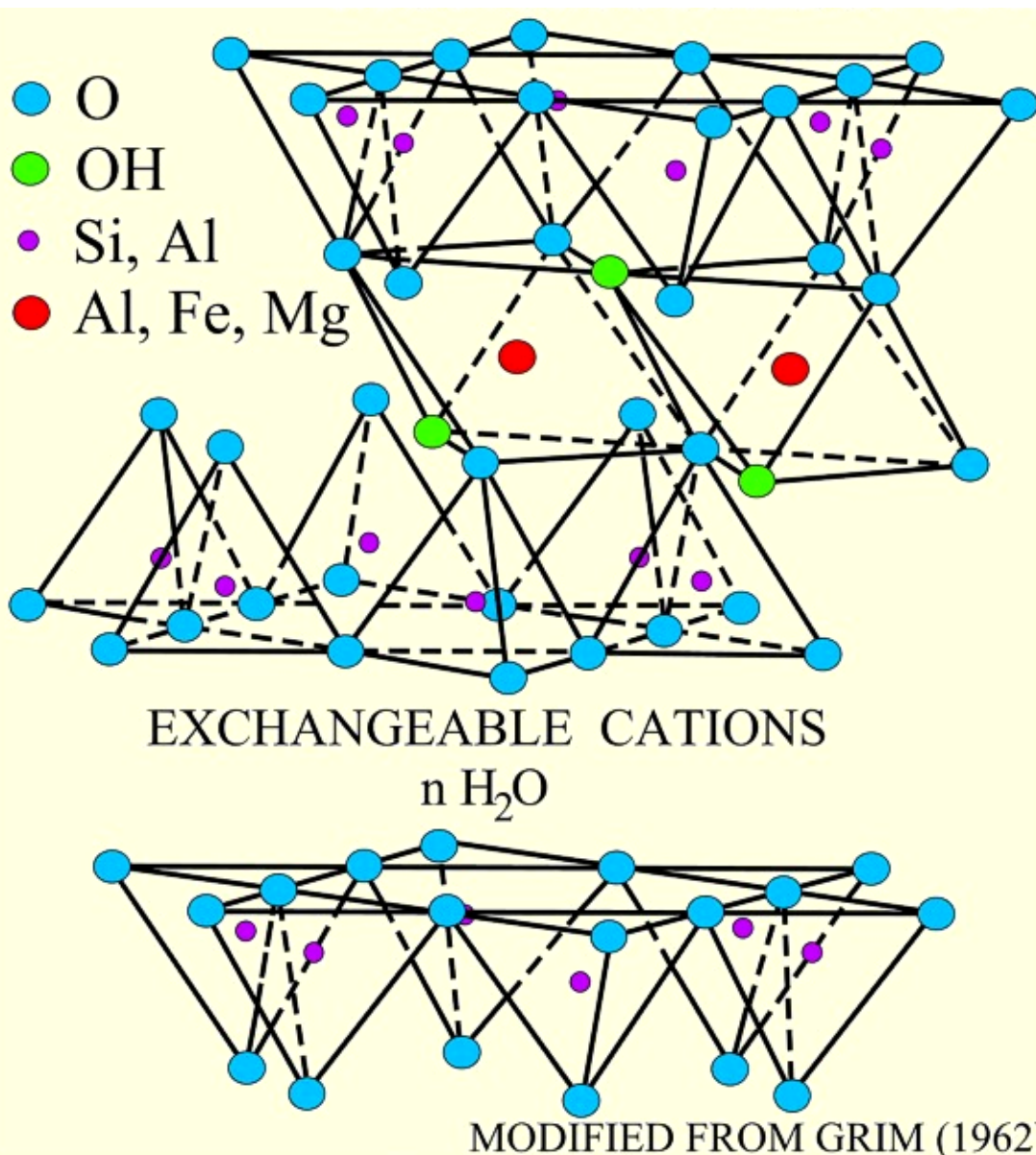
Nontronite

## Esmectites trioctaédricas

Hectorite

