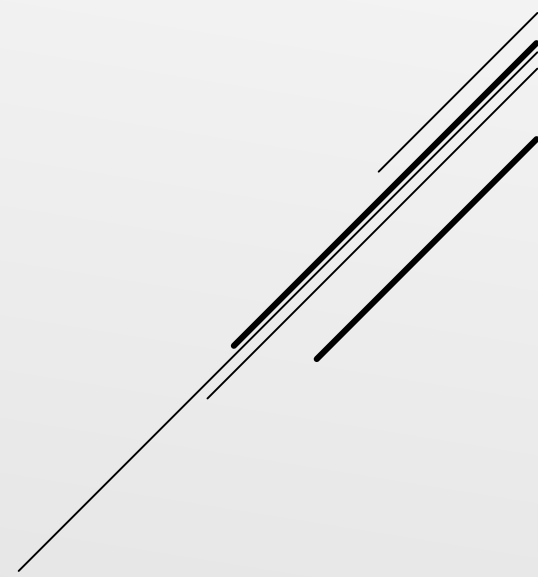
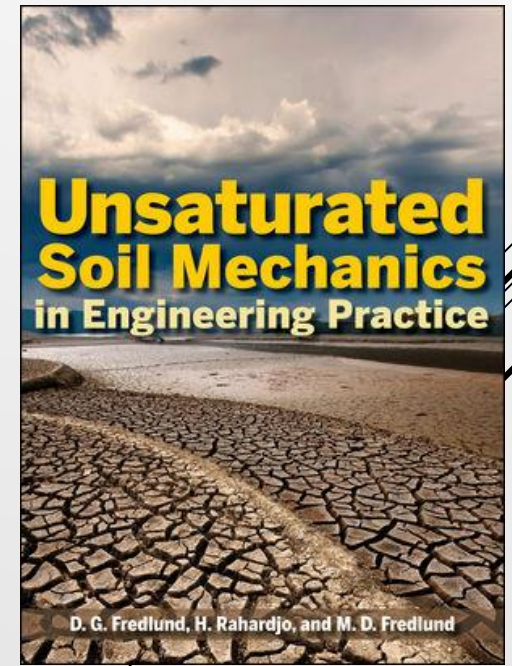
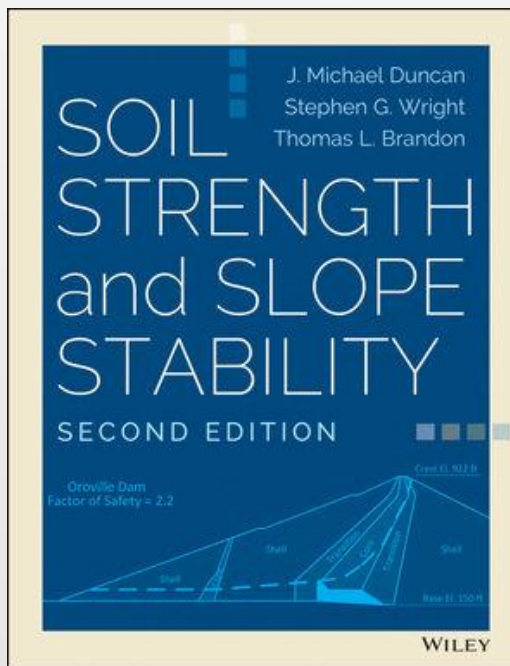
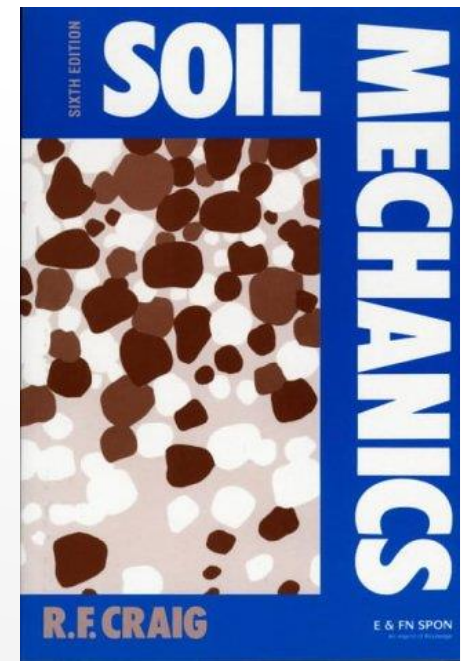
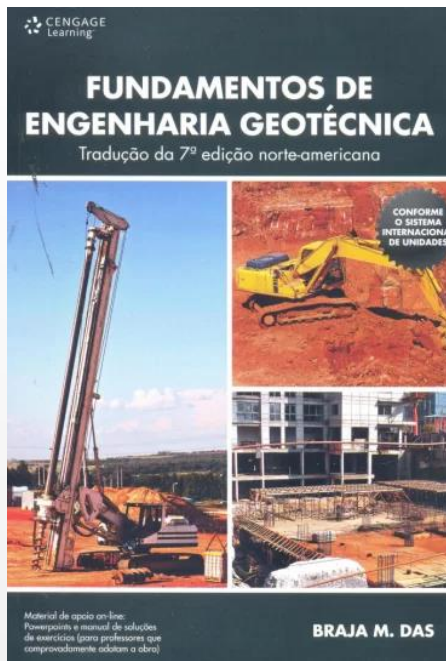
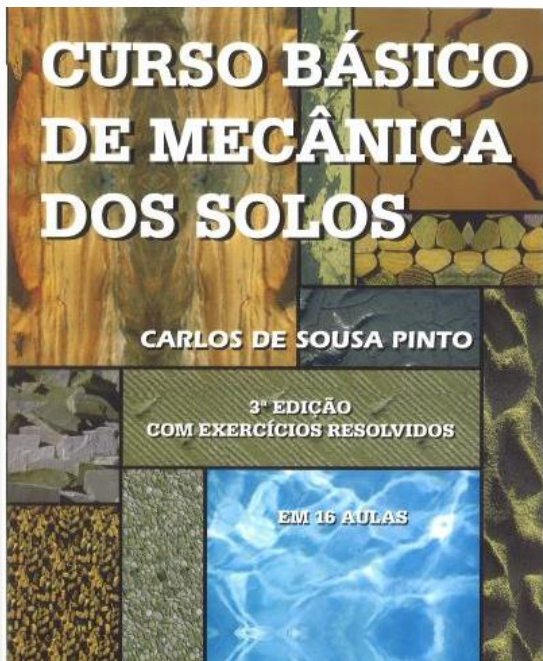


**Mecânica dos Solos**

# Natureza e Estado dos Solos

**Prof. Fernando A. M. Marinho**  
2019





# Características básicas dos solos

- O solo consiste de grãos (minerais e fragmentos de rochas) com ar e água nos vazios entre os grãos
- A quantidade de ar e água contida no solo varia de acordo com as condições locais. O solo pode estar completamente seco, totalmente saturado de água ou entre estes dois extremos
- Sob o ponto de vista da engenharia o solo não é um material sólido como o aço ou concreto, ele é um meio particulado.
- É de grande importância compreender o significado dos tamanhos das partículas, sua forma e composição.
- Outro aspecto importante é a sua estrutura.

# Descrição dos Solos

- A descrição dos engenheiros geotécnicos engloba o estado do solo e sua susceptibilidade para mudanças futuras.
- Estas mudanças podem ser devidas a: carregamento, drenagem, estruturas, e modificação da superfície do terreno
- Os engenheiros geotécnicos estão interessados nas seguintes propriedades dos solos:
  - Resistência
  - Rigidez
  - Permeabilidade
- Isto depende em primeiro lugar :
  - Dos grãos do solo (mineralogia, tamanho e forma),
  - do Estado de tensão,
  - do teor de umidade e grau de saturação,
  - do peso específico

Mineralogia  
Distribuição granulométrica

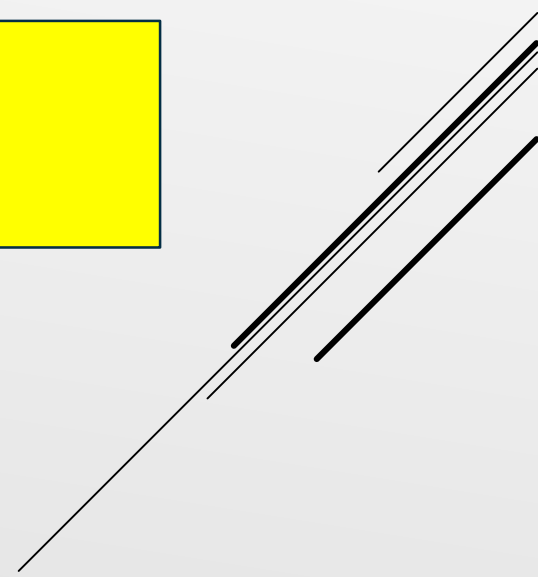
Natureza dos  
Solos

Estado de tensão,  
Teor de umidade e grau de saturação  
Densidade

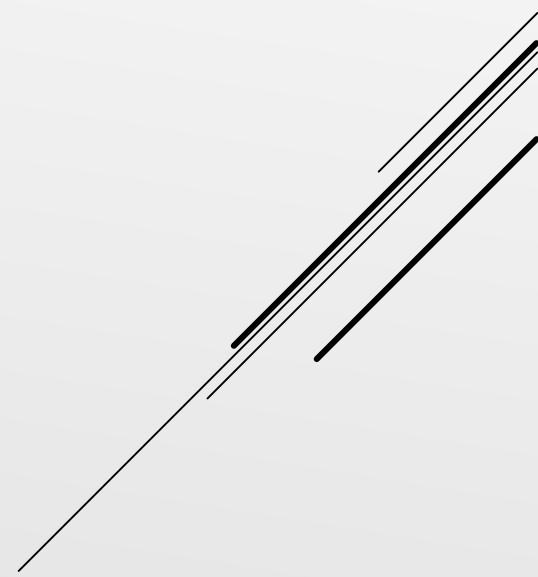
Estado dos Solos

Comportamento dos Solos

Resistência  
Rigidez  
Permeabilidade



# Natureza dos Solos



## **O que são solos**

**O solo pode ser definido como sendo uma composição de materiais orgânicos e inorgânicos (predominantemente inorgânicos do ponto de vista geotécnico). Os materiais inorgânicos são os minerais**

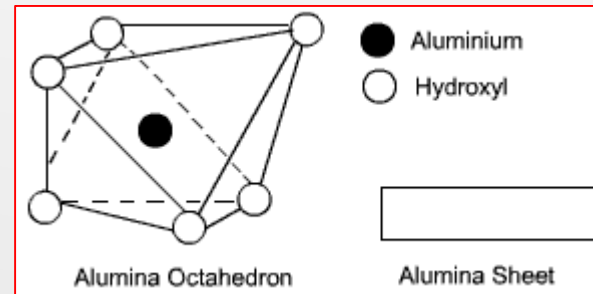
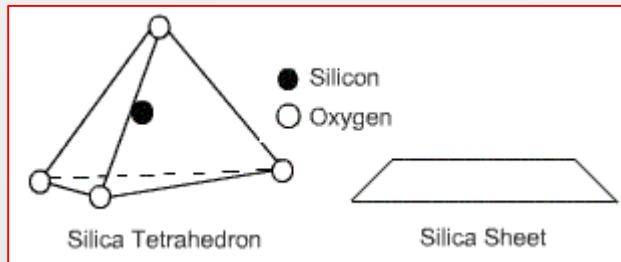
## **O que são minerais**

**Os minerais são sólido inorgânicos que ocorrem naturalmente na natureza e possuem uma composição química definida e os átomos no mineral são arranjados de uma forma sistemática.**

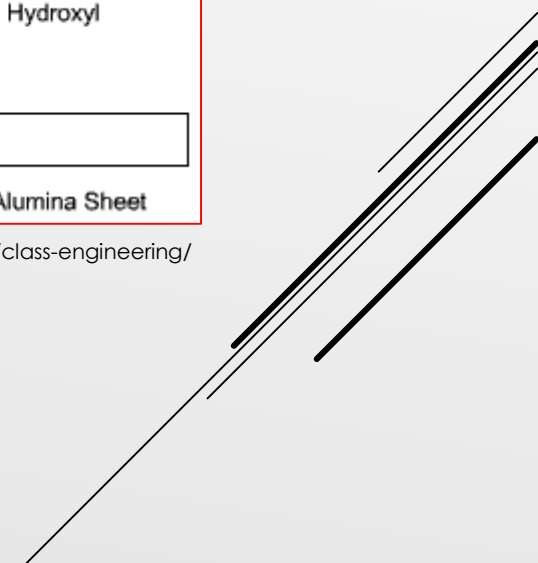


Quartzo é o mineral não argiloso mais encontrado nos solos.

Os minerais argílicos são silicatos.  
A unidade estrutural deles consiste de **tetraedros de sílica e octaedros de alumina**

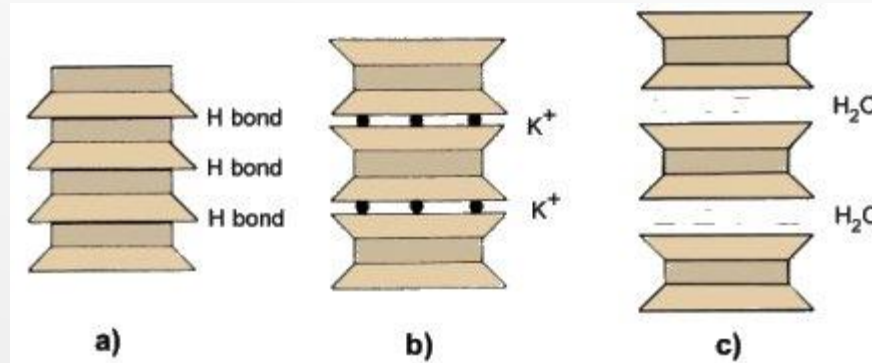


<https://www.kullabs.com/class-engineering/>





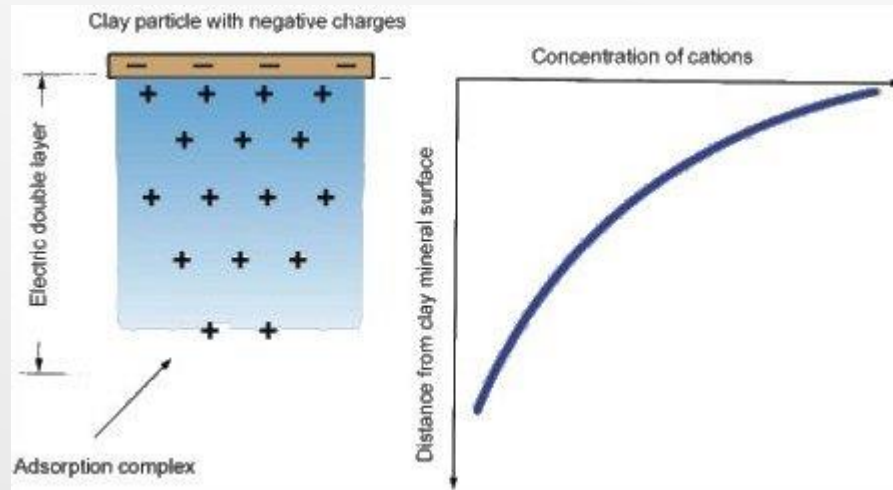
Estas unidades básicas se combinam para formar as estruturas das caulinitas, ilitas e montmorilonitas.



(a) Caulinita, (b) iilita e (c) montmorilonita, (Craig, 1990)

- Cargas elétricas não balanceadas
- Cátions e água satisfazem este desbalanceamento elétrico criando ligações e unindo as camadas estruturas.
- Os minerais argílicos são formados por uma combinação de camadas estruturais básicas com diferentes ligações entre elas.

**A estrutura da argila e sua carga negativa cria um material com grande atividade em relação a água e este fenômeno é responsável por muitas propriedades da argila.**



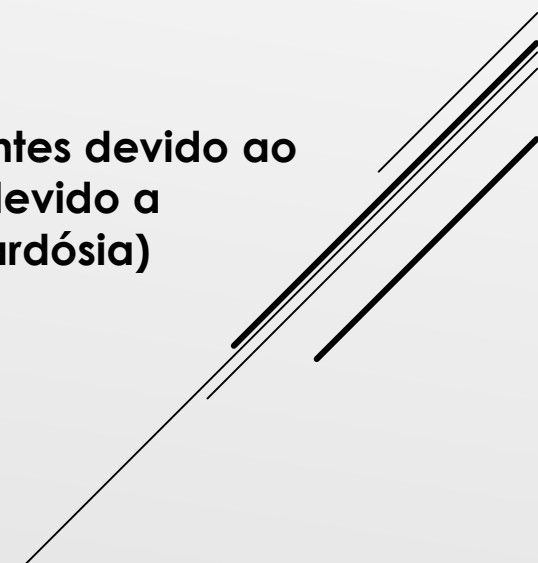
**Adsorção na superfície da partícula de argila (modified after Cernica, 1995)**



# Origens dos Solos - ROCHAS

**Todos os solos se originam, direta ou indiretamente de rochas:**

- **Rochas ígneas : Esfriamento do magma – (granitos, basaltos..etc.)**
- **Rochas sedimentares: Camadas de sedimentos adensados e cimentados (arenitos, calcáreos, folhelhos, etc.)**
- **Rochas metamórficas – Alteração de rochas existentes devido ao calor de intrusões ígneas (mármore, quartzitos) ou devido a pressão do movimento da crosta terrestre (gnaisse, ardósia)**




