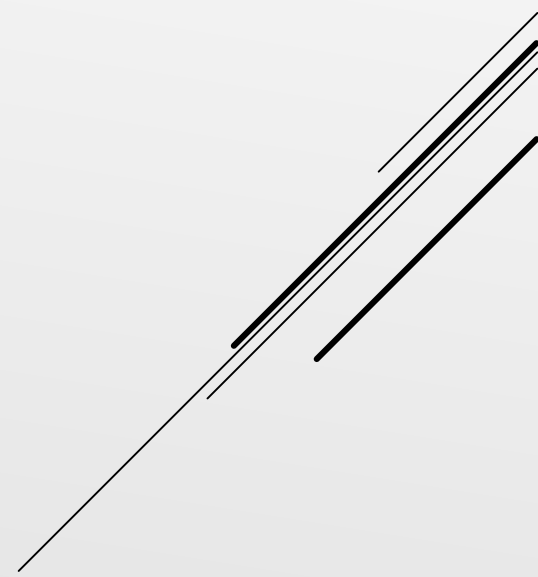
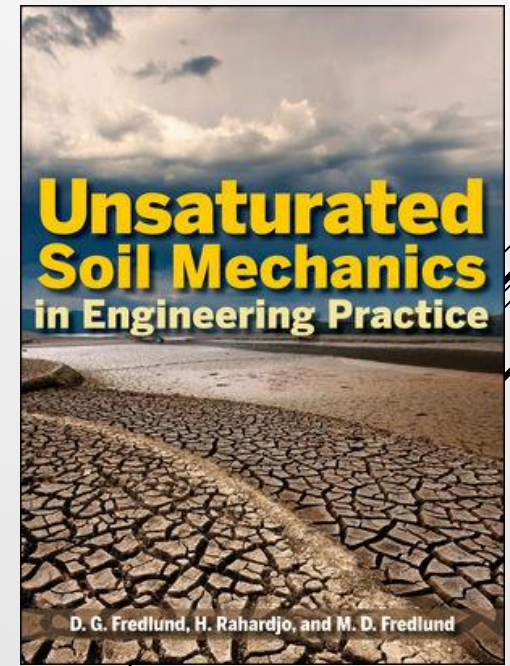
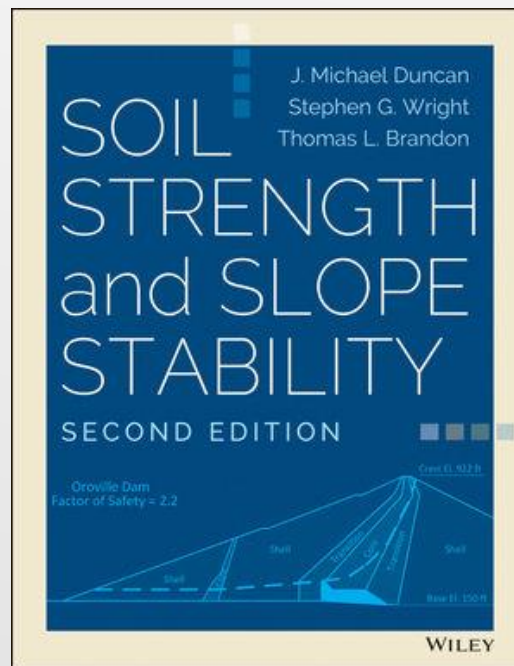
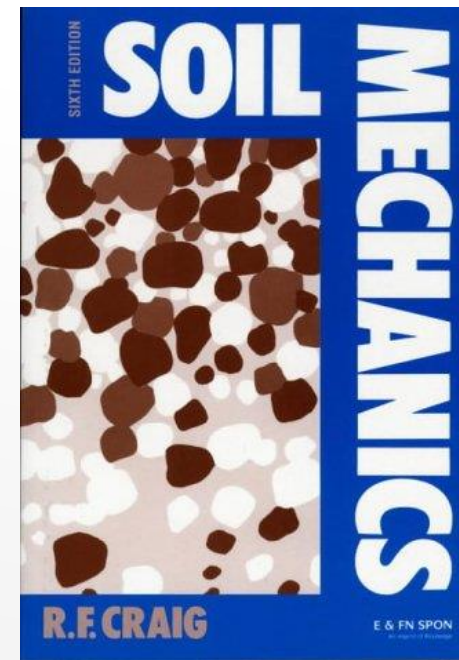
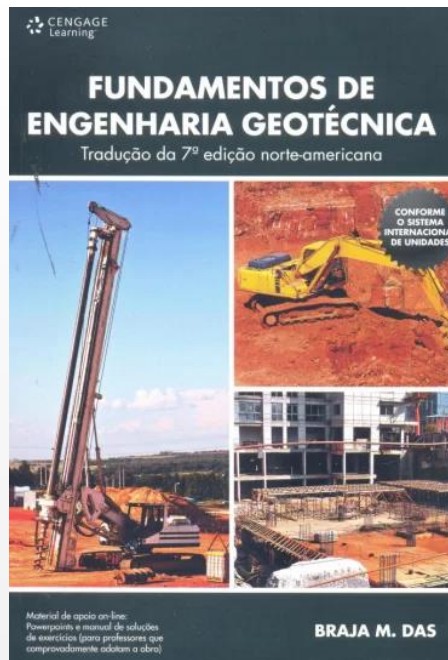
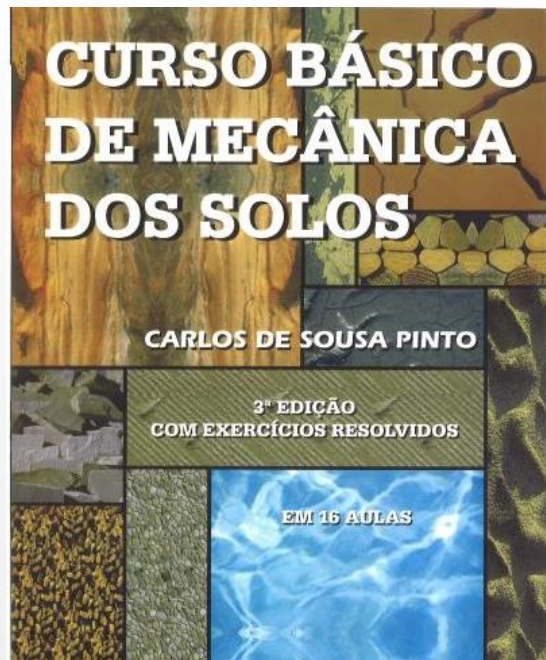