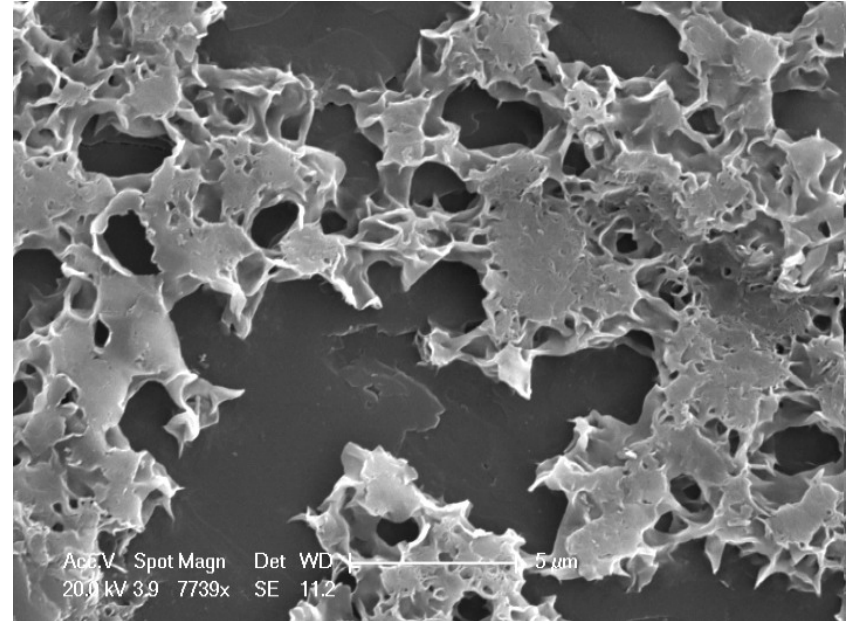
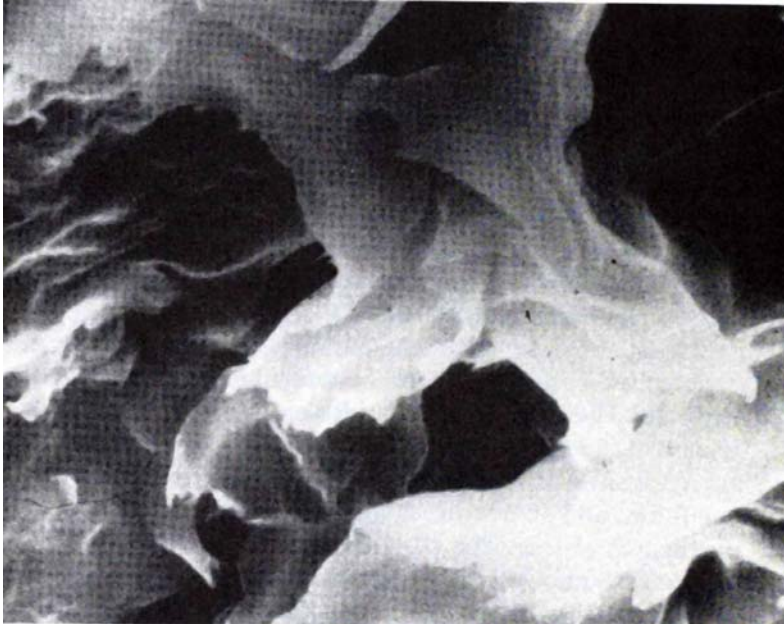
Saponite