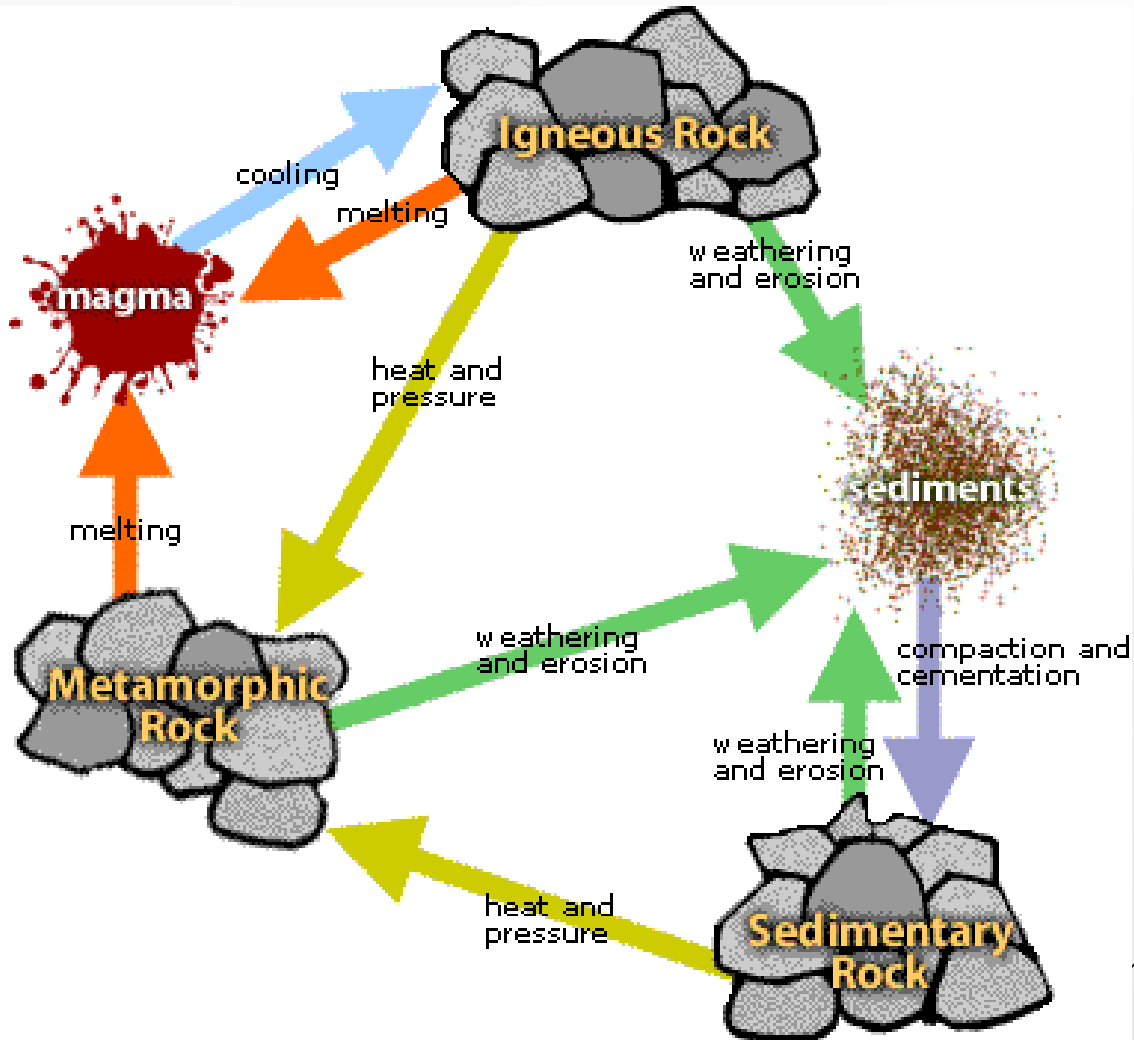
# Origens dos Solos (Formação e Mineralogia)

- Os solos são os resultados de eventos geológicos.
- A natureza e estrutura do solo depende muito do processo geológico que o formou.
- Estes processos são:
  - Destruição da rocha mãe (intemperismo, decomposição, erosão)
  - Transporte para o local de deposição (gravidade, fluxo de água, vento)
  - Condições ambientais no local da deposição (inundação em planície, bancos em rios, em lagos, no mar)
  - Condições de carregamento e drenagem após a deposição (sem sobrecarga, grande sobrecarga, mudanças de água, lixiviação, contaminação).

# Origens dos Solos - INTEMPERISMO

A Intemperização das rochas podem ser dos seguintes tipos:

- Física ou mecânica ( ação da água, temperatura, vento)
    - O produto é uma material grosso (silte, areias e pedregulhos)
  - Químico (ambiente quente e úmido. Degradação por alteração/ou decomposição).
    - O produto é geralmente solos finos.
    - O tipo de mineral depende da rocha mãe e da drenagem local.
    - O quartzo não é afetado pelo intemperismo químico.
    - As argilas são formadas principalmente dos feldspatos.
- 



# Intemperização

Vento  
Chuva  
Granizo  
Gelo

Calor  
Frio

Intemperização  
Mecânica



Rocha mãe



Desagregação  
da rocha mãe

Intemperização  
espontânea

Intemperização  
Química  
(água)

Minerais, nutrientes  
(ions em solução)

Óxidos de ferro e alumina)

Silica

Argila  
3 camadas  
(esmectita)

Argila  
2 camadas  
(Caolinita)

Silte

Areia (quartzo)



# Solos Residuais

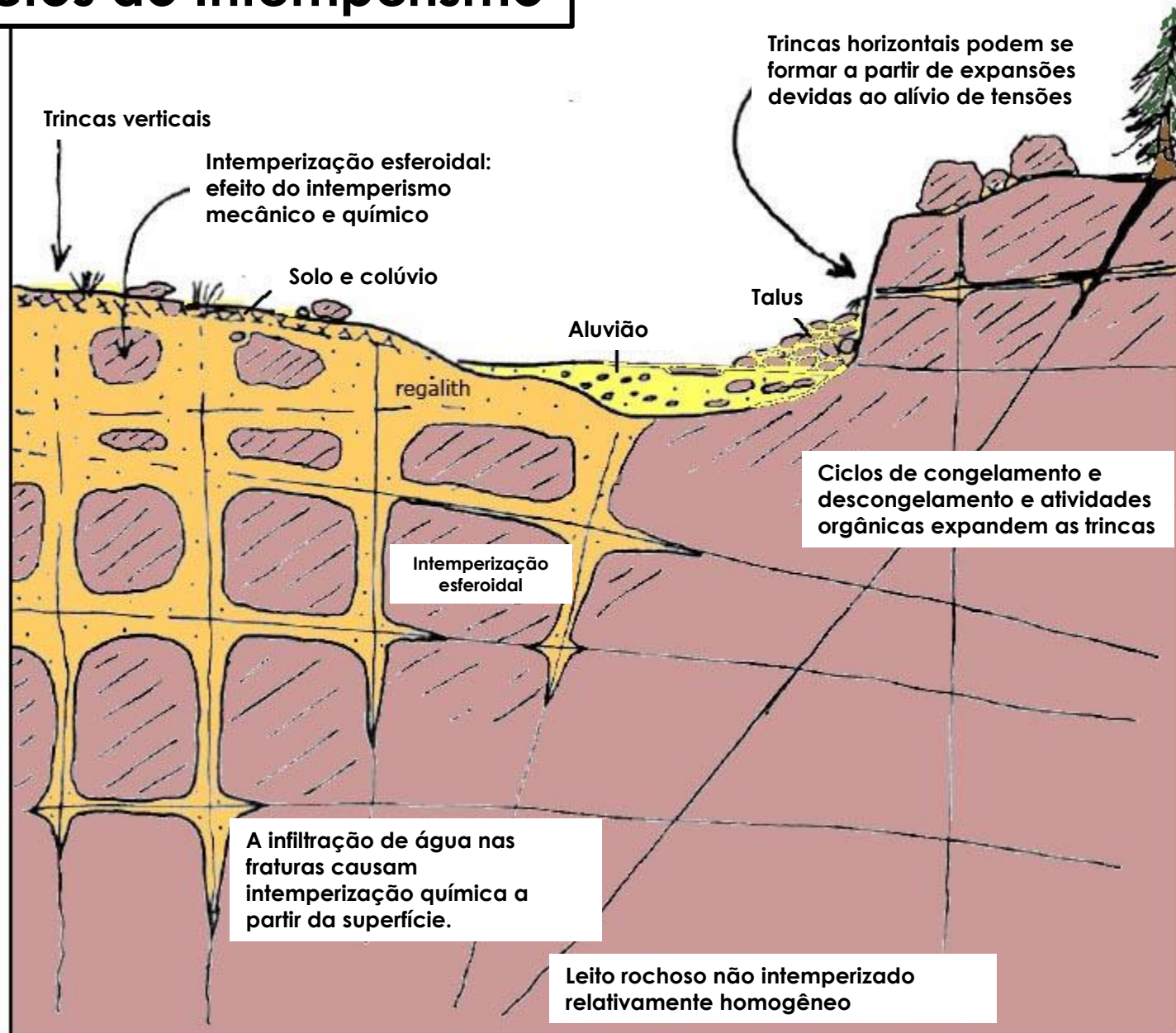




# Solos Transportados



# Aspectos do Intemperismo



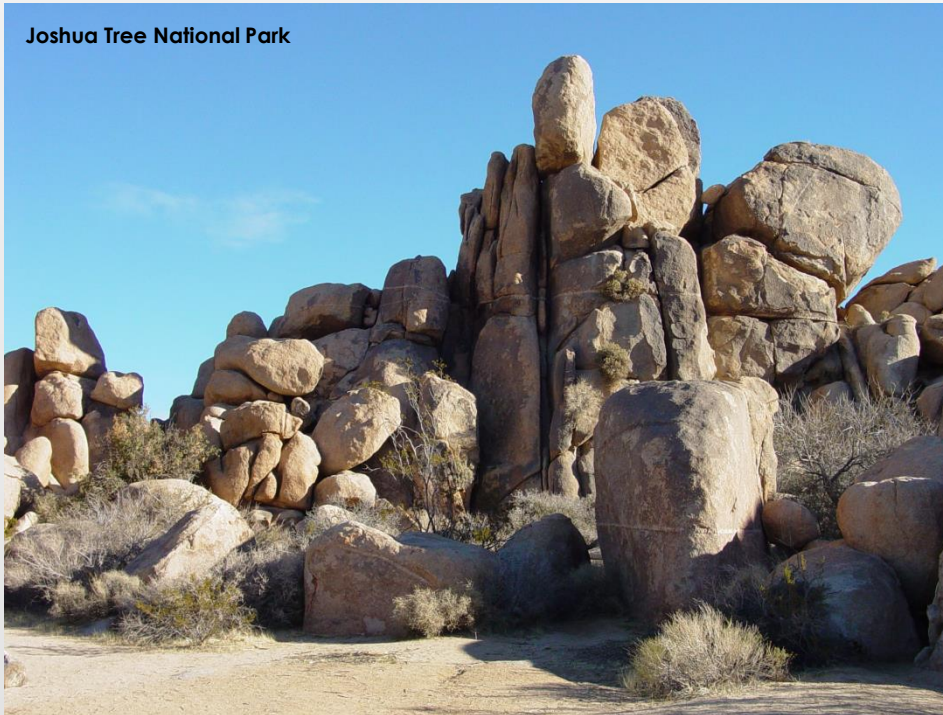


Santa Cruz Mountains

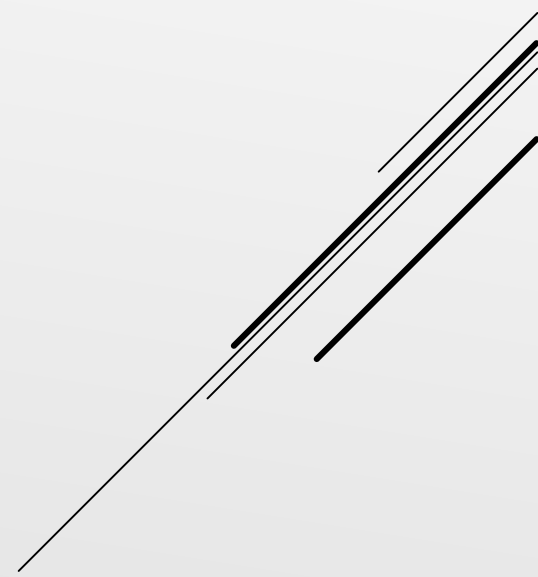


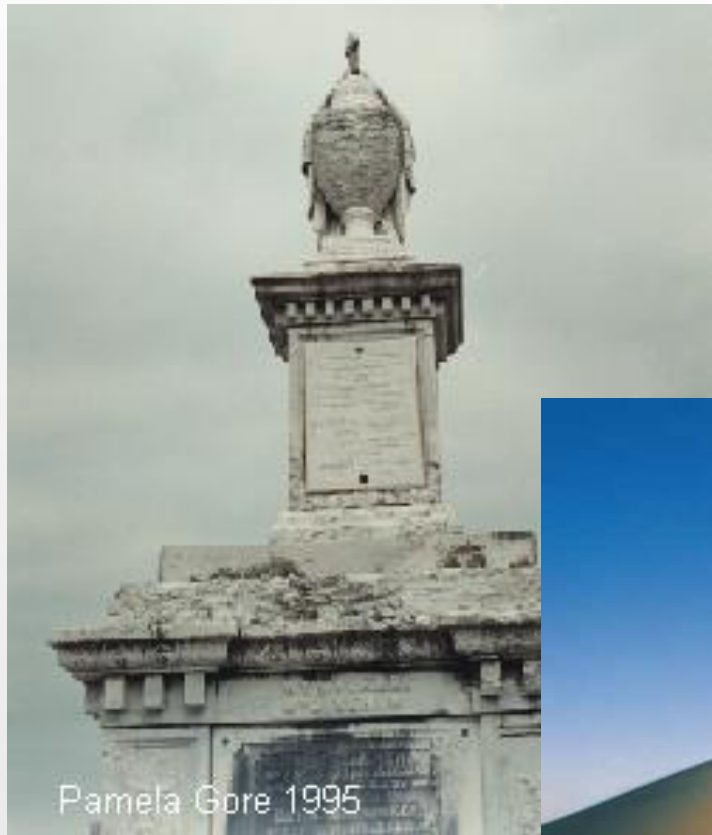
Intemperização química associada a rocha fraturada