Mecânica dos Solos

Natureza e Estado dos Solos

Prof. Fernando A. M. Marinho
2016





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

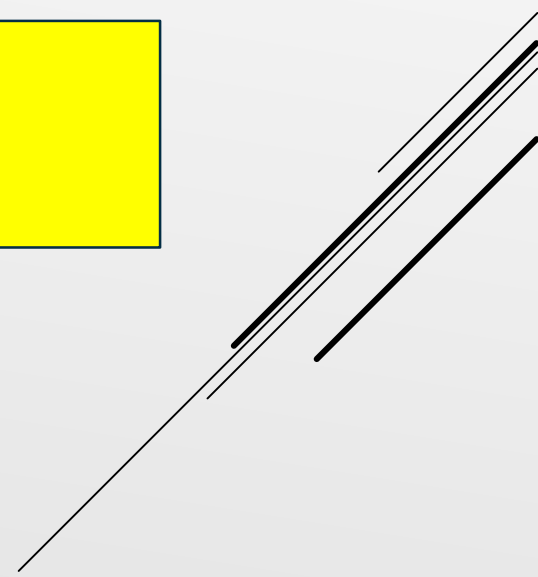
Natureza dos
Solos

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

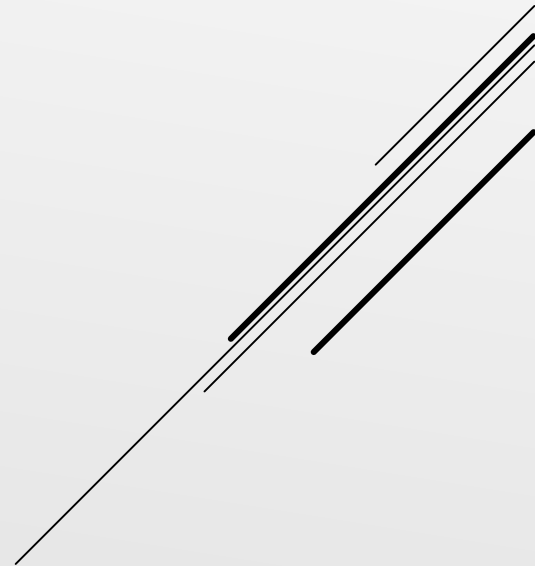
Estado dos Solos

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

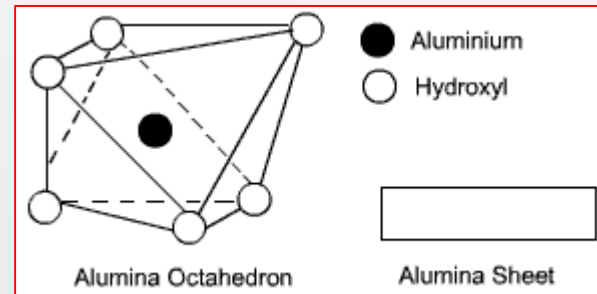
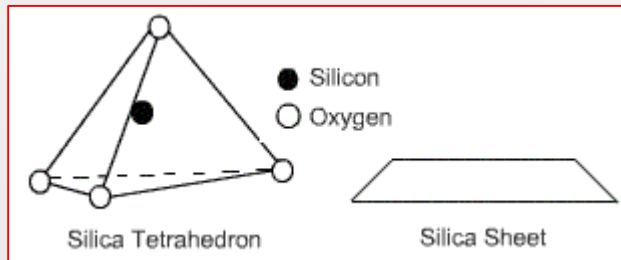
O que são minerais

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.