# MONTMORILLONITE



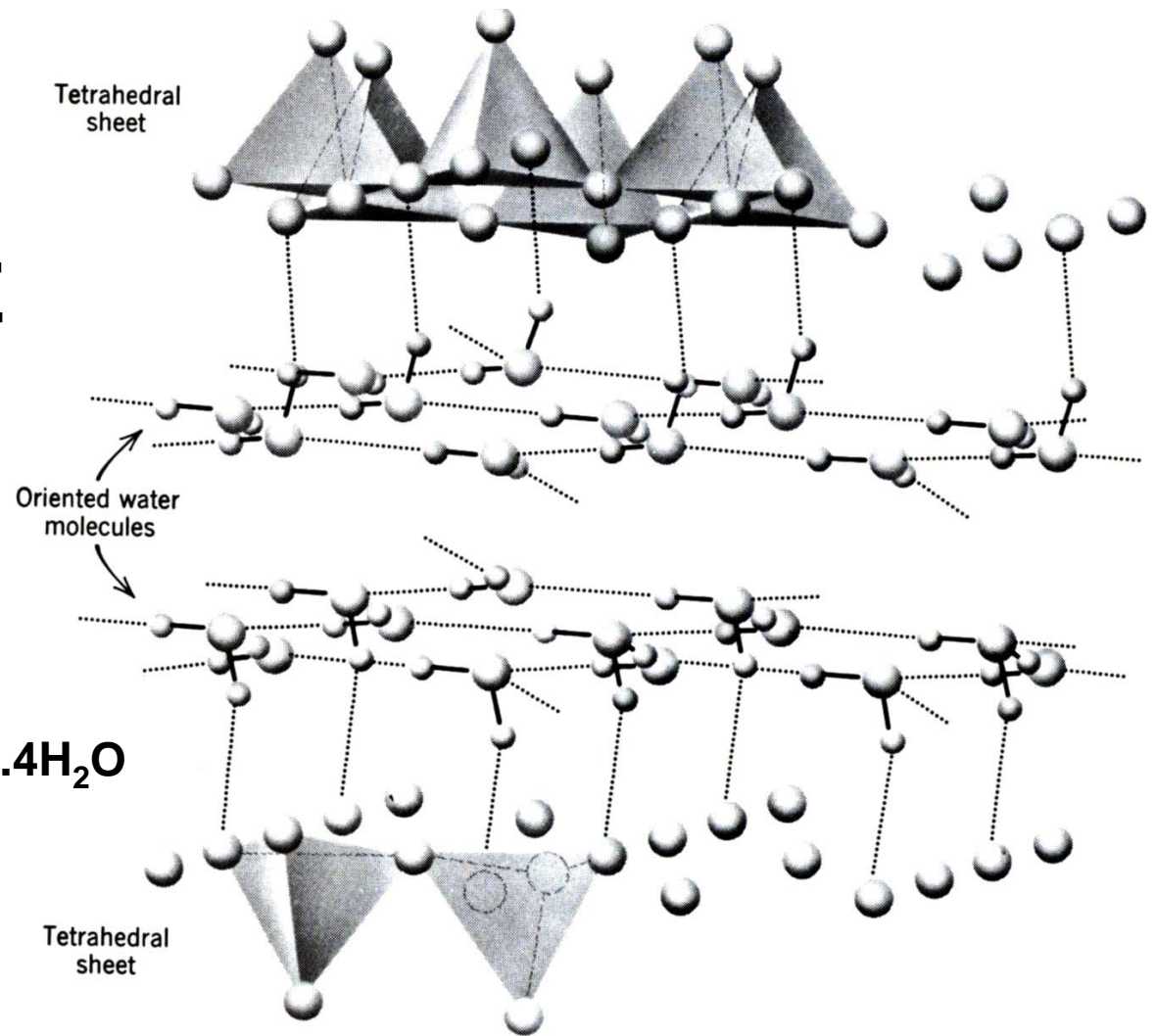


# MONTMORILONITE



As montmorilonites podem decompor-se nas variedades **sódicas** e cálcicas. As primeiras são designadas por **bentonites expansivas**, as segundas por bentonites não expansivas. Têm grande CTC. As partículas são lamelares, mas tendem a apresentar formas alongadas se a substituição for intensa.

# VERMICULITE



A **vermiculite** é um silicato hidratado de magnésio, alumínio e ferro com composição variável. A sua estrutura cristalina é semelhante à da biotite, mas as “folhas” estão separadas por duas camadas de moléculas de água.



# VERMICULITE

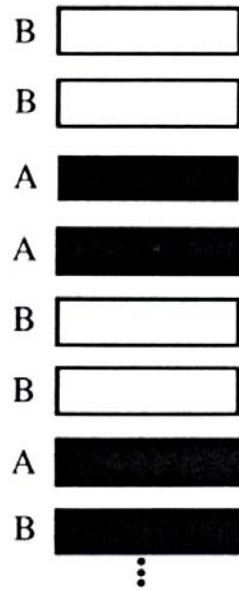


Deve o seu nome ao aspecto e movimento vermicular típico que apresenta quando é aquecida, devido à expansão e à decrepitação verificadas.