Joshua Tree National Park

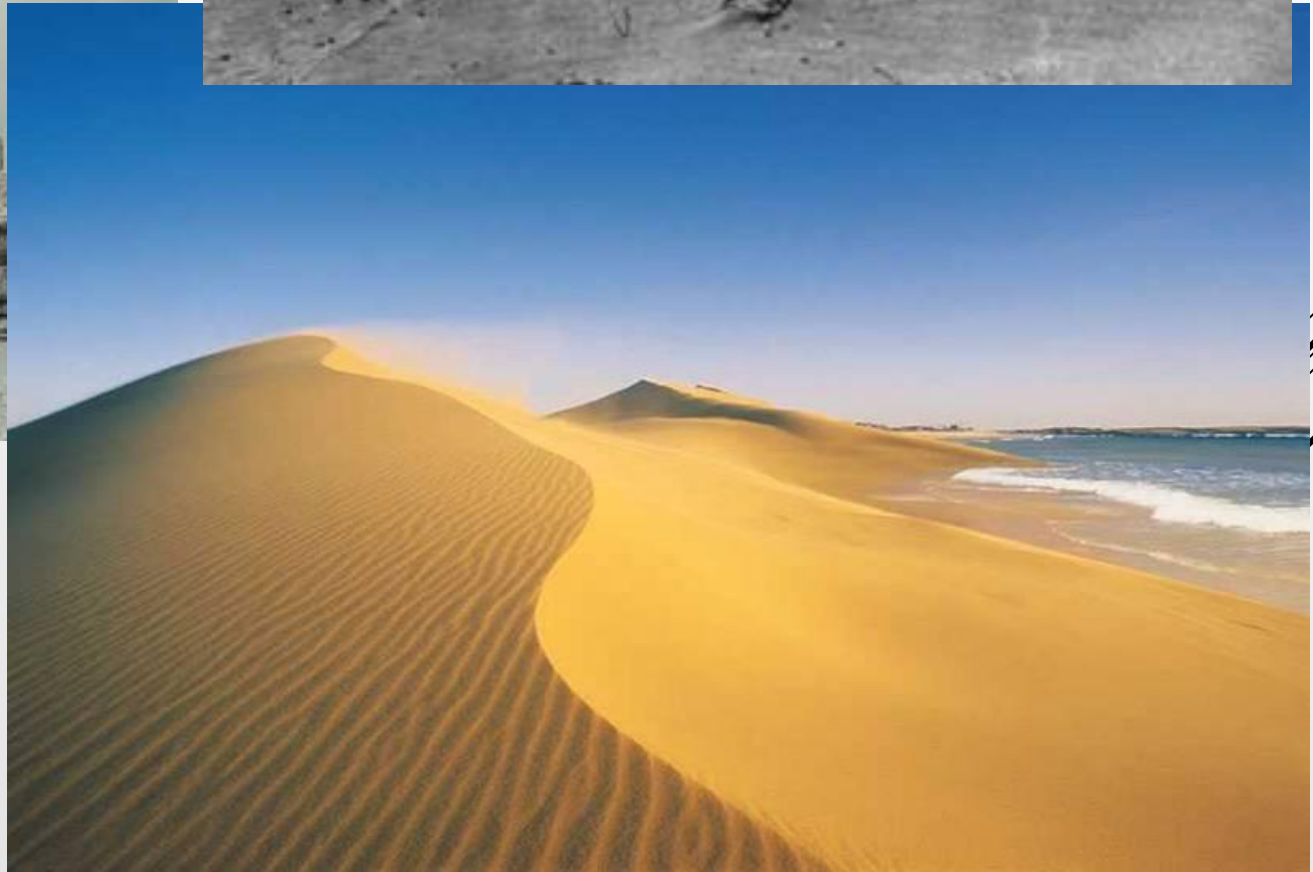


Intemperização esférica de granito





Pamela Gore 1995



# Tamanho das Partículas, Forma e Distribuição

**Barril**



**Areia**

**Prato**



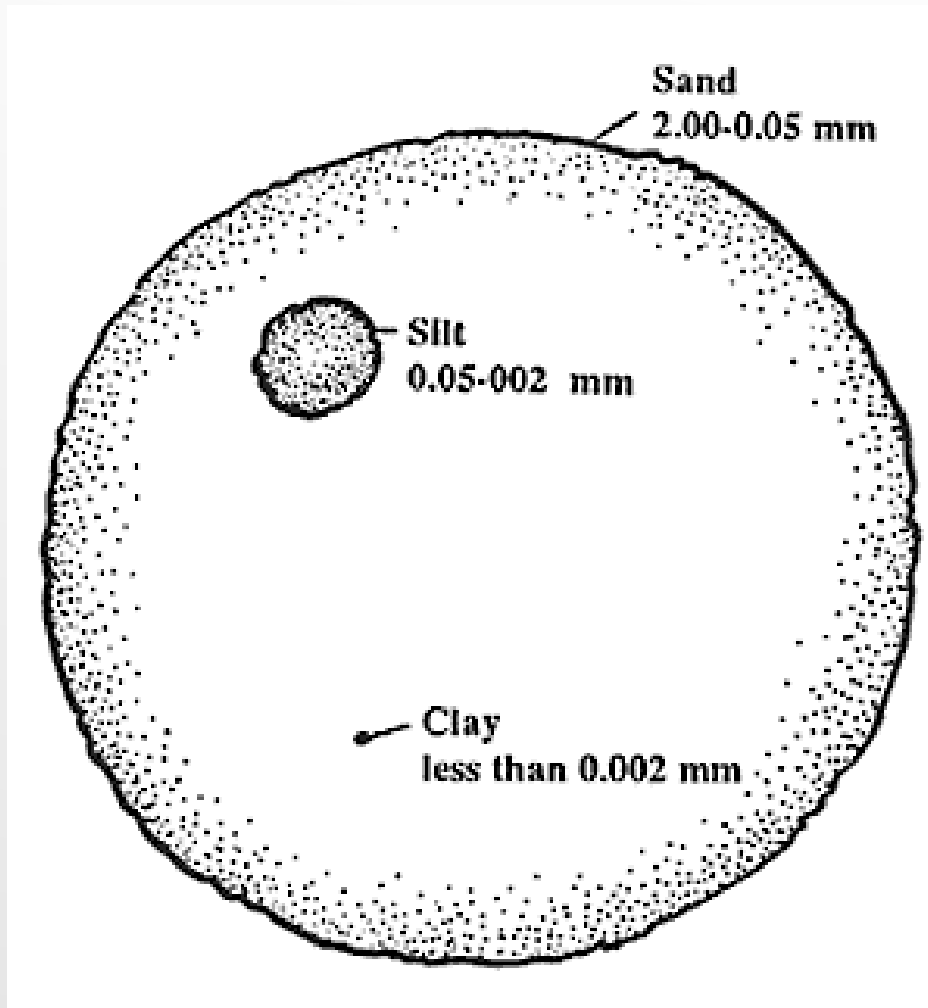
**Silte**

**Moeda**



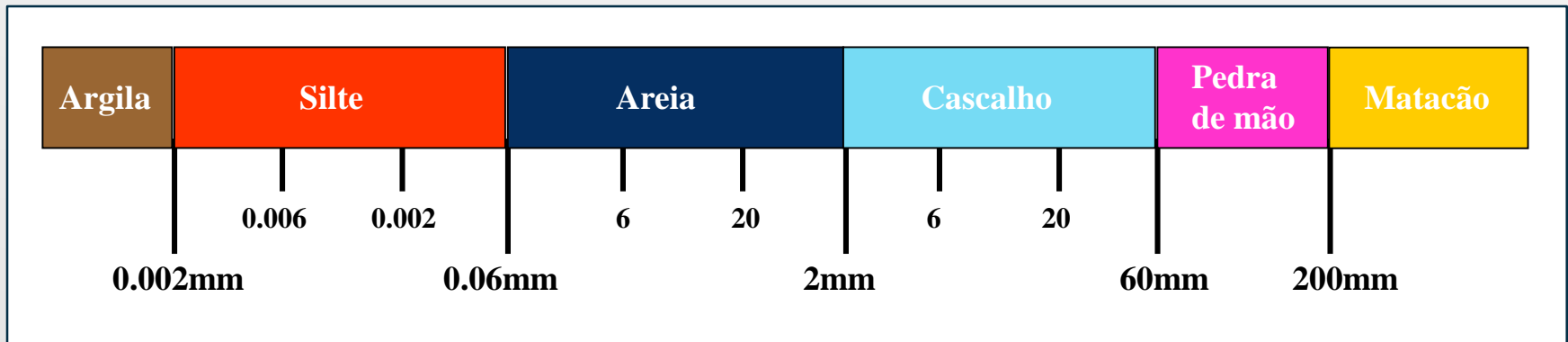
**Argila**

# Tamanho das Partículas

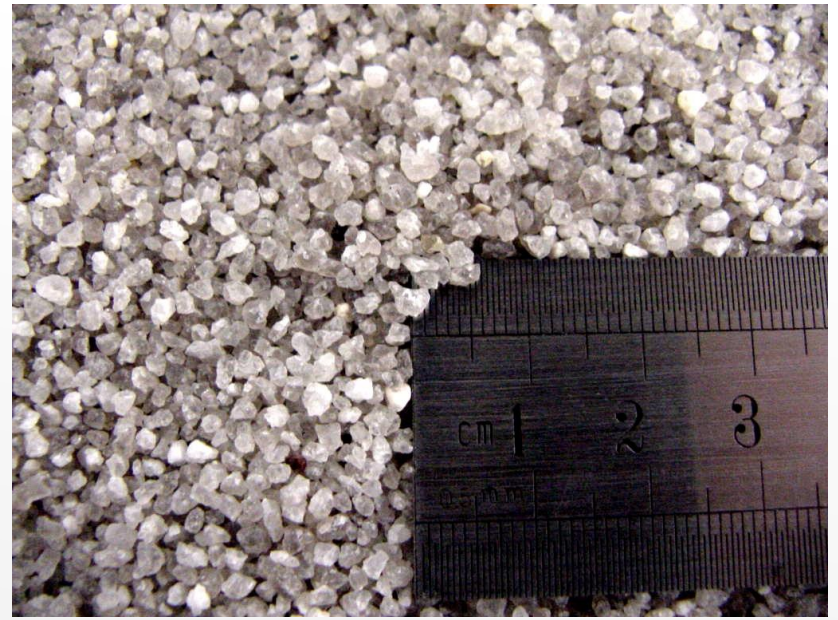


# Tamanho das Partículas

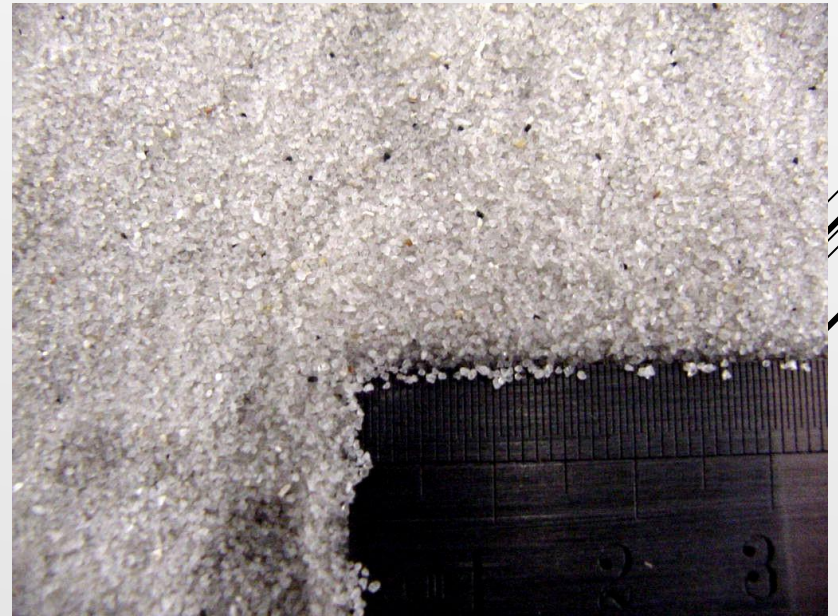
- **Areias** – As partículas são visíveis a olho nu
- **Siltes** – Quando secam ficam viram pó e são facilmente removidos das mãos e dos sapatos.
- **Argilas** – Quando úmidas são pegajosas e difíceis de serem removidas das mãos e dos sapatos.







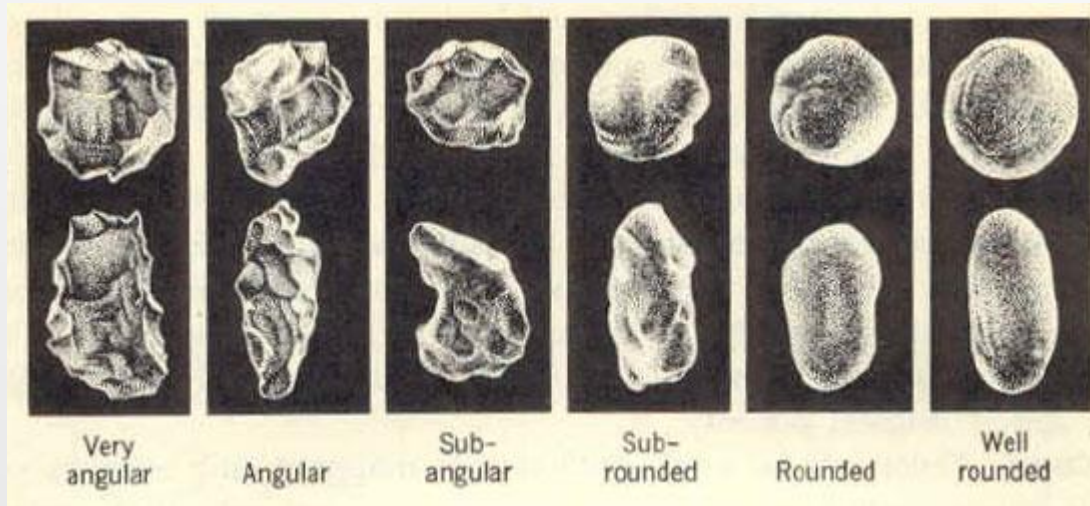
**Areias**





# Areias e Siltes

- Areias e partículas de grandes diâmetros são arredondadas, mas possuem diferentes características na forma e na rugosidade da superfície
- Isto depende da forma de transporte
- Possuem uma baixa superfície específica



<http://www.sand-atlas.com/en/shape-of-sand-grains/>

- **Aredondados** – água ou ar – sedimento transportado
- **Angular** – Faces planas e quinas vivas – solos residuais



# Areias no Mundo



Brasil – Bahia – Salvador, Jardim de Alá



USA – California – Palm Springs



Mexico – Baja California Sur – Cabo – Cabo San Lucas



Africa do Sul – Western Cape – Cape Peninsula, Hout Bay



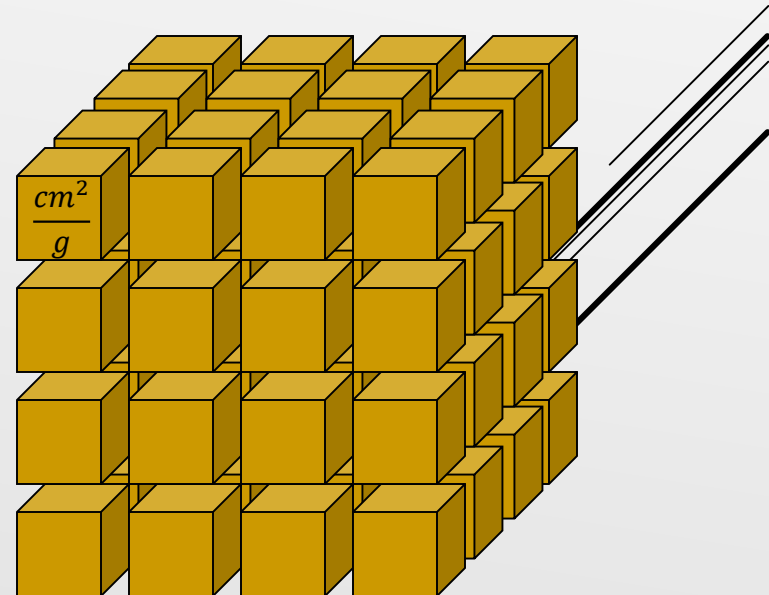
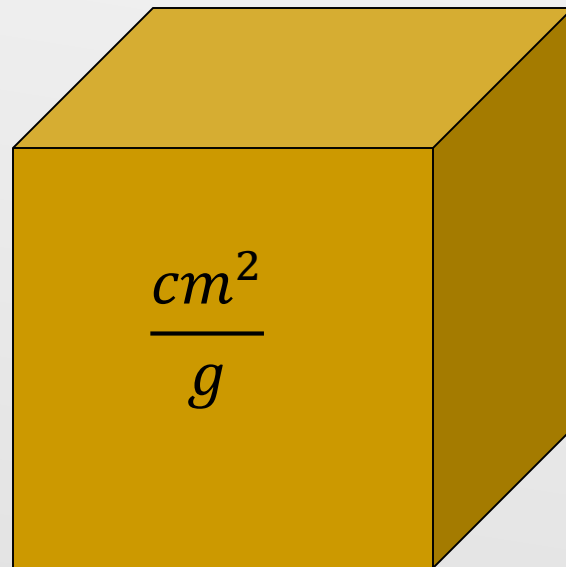
Kenia – Coast – Beach at Pate island



Australia – Victoria – Great Ocean Road, 12 Apostels

# Argilas

- As argilas possuem uma forma de placas onde sua espessura é muitas vezes menor que seu comprimento e largura.
- Muitas vezes isto chega a 1/100 de seu comprimento.
- Possuem um elevado valor de superfície específica.
- Suas superfícies possuem uma pequena carga elétrica negativa que atrai a carga positiva da moléculas de água.
- A carga depende do tipo de mineral e pode ser afetado pela característica da água.
- Esta característica causa forças entre as partículas que são proporcionais a superfície específica.
- Muita água pode ser absorvida pela argila.



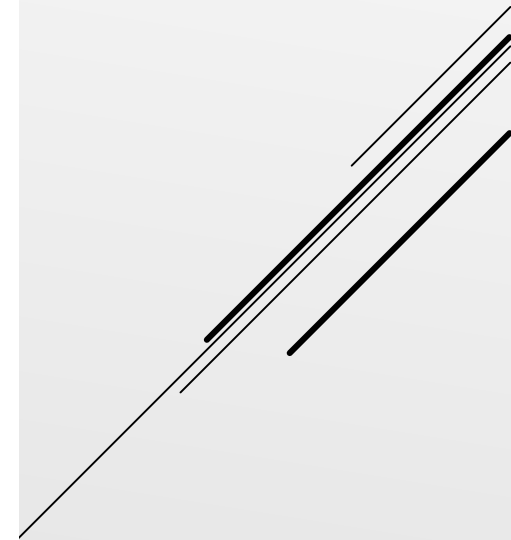
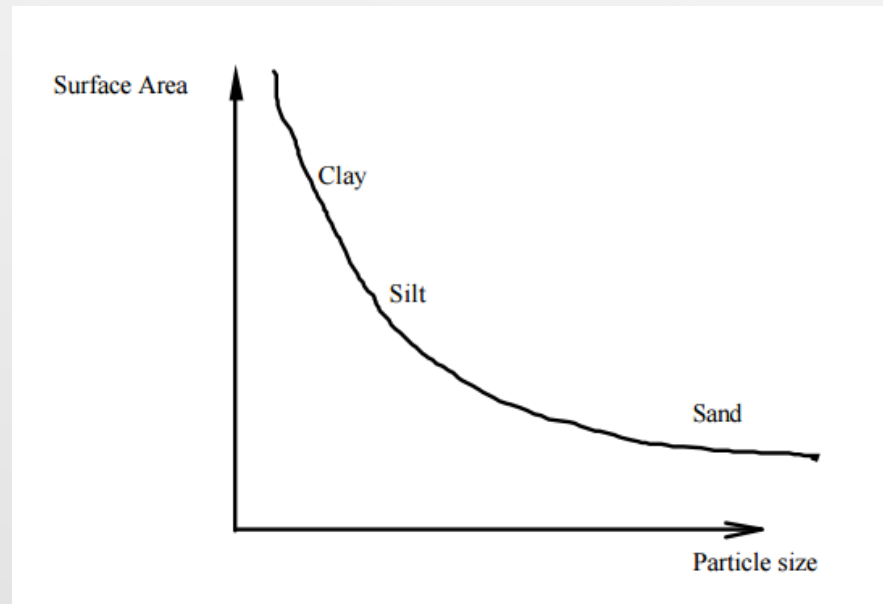
# Superfície específica.

Specific surface area of soil particles

Particle	Effective Diameter (cm)	Mass (g)	Area (cm <sup>2</sup> )	Specific Surface Area (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )
Gravel	$2 \times 10^{-1}$	$1.13 \times 10^{-2}$	$1.3 \times 10^{-1}$	11.1
Sand	$5 \times 10^{-3}$	$1.77 \times 10^{-7}$	$7.9 \times 10^{-5}$	444.4
Silt	$2 \times 10^{-4}$	$1.13 \times 10^{-11}$	$1.3 \times 10^{-7}$	$11.1 \times 10^4$
Clay <sup>a</sup>	$2 \times 10^{-4}$	$8.48 \times 10^{-15}$	$6.3 \times 10^{-8}$	$7.4 \times 10^6$

<sup>a</sup>Thickness =  $10^{-7}$  cm

Hopmans (2002)

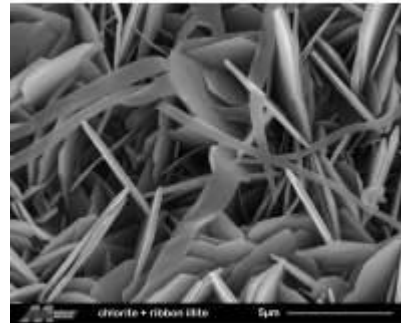




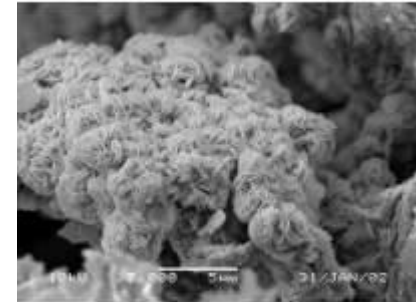
# Argilas



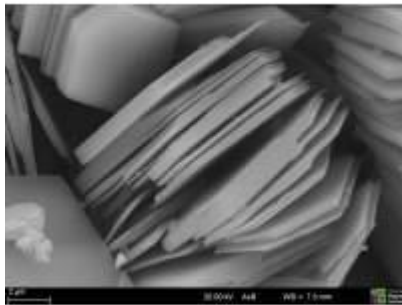
Allophane



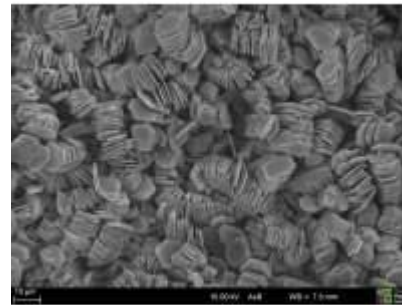
Chlorite + illite



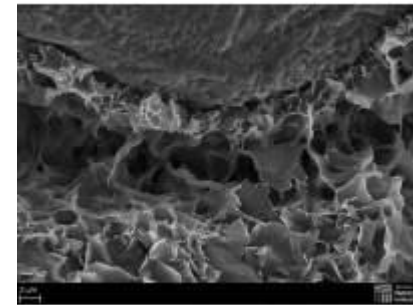
Gibbsite



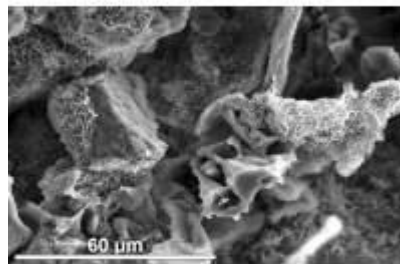
Kaolinite



Kaolinite



Smectite



Smectite, montmorillonite



Vermiculite





**Caulin**



**Bentonita**



**Solo Laterítico**



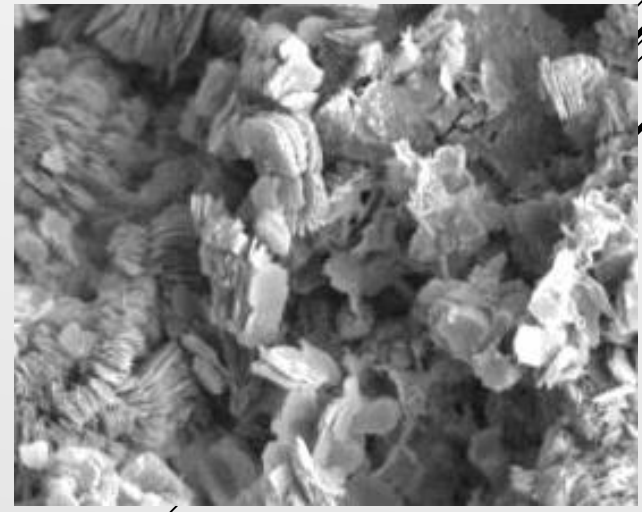
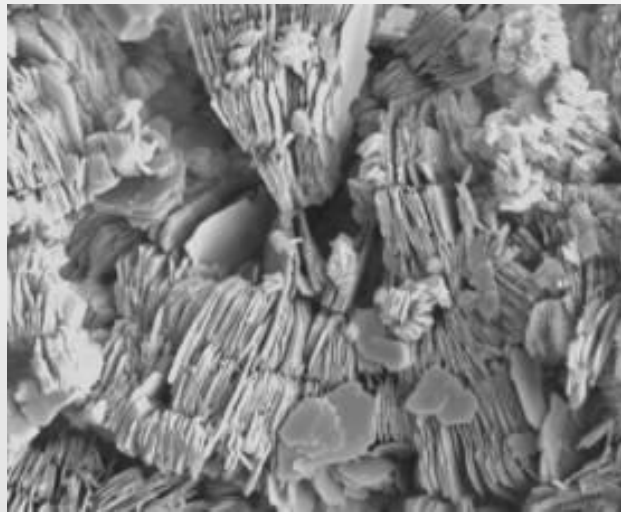
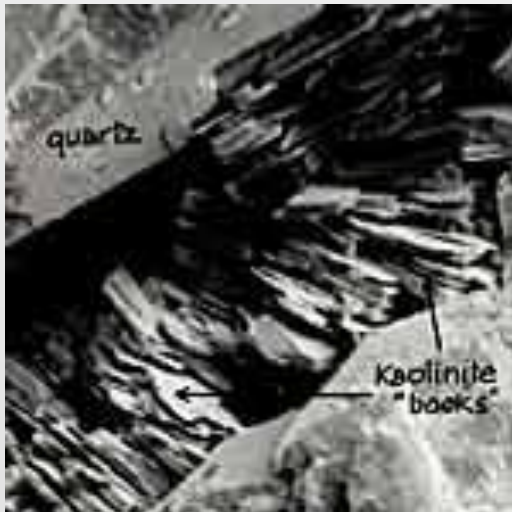
**Solo Residual**



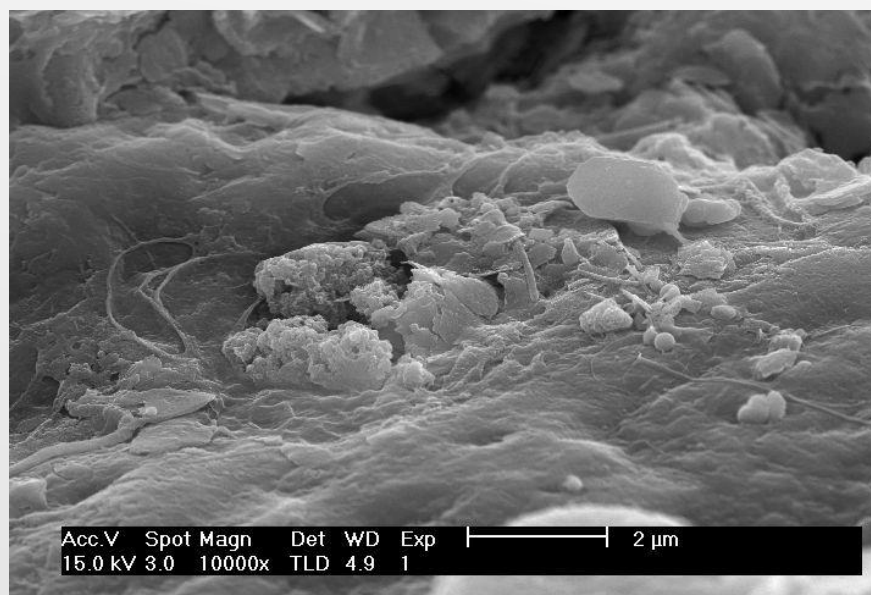
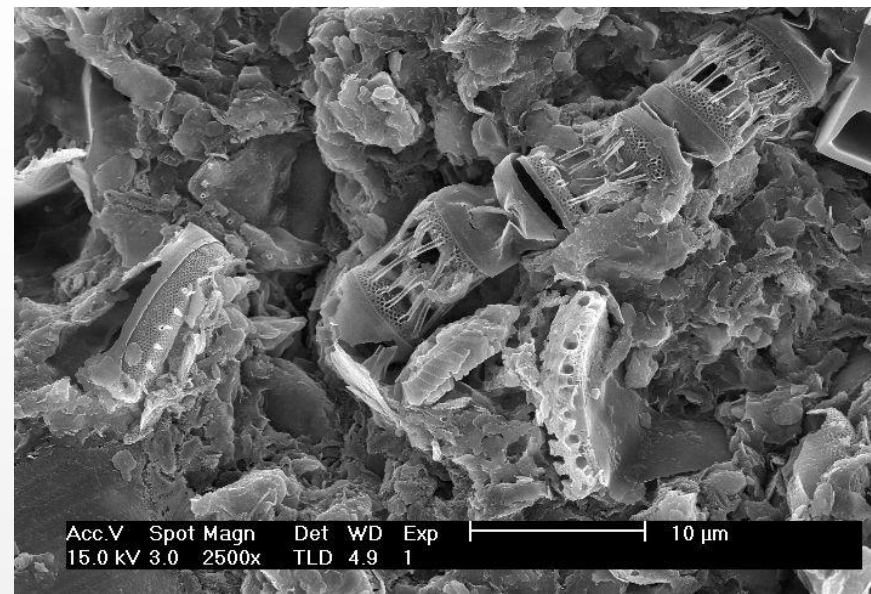
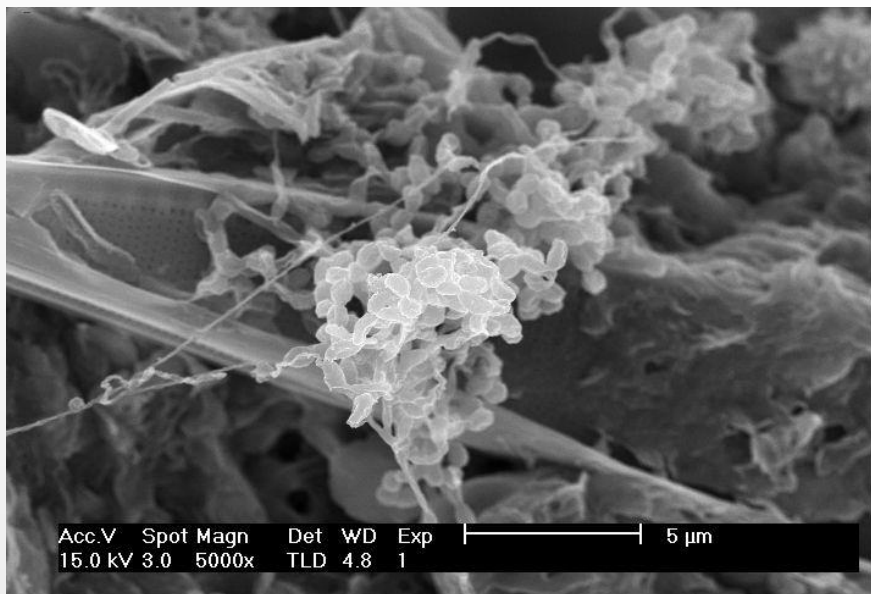
# Tipos de minerais Argila

São três os principais tipos de minerais argila:

- As Caolinitas : Formada pela decomposição de feldspato ortoclase (i.e. granito)
- Ilitas : São os mais comuns. São formados pela decomposição de algumas micas e feldspatos
- Montmorilonita : São do grupo das Esmectitas. São formados pela alteração de rochas ígneas básicas contendo silicatos ricos em Ca e Mg. São potencialmente expansivos.



# Material de um estuário

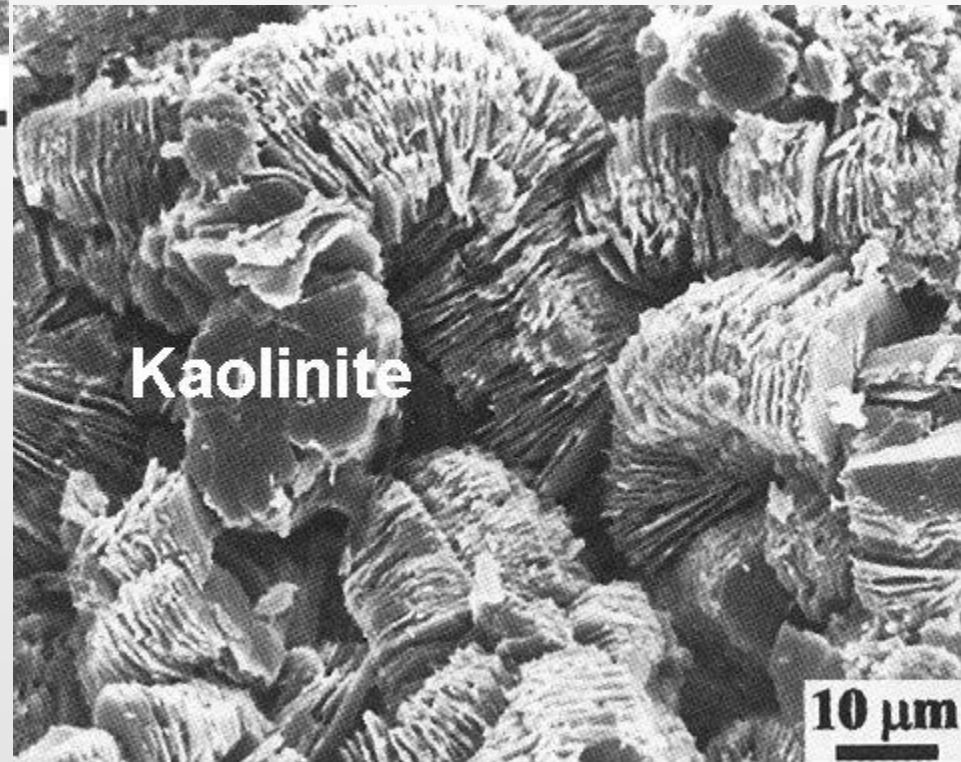




Quartz

Chlorite

10  $\mu\text{m}$

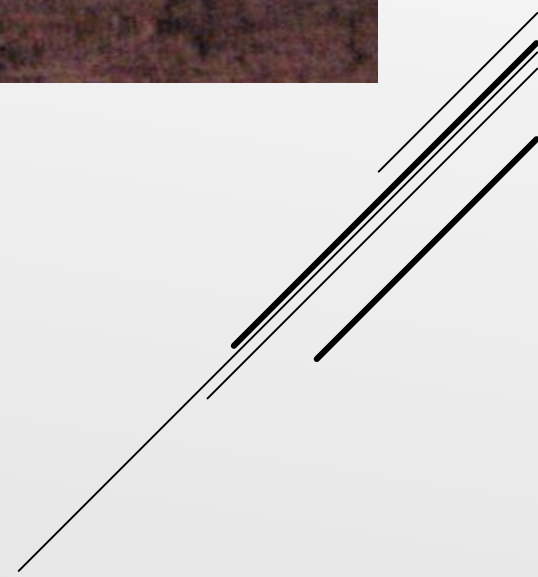


Kaolinite

10  $\mu\text{m}$



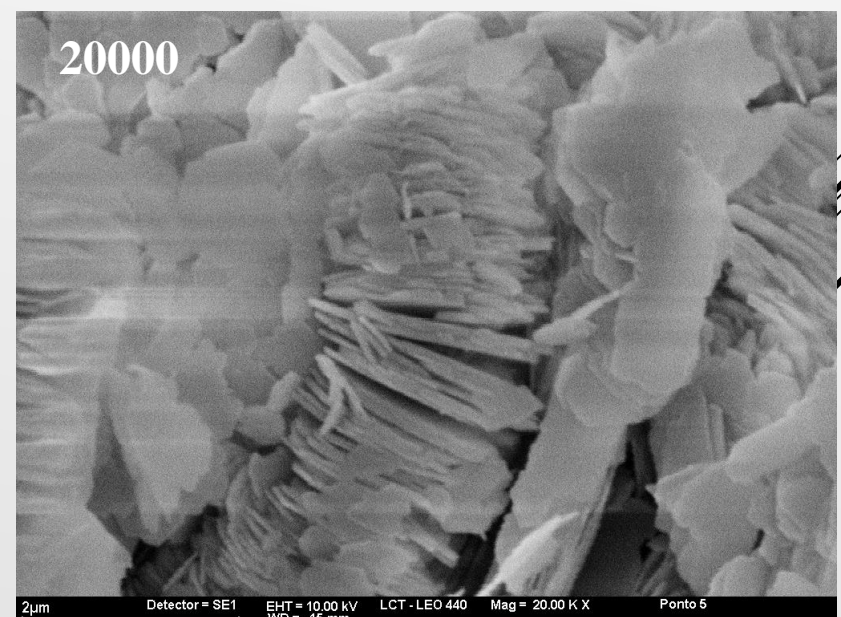
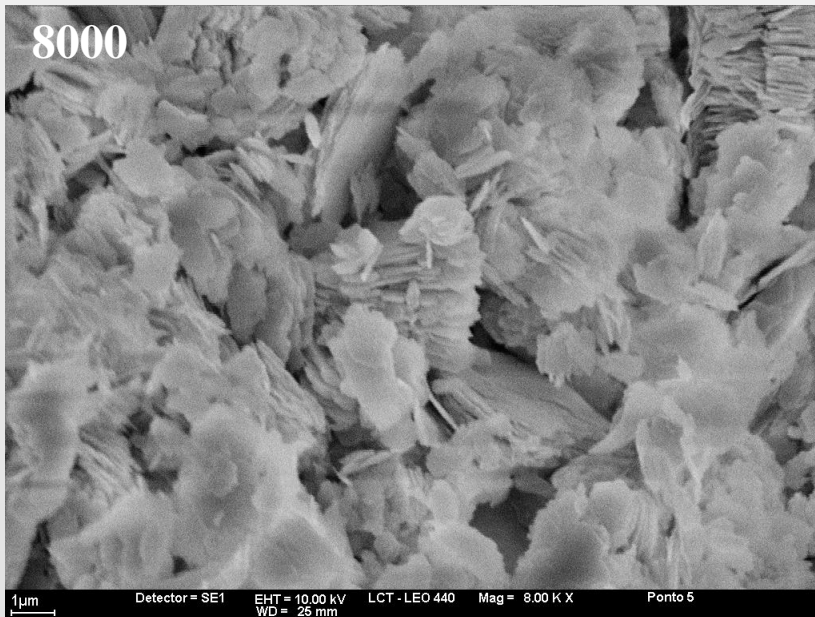
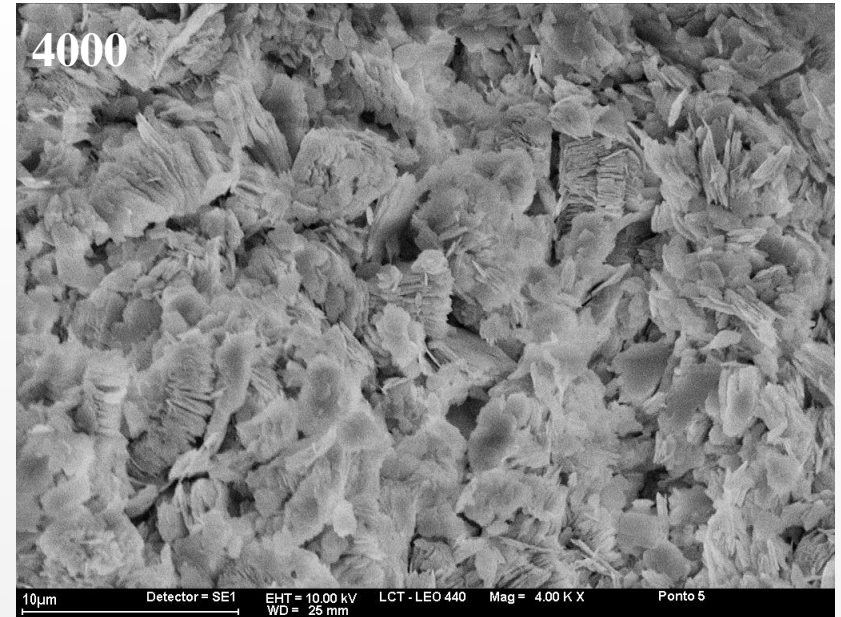
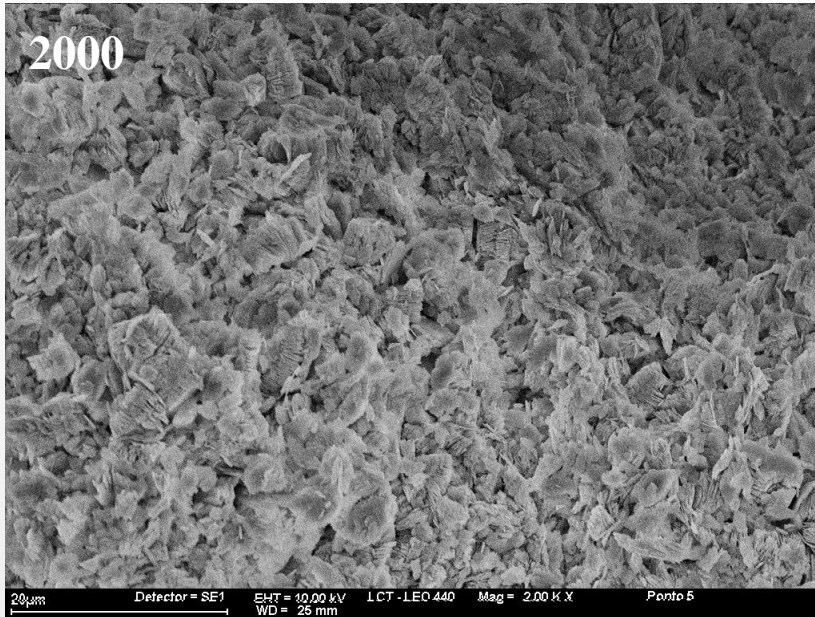
**Solo Residual - compactado**