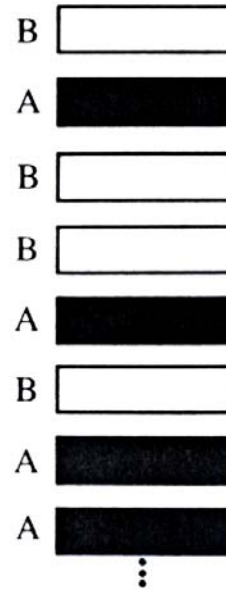
- Fabrico de comida para animais
- Granulados de baixo peso
- Na agricultura e fertilizantes
- Matéria prima de betões com baixo peso
- Matéria prima da construção civil quando se pretendem boas acústicas
- Indústria metalúrgica
- Isolante térmico
- Componente de lubrificantes
- Tintas
- Plásticos
- Constituinte de lamas de sondagem

# INTERESTRATIFICADOS



BBAABBAA...

Interestratificado regular

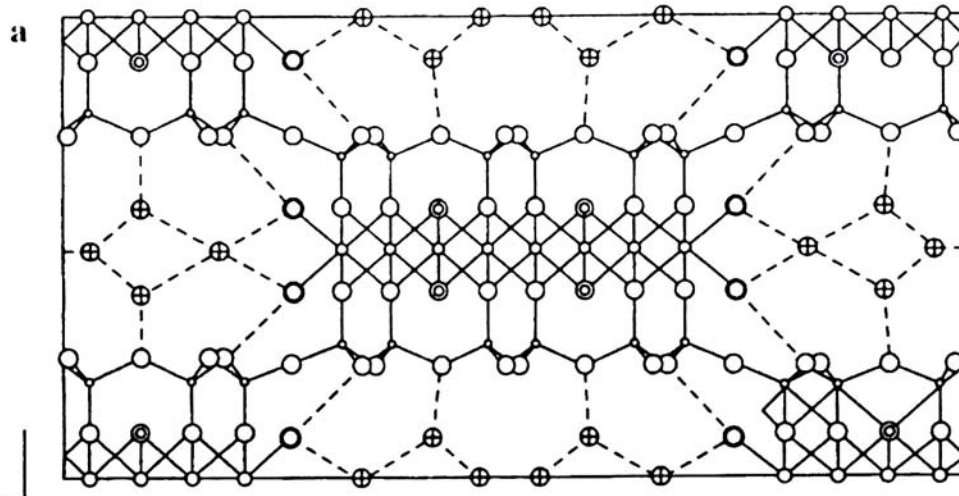


BABBABAA...

Interestratificado irregular

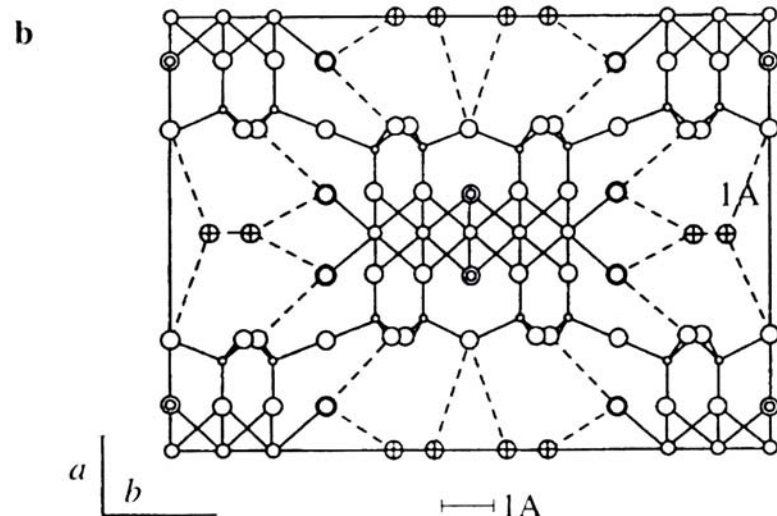
- Compreende modelos estruturais variados que são **INTERMÉDIOS OU MISTURAS DOS 5 GRUPOS COM ESTRUTURA EM CAMADA.**
- Existem minerais argilosos cujas estruturas são construídas com camadas próprias do grupo da ilite, intercaladas regular ou irregularmente por estruturas do grupo da montmorilonite.