# Solo Residual de Gnaise - compactado

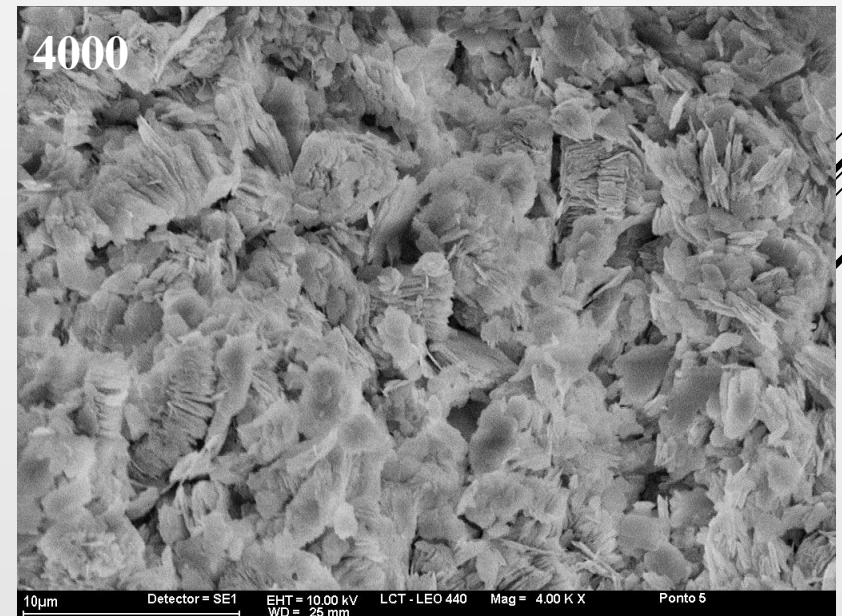
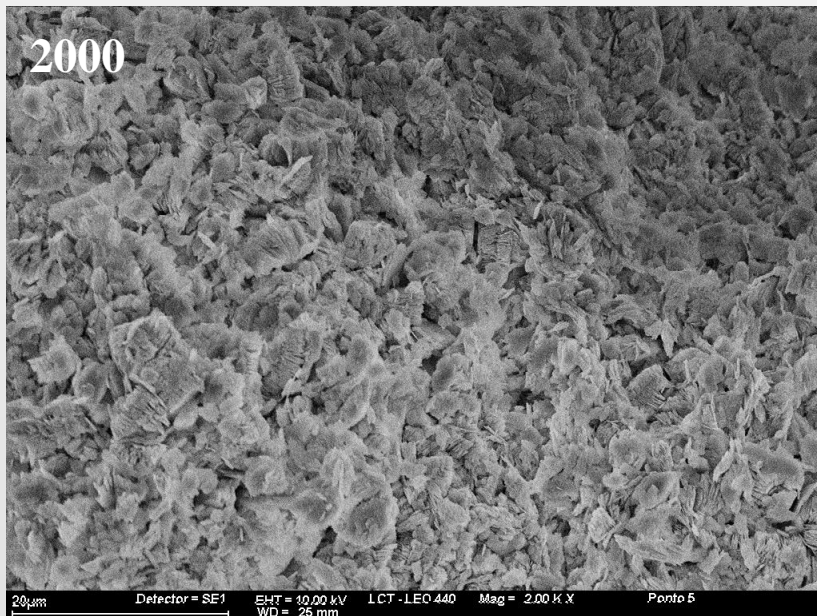
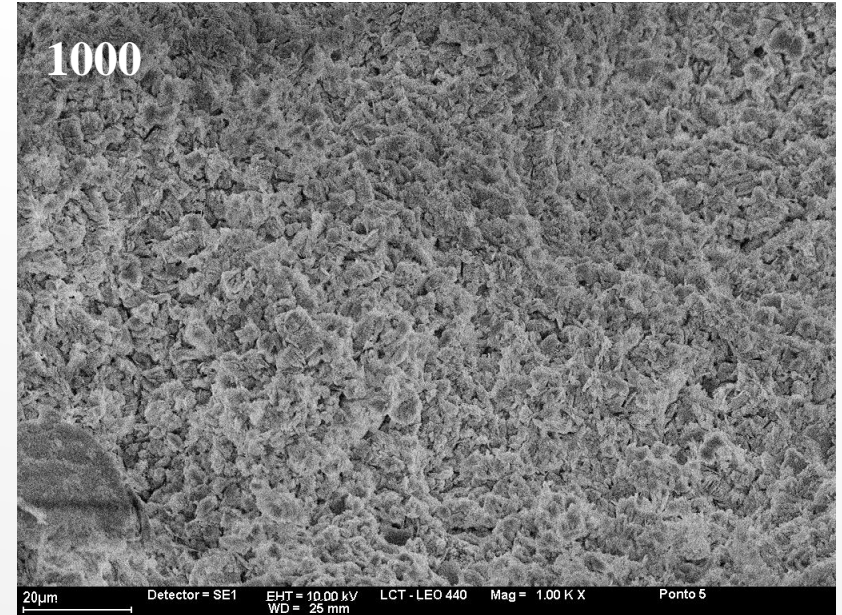
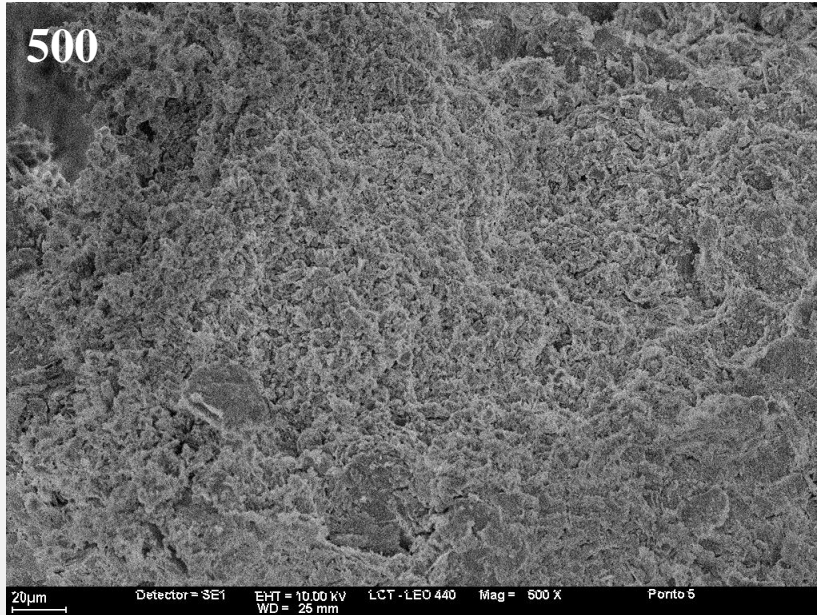
# Microscopia Eletrônica





# Solo Residual de Gnaiss - compactado

# Microscopia Eletrônica







**Solo Residual**



**Solo Residual**

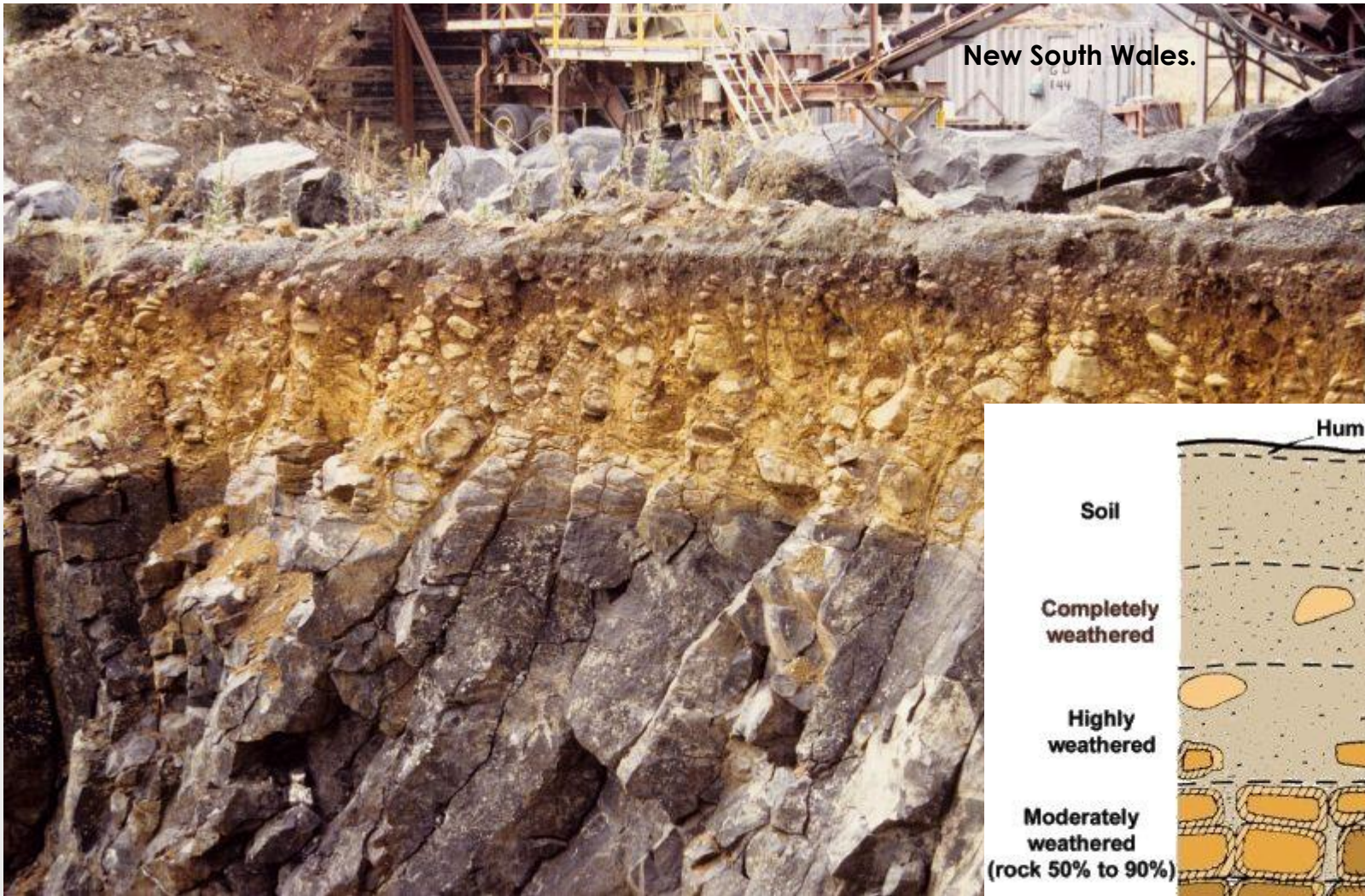


**Turfa – Solo orgânico**

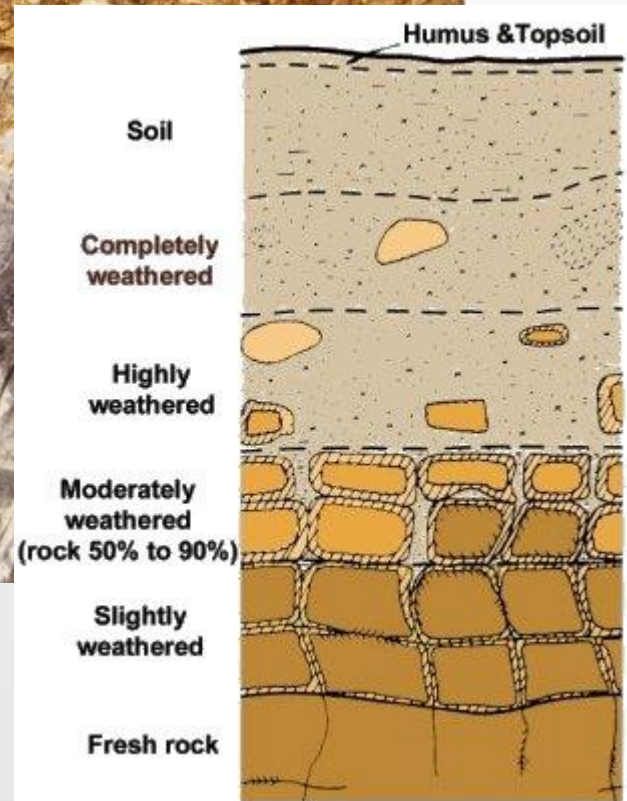




New South Wales.

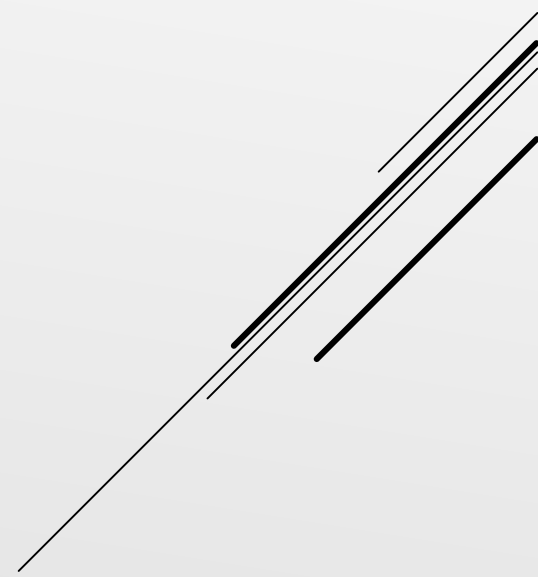


[http://crcleme.org.au/Educ/rgg/4-mt\\_oberon/index.html](http://crcleme.org.au/Educ/rgg/4-mt_oberon/index.html)

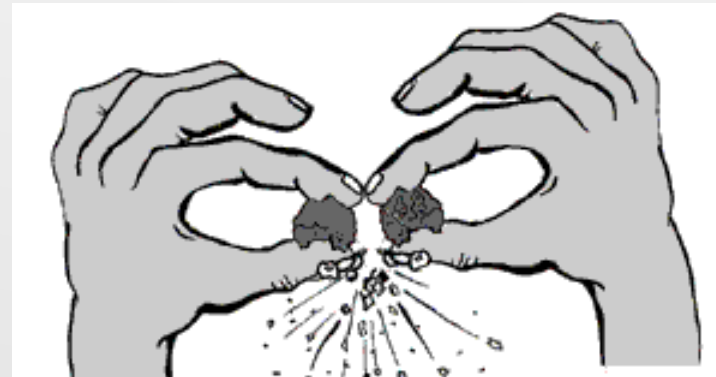
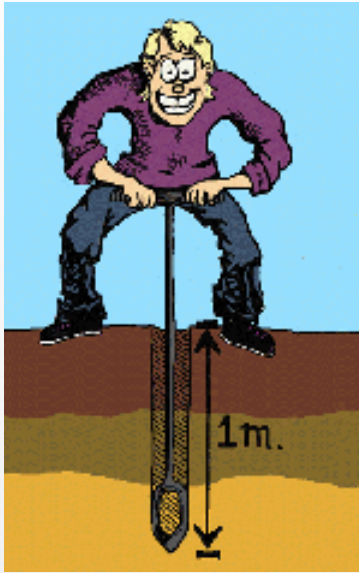


Little (1969)

# Análise Tátil Visual



# Análise Tátil Visual





# Análise Tátil Visual



**Solo solto**



**Solo friável**



**Solo firme**

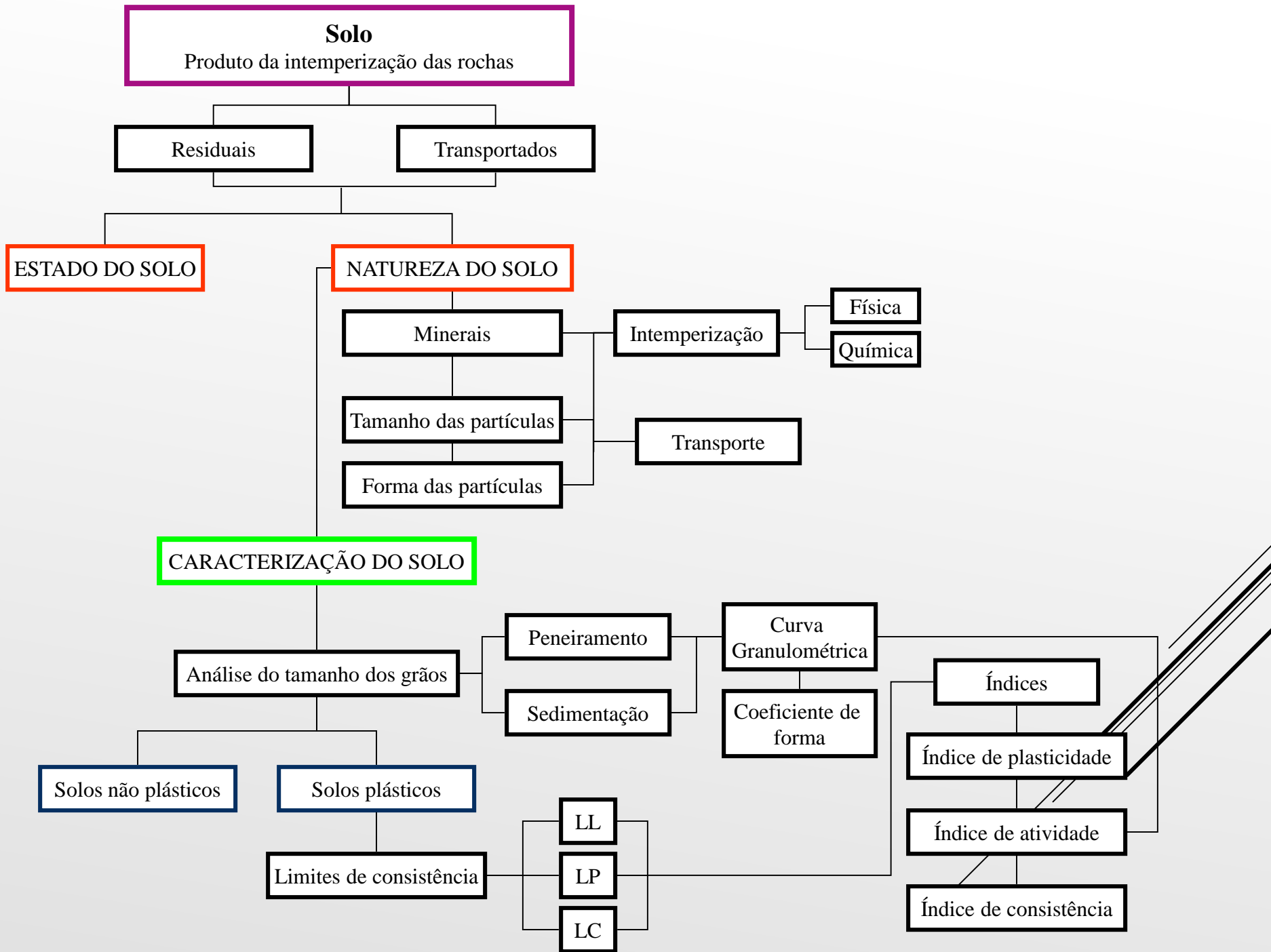


**Solo extremamente firme**



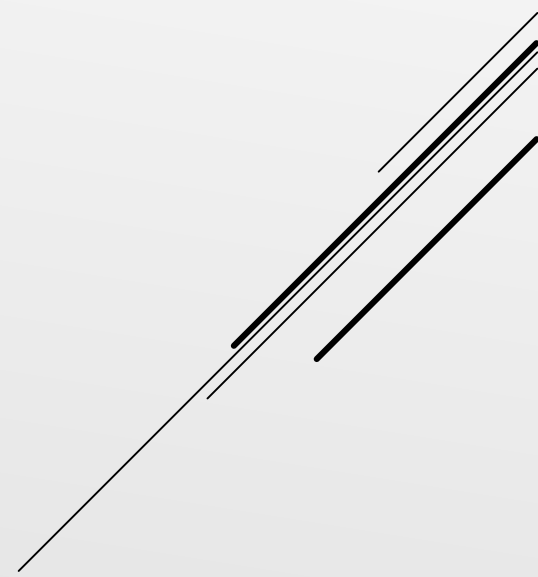
# Amostragem para Caracterização



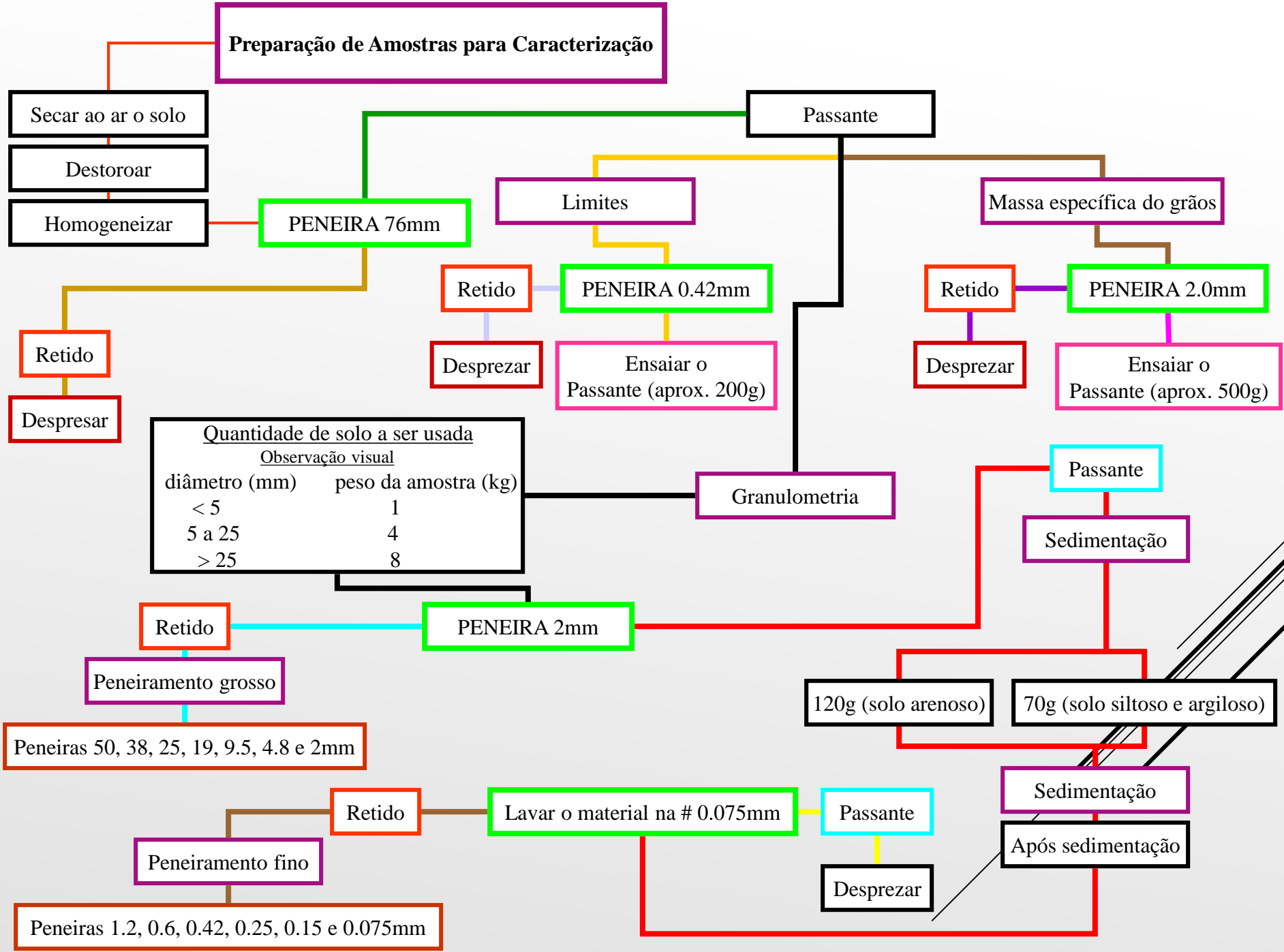




# Caracterização dos solos





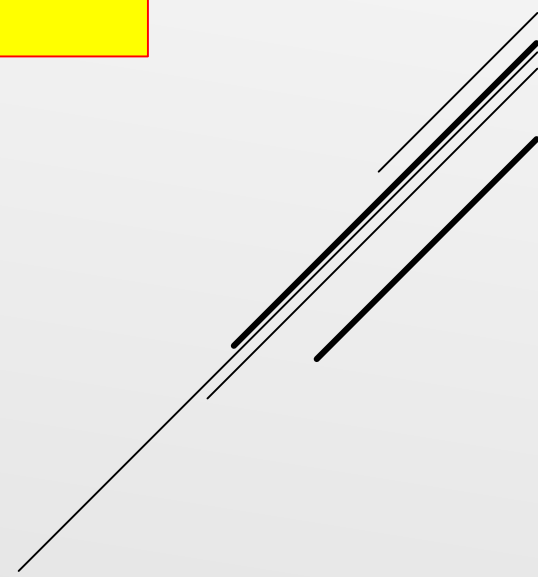


# Classificação em relação ao tamanho dos grãos

Areia – 2,0 a 0,05 mm

Silte – 0,05 a 0,002 mm

Argila -  $< 0,002$  mm



# Determinação da Distribuição Granulométrica



Peneiramento



# Determinação da Distribuição Granulométrica

Lei de Stokes

$$v_g = \frac{d^2(\rho_s - \rho_w)}{18\eta}$$

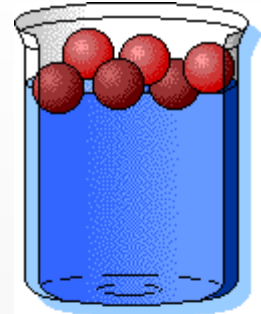
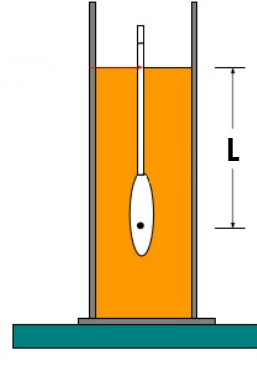


$$D(mm) = K \sqrt{\frac{L(cm)}{t(min)}}$$

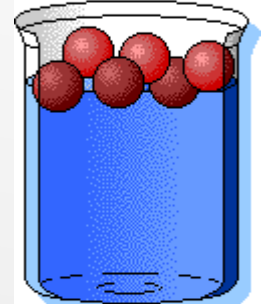
$$v_g = \frac{L}{t}$$

Viscosidade da água

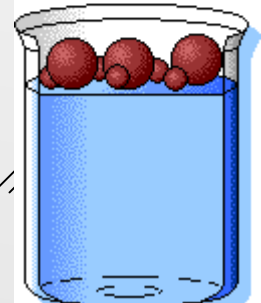
$$K = \sqrt{\frac{30\eta}{(G_s - 1)}}$$



High Liquid  
Viscosity



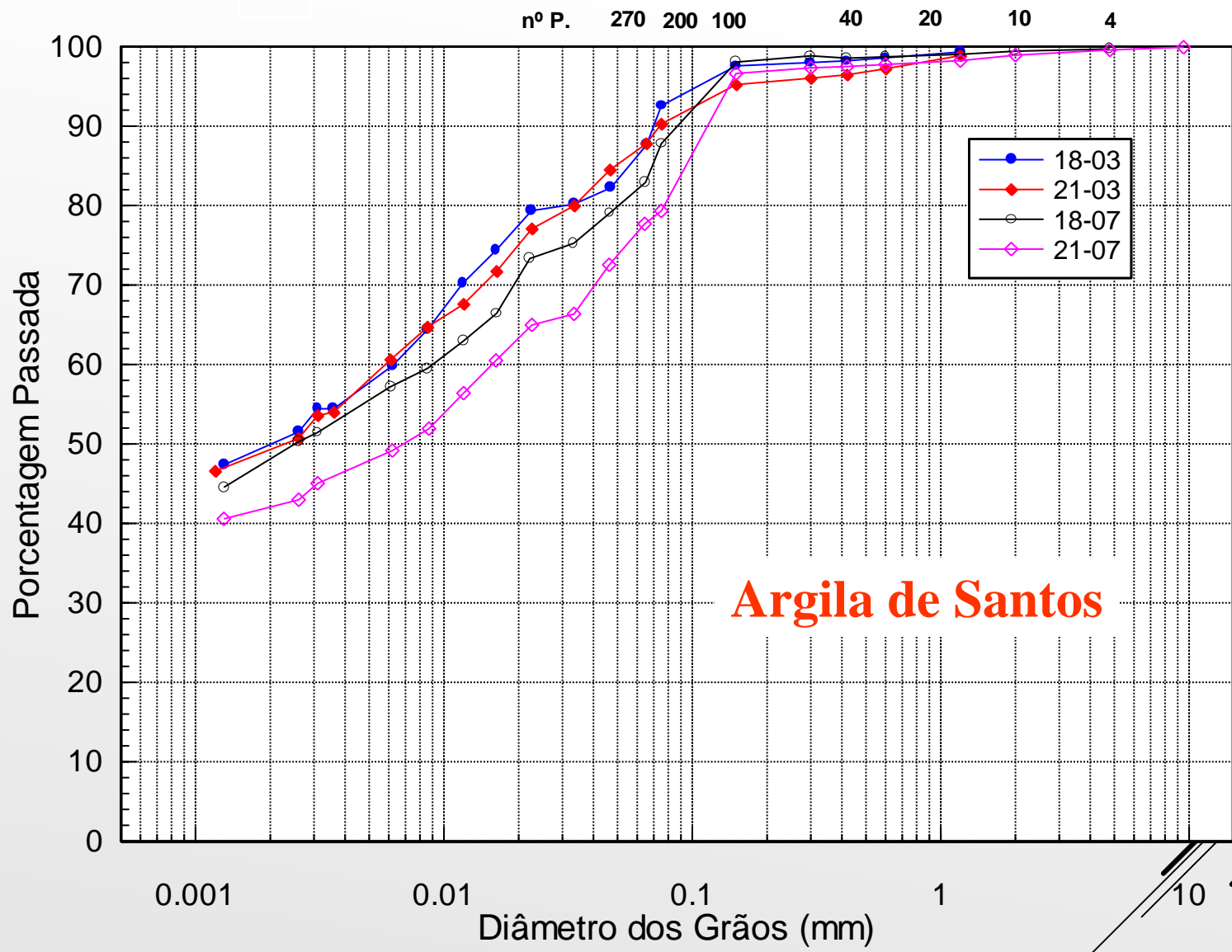
Particle Density  
Low Liquid  
Viscosity



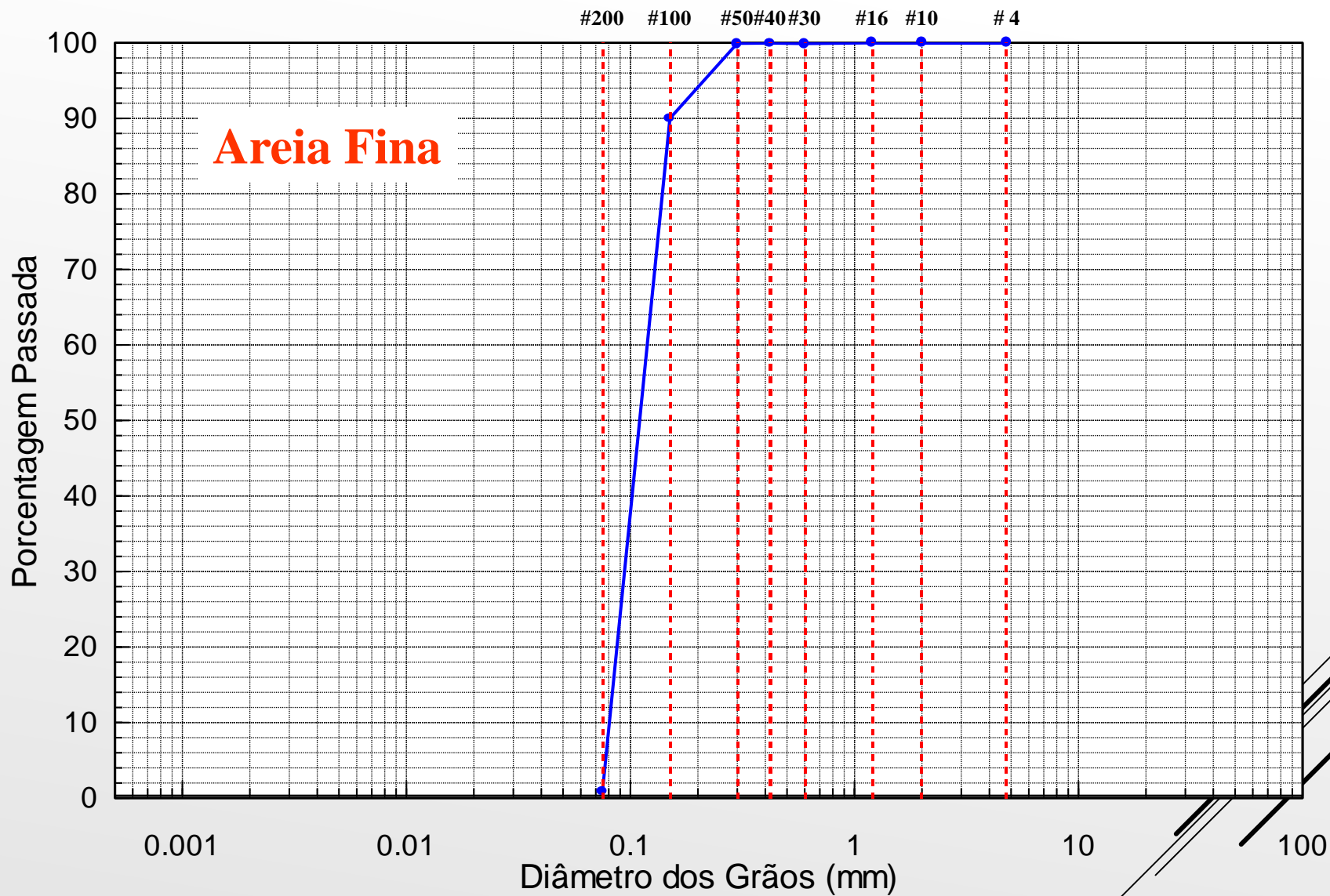
Particle Size



Sedimentação

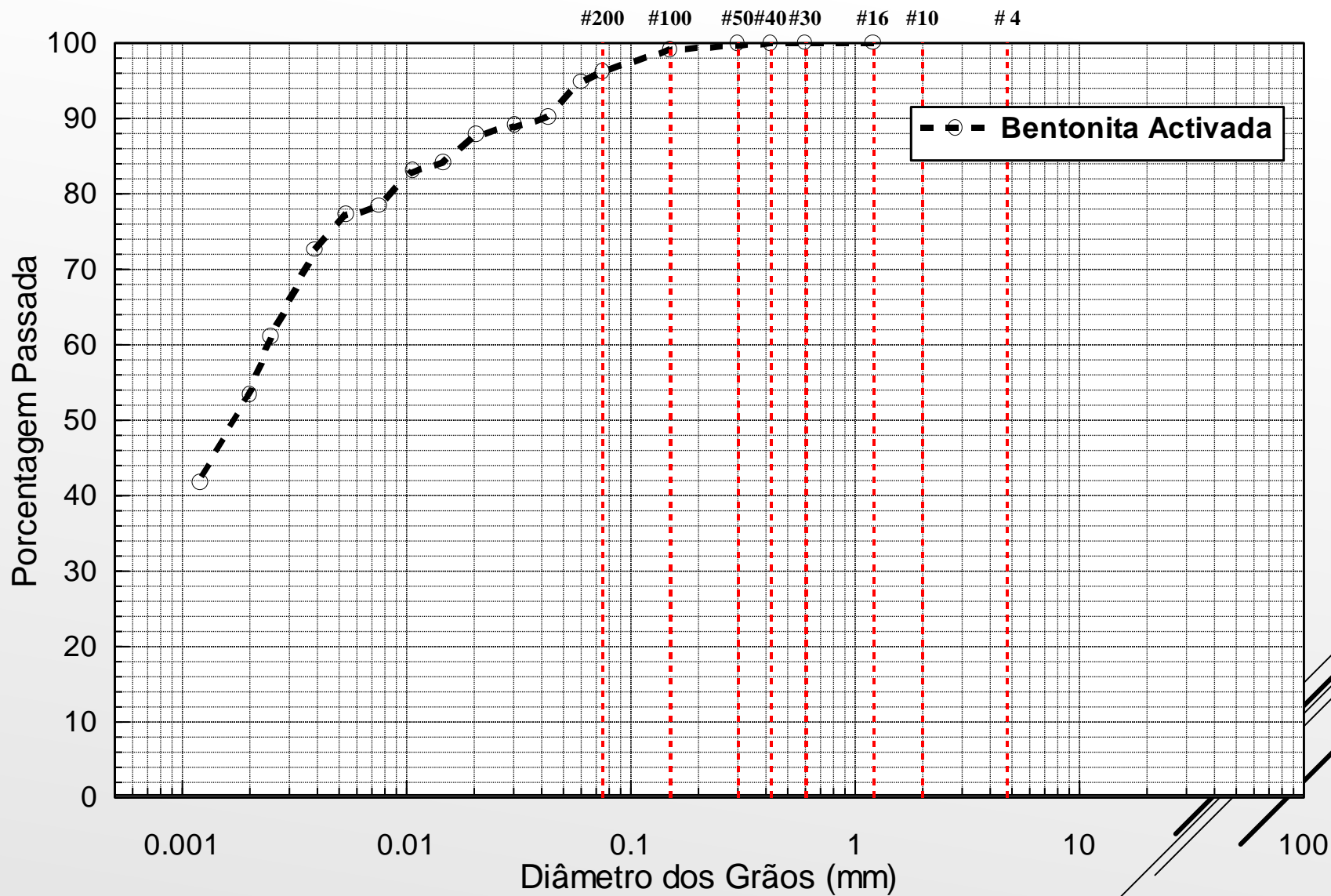


Argila	Silte	Areia Fina	Areia Média	A.grossa	Pedregulho
--------	-------	------------	-------------	----------	------------