# Argilas em absorventes para animais



**Paligorsquite  
(sepiolite)**

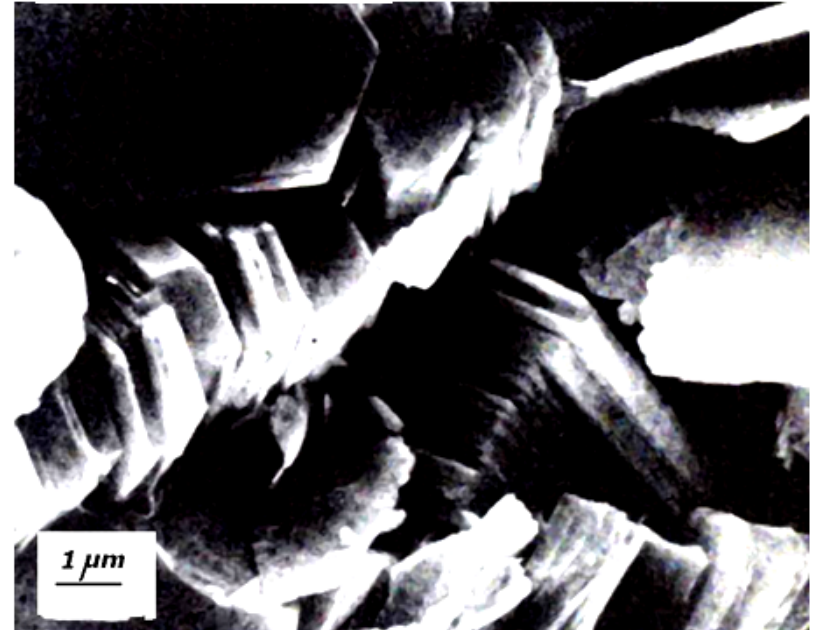
**Argilas fibrosas com canais internos**



- Si
- Mg
- O
- ⊙ OH
- H<sub>2</sub>O<sub>Cr</sub>
- ⊕ H<sub>2</sub>O<sub>Zcol</sub>

**Atapulгите**

# Um pequeno apontamento sobre argilas cauliníferas



Caulinite bem ordenada



# ALGUMAS VARIEDADES COMERCIAIS DE

# ARGILAS CAULINÍFERAS

**Caulino** – *caulinite bem ordenada e com um baixo teor de ferro; cor branca e macia.*

**Argila em bolas** (“ball clay”) – *caulinite desordenada com illite, quartzo, montmorilonite, clorite, e pequenas quantidades de matéria carbonácea (2 a 3%). Apresenta plasticidade.*

**Argila refractária** (“refractory” ou “fire clay”) – *essenc. caulinite, não funde com cor branca e pode suportar temperaturas acima dos 1500°C.*

**Argila dura** (“flint clay”) – *compacta microcristalina a cristalina composta principalmente por caulinite bem cristalizada.*

**Haloisite** – *é composta pelas mesmas unidades estruturais da caulinite mas contém mais hidroxilos.*

# Argilas em produtos cerâmicos

**Argila comum**

**Argila especial**

**Indústria  
do  
barro vermelho**

**Indústria  
do  
barro branco**



# PROPRIEDADES DOS MINERAIS ARGILOSOS?

Importância e diversidade de uso

- Os minerais argilosos só podem ser estudados pormenorizadamente com recurso a equipamento de raios-X, microsonda electrónica ou outros aparelhos sofisticados.
- São essencialmente aluminossilicatos hidratados, nos quais o magnésio ou o ferro podem substituir total ou parcialmente o alumínio, com elementos alcalinos ou alcalino-terrosos. Deste modo a sua **composição química é variável**, tal como a natureza dos **catiões inter-camadas** e o **teor em água**.
- Os diferentes minerais argilosos têm diferentes **propriedades úteis e com interesse económico**.