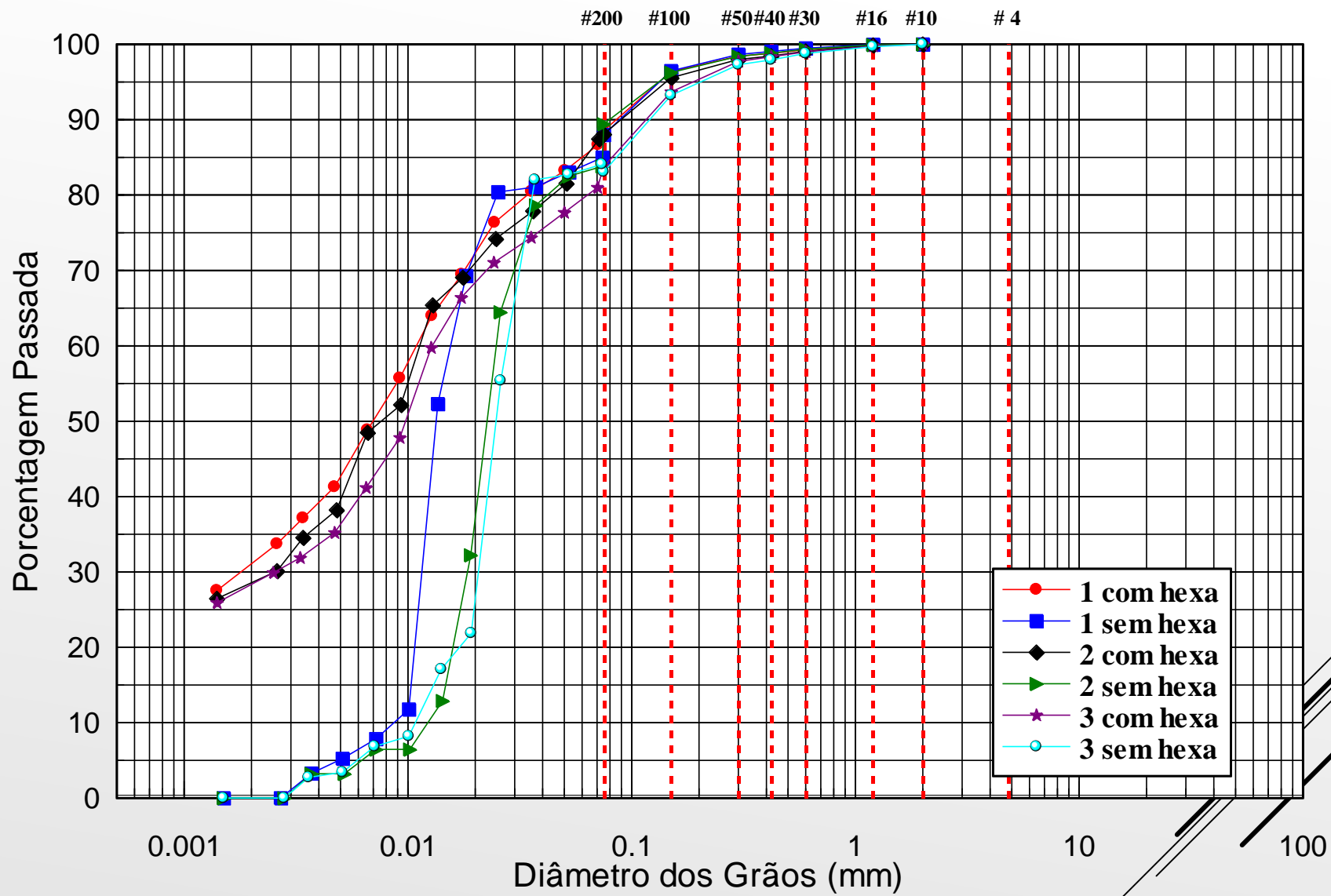


argila	silte	areia fina	areia média	a. grossa	pedregulho
--------	-------	------------	-------------	-----------	------------

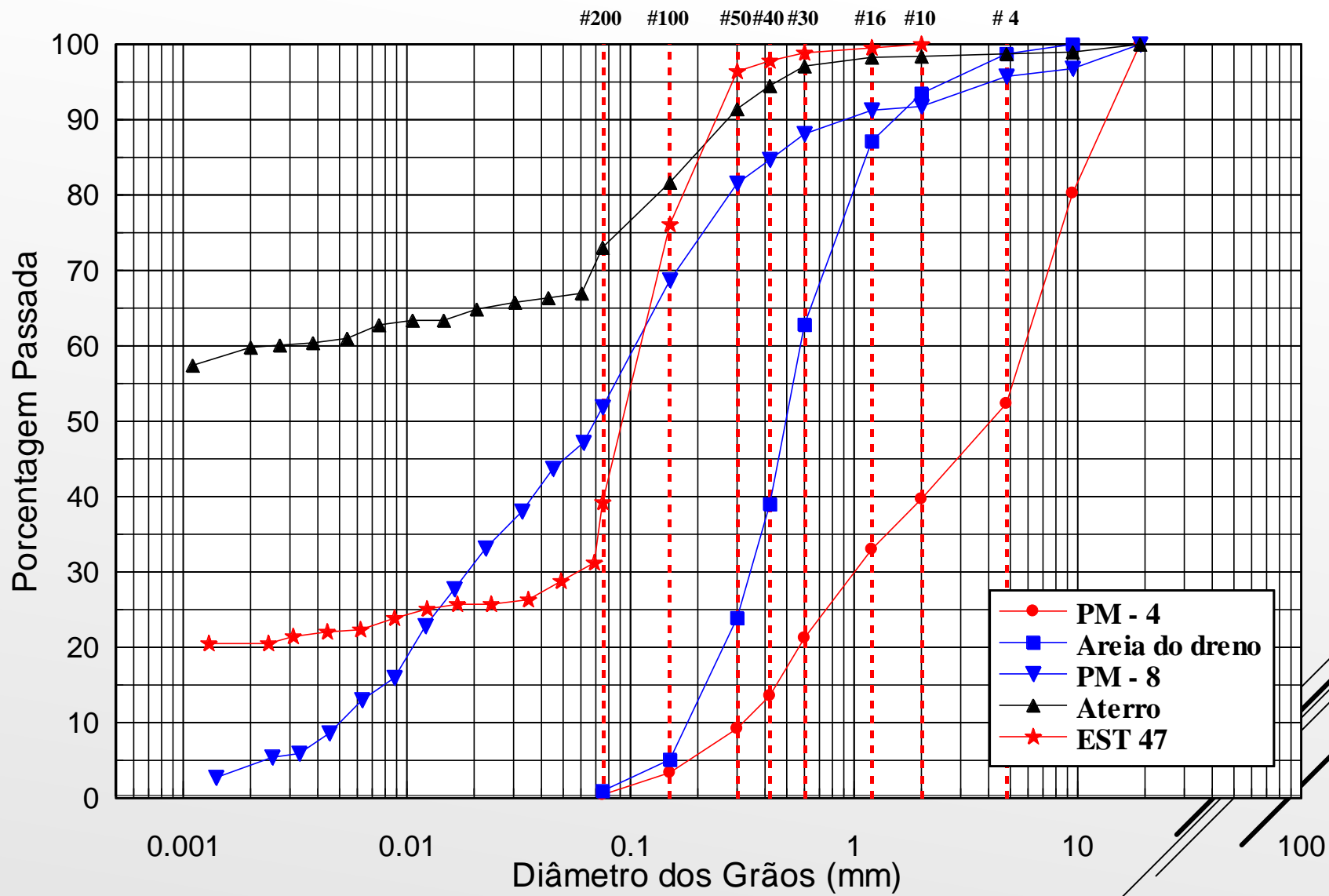




argila	silte	areia fina	areia média	a. grossa	pedregulho
--------	-------	------------	-------------	-----------	------------



argila	silte	areia fina	areia média	a. grossa	pedregulho
--------	-------	------------	-------------	-----------	------------



argila	silte	areia fina	areia média	a. grossa	pedregulho
--------	-------	------------	-------------	-----------	------------



# Sistema Solo-Água

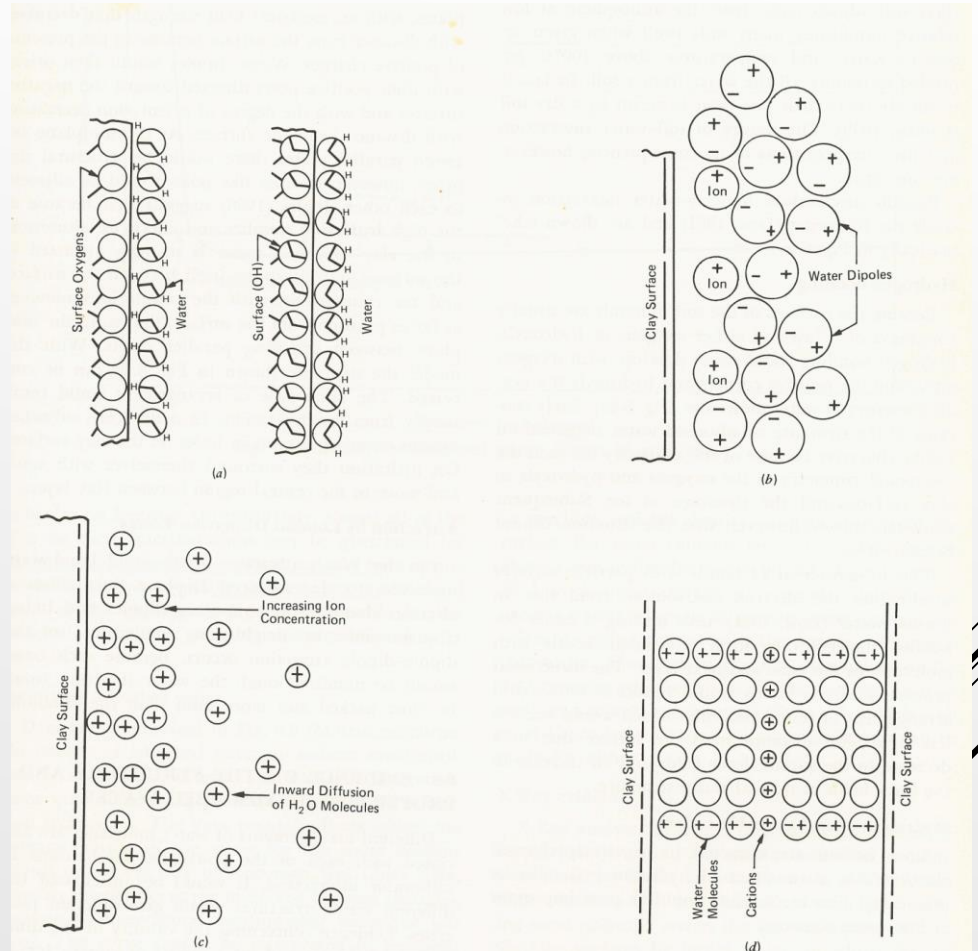
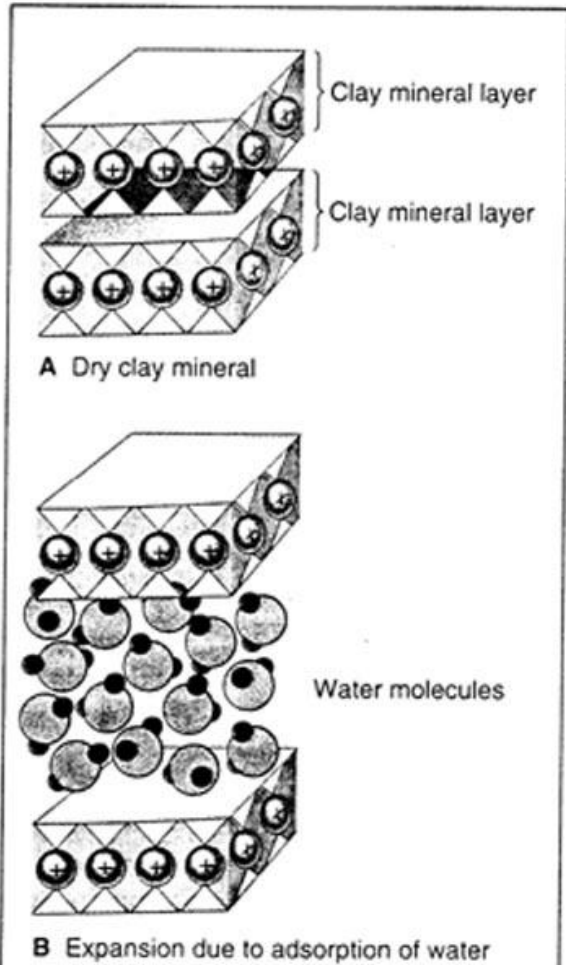
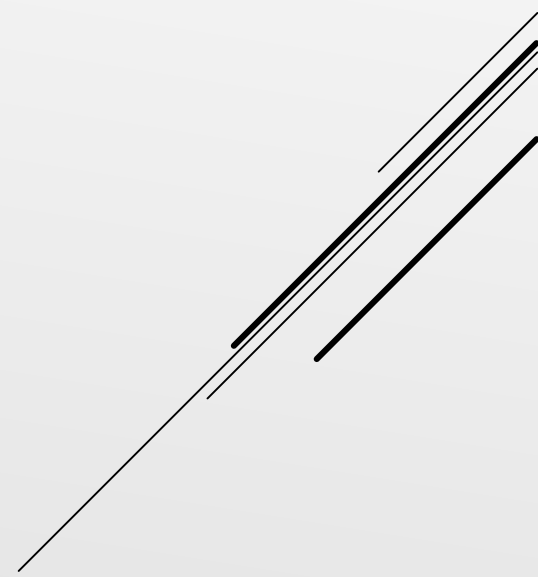
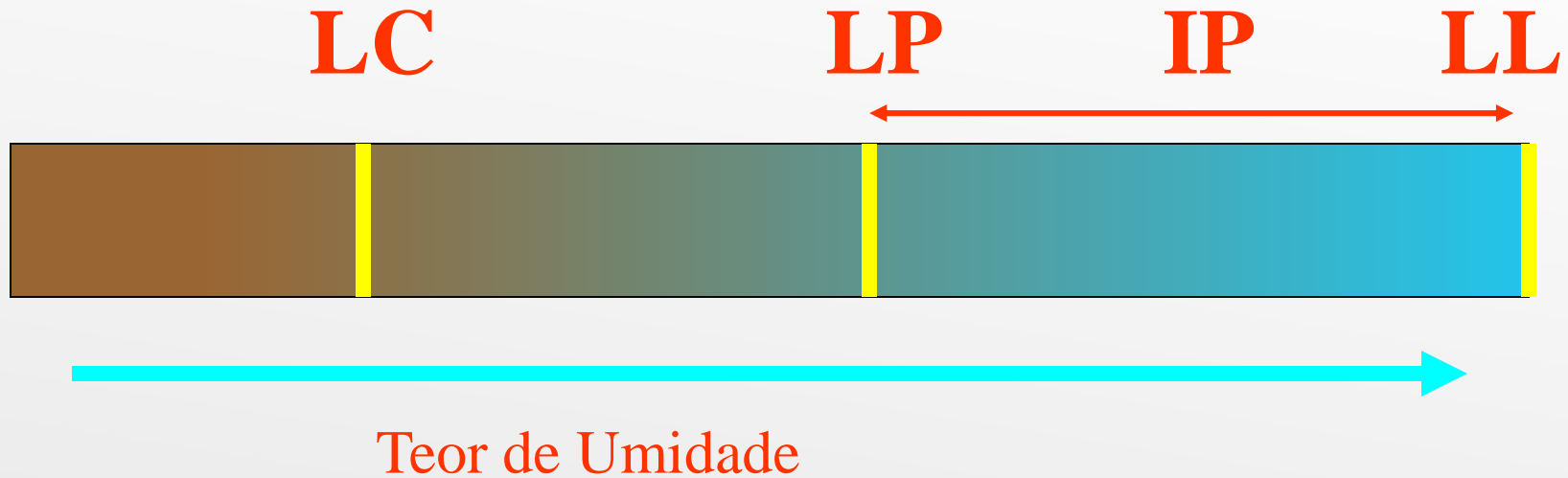


Fig. 6.4 Possible mechanisms of water adsorption by clay surfaces. (a) Hydrogen bonding. (b) Ion hydration. (c) Attraction by osmosis. (d) Dipole attraction.