# PROPRIEDADES DOS MINERAIS ARGILOSOS?

Importância e diversidade de uso

- **Granulometria muito fina** ( $<2 \mu$ ) e forma anisométrica (lamelar, tubular ou fibrosa)
- **Diversidade química e estrutural** (conforme se viu anteriormente)
- **Grande** e variada **superfície específica** (5 a 800 m<sup>2</sup>/g)
- **Capacidade de troca iônica** devido essencialmente a substituições isomórficas (ex. Al<sup>3+</sup> substituindo Si<sup>4+</sup> e Mg<sup>2+</sup> substituindo Al<sup>3+</sup>); os défices consequentes da carga eléctrica cristalina são contrabalançados pela fixação reversível dos chamados cationes de troca (por ex. Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>)

# PROPRIEDADES DOS MINERAIS ARGILOSOS?

Importância e diversidade de uso

- **Dispersão fácil em água** ou outros solventes proporcionando suspensões estáveis ou instáveis quimicamente e com uma gama de propriedades reológicas
- **Inércia química e forte poder adsorvente**
- Dimensão apreciável e boa homogeneidade da maior parte dos depósitos ou jazigos; **beneficiação**, isto é, **separação fácil de impurezas** utilizando em regra a via húmida e ainda a exploração fácil dos depósitos (geralmente a céu aberto)

# FUNDAÇÕES E ESTABILIDADE DE TALUDES

Os minerais argilosos são constituintes importantes de solos, sedimentos e rochas sedimentares. A argila dos solos e doutros materiais argilosos pode proporcionar a esses materiais comportamentos que, tantas vezes, põem em risco obras de engenharia e até perdas de vida, dos quais advêm custos económicos e sociais elevados.

Os problemas atribuídos à argila resultam da forte **interacção entre os minerais argilosos e a água.**

**MINERAIS ARGILOSOS**

+

**ÁGUA**

Elevada superfície específica  
Cristaloquímica

Natureza polar  
da molécula

# FUNDAÇÕES E ESTABILIDADE DE TALUDES

- O comportamento do solo numa fundação é afectado quer pela **quantidade** total de água contida, quer pela **energia** com que ela é retida (água intercrystalina e intracrystalina).
- A **consistência**, a **resistência mecânica** e a **densidade** são afectadas pelo teor em água. Gradientes do teor em água originam movimentos de água cujos efeitos típicos são o colapso durante a secagem e o intumescimento durante a saturação.
- A presença de **sedimentos sensíveis de origem marinha** e que passaram no presente ao regime de água doce pode gerar instabilidade.

# Sensibilidade de um solo (*Terzaghi*)

*resistência mecânica do solo no estado natural ou inalterado*

---

*resistência do solo trabalhado para igual teor em água*

*Skempton e Northey (argilas)*

- (1) insensíveis < 1*
- (2) pouco sensíveis 1-2*
- (3) medianamente sensíveis 2-4*
- (4) sensíveis 4-8*
- (5) extra-sensíveis > 8*
- (6) “quick clays” > 16*

*O colapso estrutural dos solos resulta da introdução nos poros de fluidos dispersantes e desfloculantes, como é o caso da água doce.*



## Propriedades físicas de minerais argilosos (impacto em geotecnia)

	caulinite	ilite	montmorilonite
Superfície específica (m <sup>2</sup> /g)	5 - 20	100 - 200	600-800
Expansibilidade	baixa	média	elevada

# EXPANSIBILIDADE – ESTABILIDADE DE FUNDAÇÕES

O problema da estabilidade das fundações de uma barragem em cujas rochas haja **ocorrência de minerais do grupo da montmorilonite é dos mais graves.**

Os factores que influenciam o processo de expansão de uma esmectite “in situ” podem ser agrupados em duas categorias:

## **Factores internos**

1. Tipos de minerais argilosos presentes na formação argilosa de fundação
2. Quantidade de minerais presentes na formação argilosa de fundação
3. Tipo de catião dominante nestes minerais argilosos
4. Concentração iónica na formação argilosa
5. Tamanho das partículas constituintes dos minerais argilosos
6. Quantidade de água antes do processo de expansão
7. Estrutura dos minerais argilosos presentes
8. Densidade a seco da argila antes do início do processo de expansão
9. Possível cimentação diagenética

## **Factores externos**

1. Acessibilidade de água de embebição
2. Concentração de iões na água
3. Possibilidade de aumento de volume durante o processo de expansão
4. Contrapressão eventual