# **Limites de Consistência (Limites de Atterberg)**

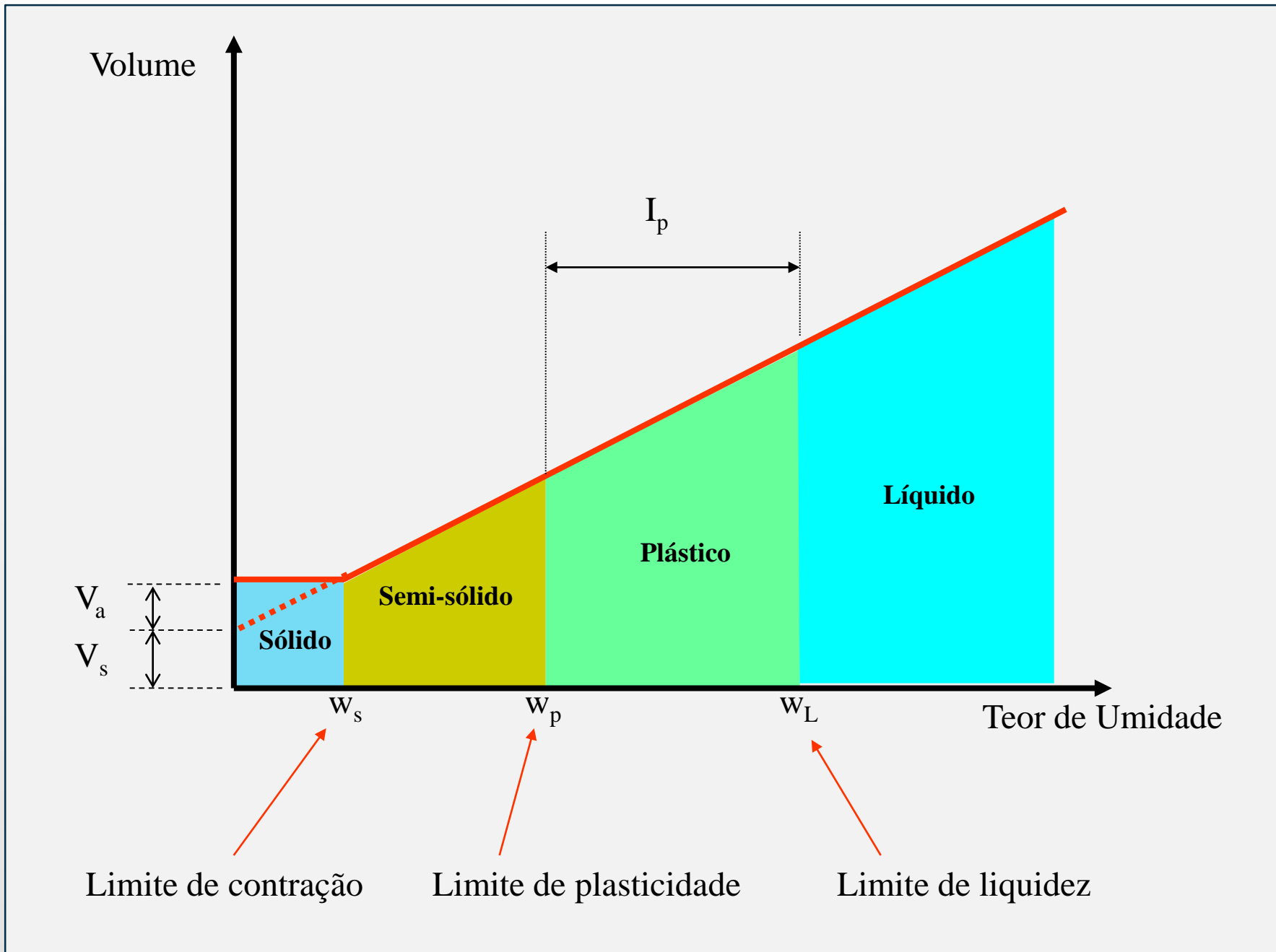


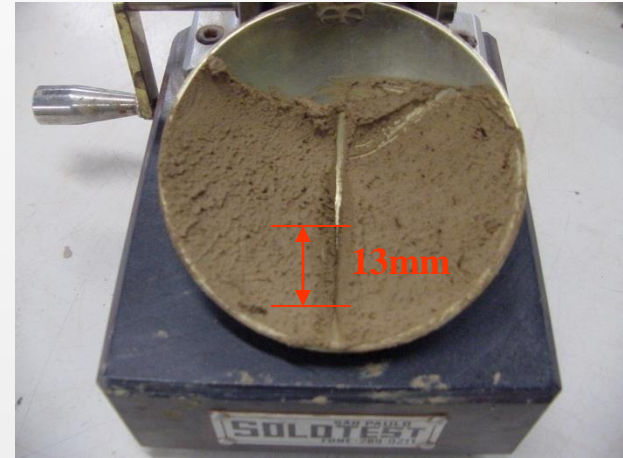
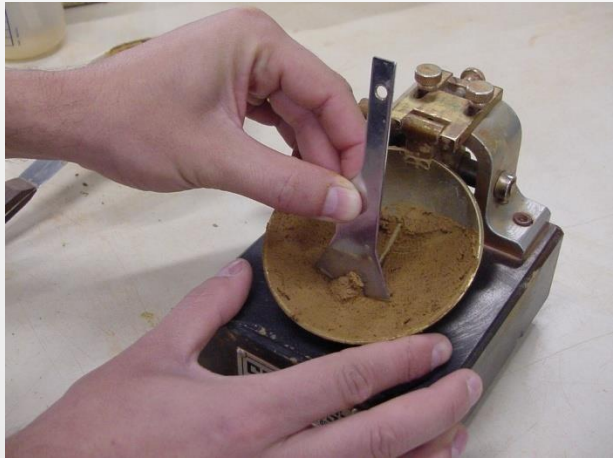
# Limites de Consistências



**LL** – limite de liquidez  
**LP** – Limite de plasticidade  
**LC** – Limite de contração  
**IP** – Índice de Plasticidade



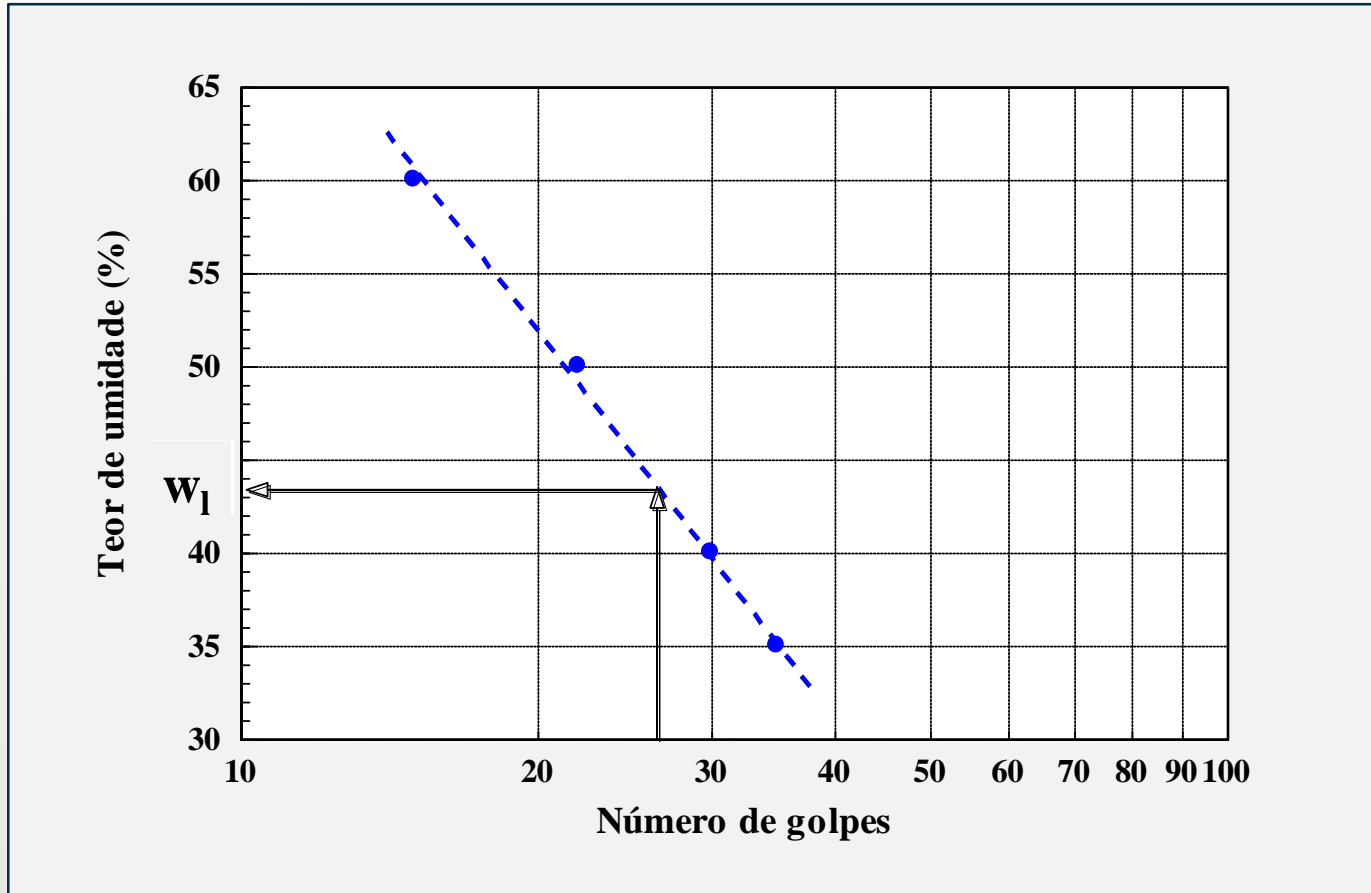




Ensaio de Limite de Liquidez  
(Aparelho de Casagrande)



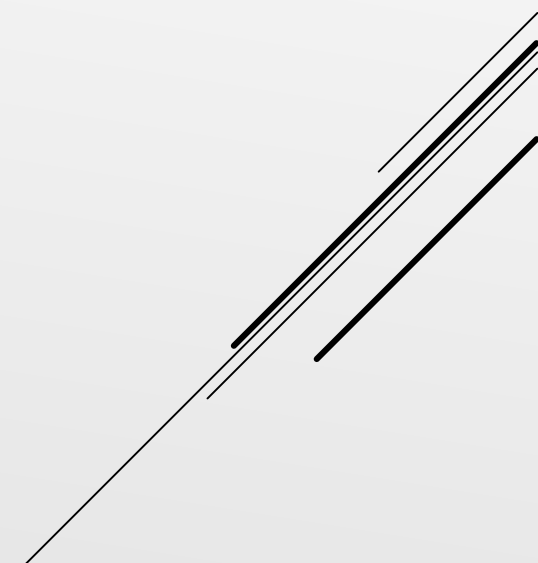
# Limite de Liquidez



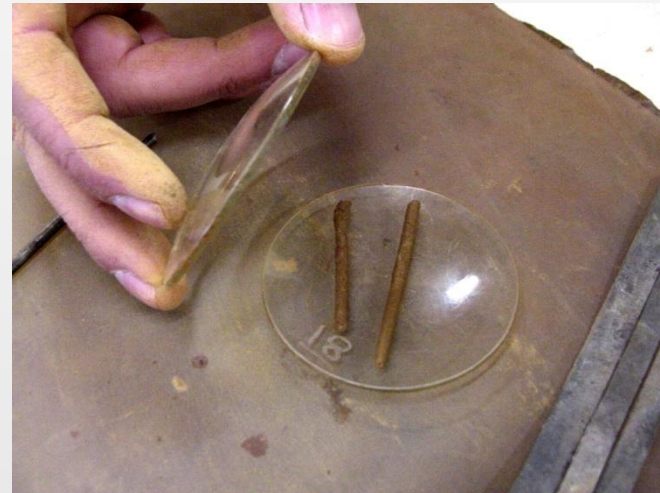
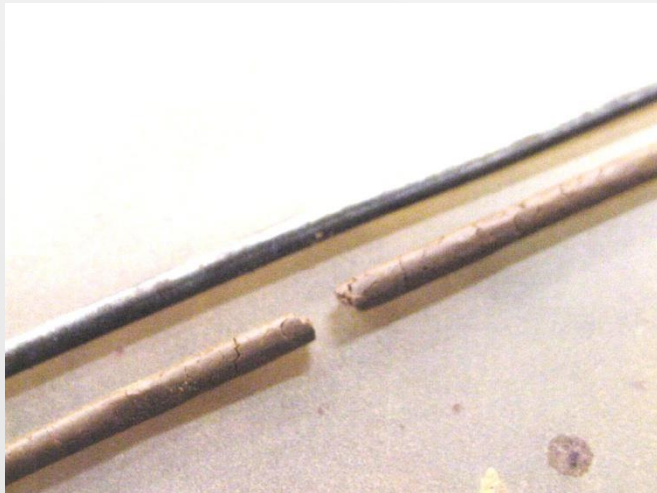
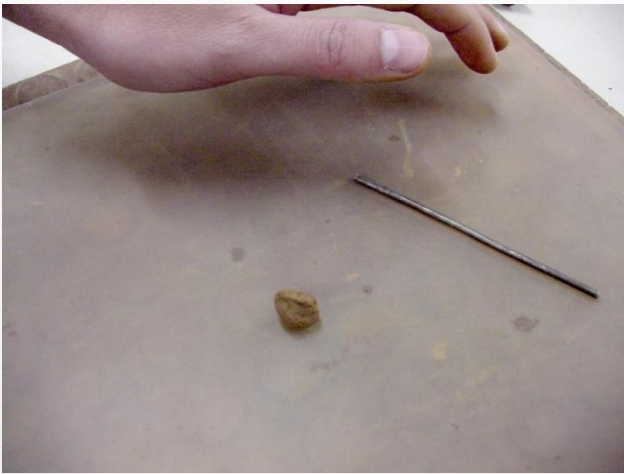
**$W_1 = \text{Limite de liquidez} = LL$**



# Limite de Liquidez (cone)

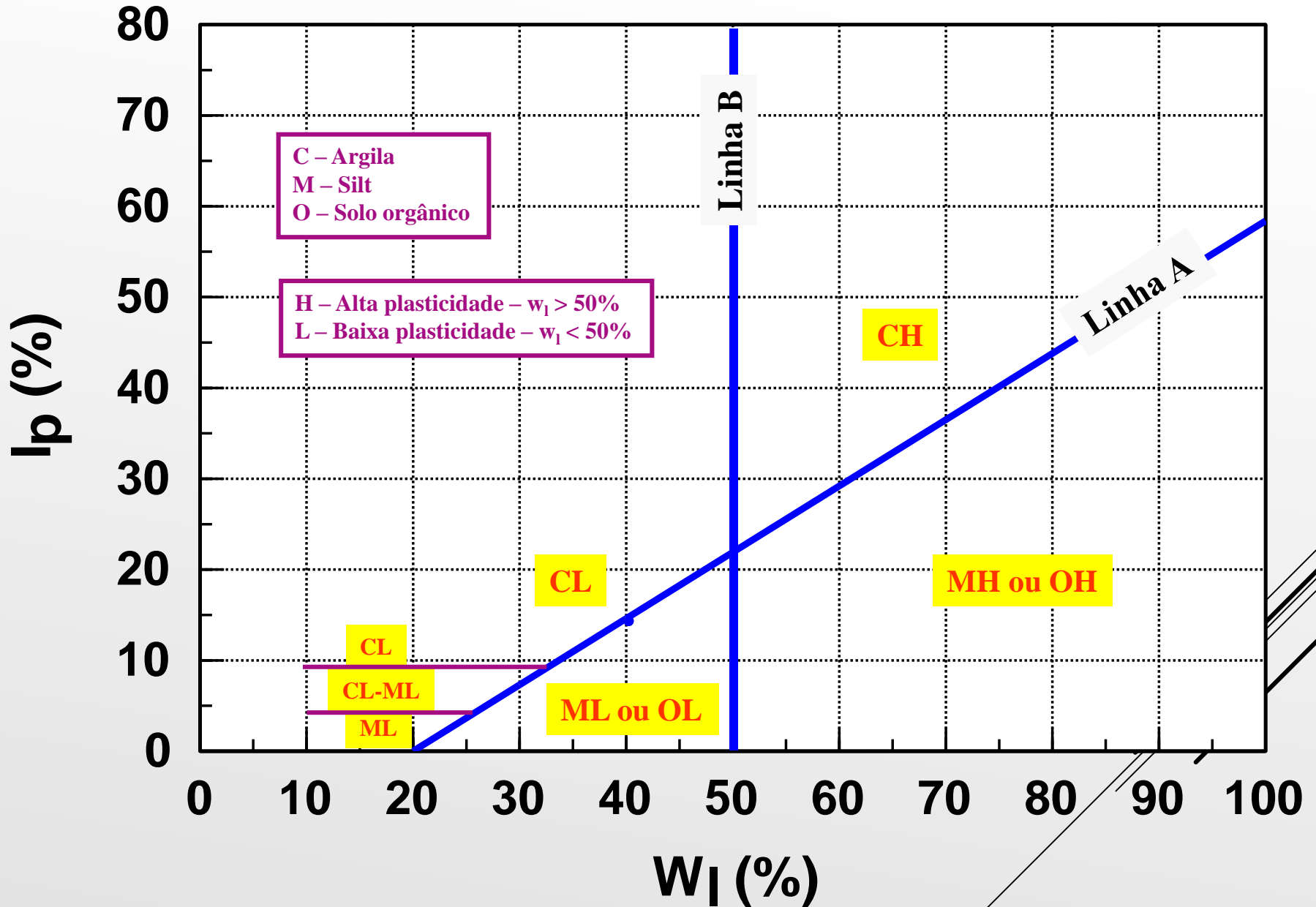


# Limite de Plasticidade



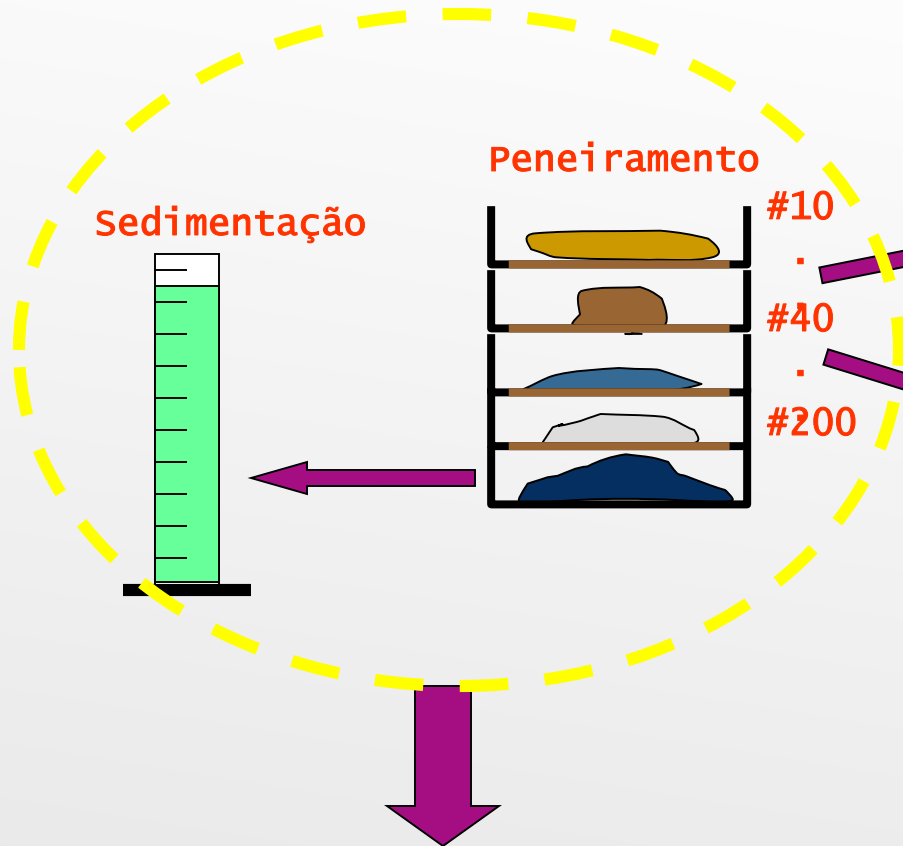
**LP = média de três teores de umidades**

# Carta de Plasticidade





# Ensaio de Caracterização



Densidade dos grãos



Aparelho de Casagrande (limite de liquidez)



Limite de plasticidade



Análise granulométrica