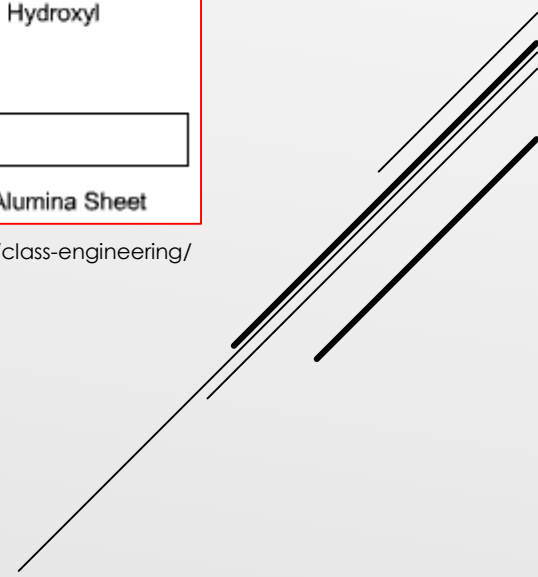


Quartzo é o mineral não argiloso mais encontrado nos solos.

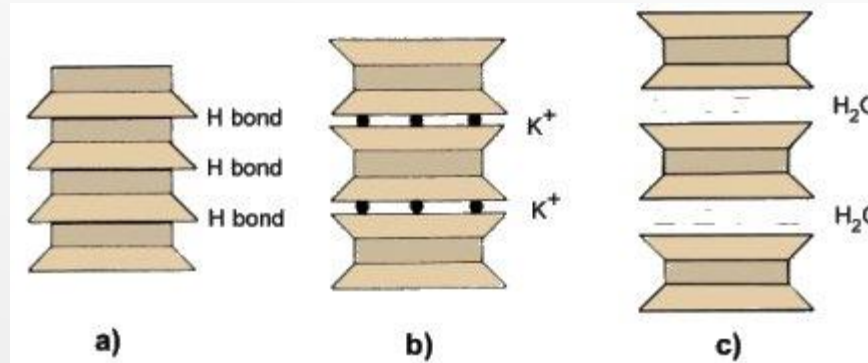
Os minerais argílicos são silicatos.
A unidade estrutural deles consiste de
tetraedros de sílica e octaedros de alumina



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



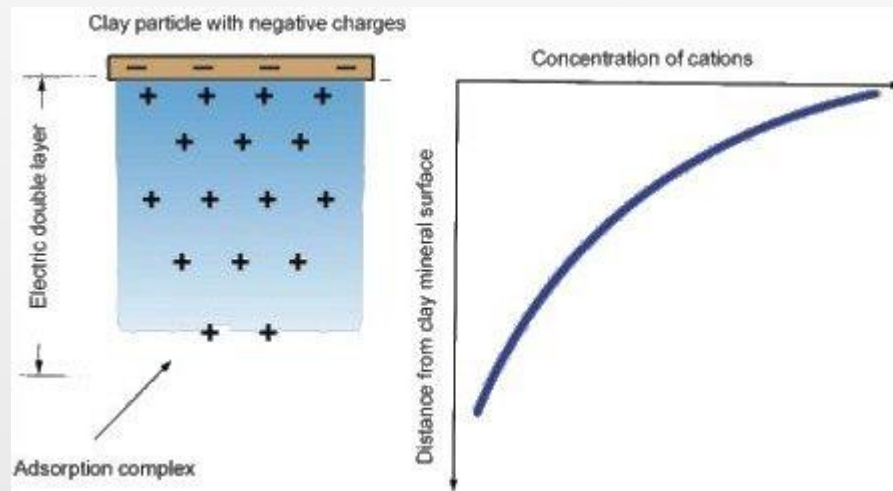
Estas unidade básicas se combinam para formar as estruturas das caulinitas, ilitas e montmorilonitas.



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

- Cargas elétricas não balanceadas
- Cátions e água satisfazem este desbalanceamento elétrico criando ligações e unindo as camadas estruturais.
- 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.

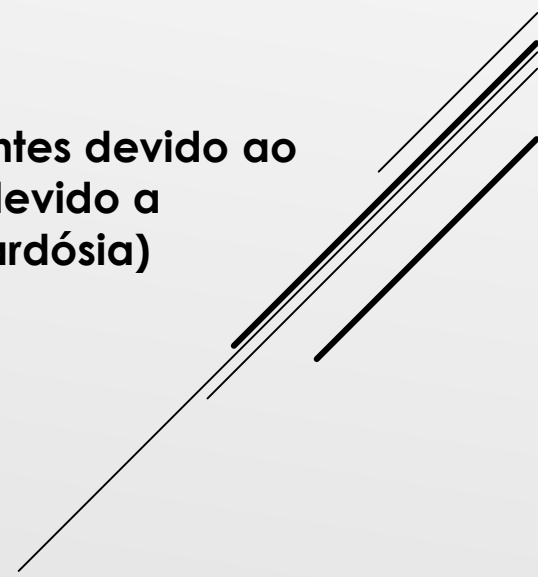


Adsorção na superfície da partícula de argila (modified after Cernica, 1995)

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, calcários, 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)



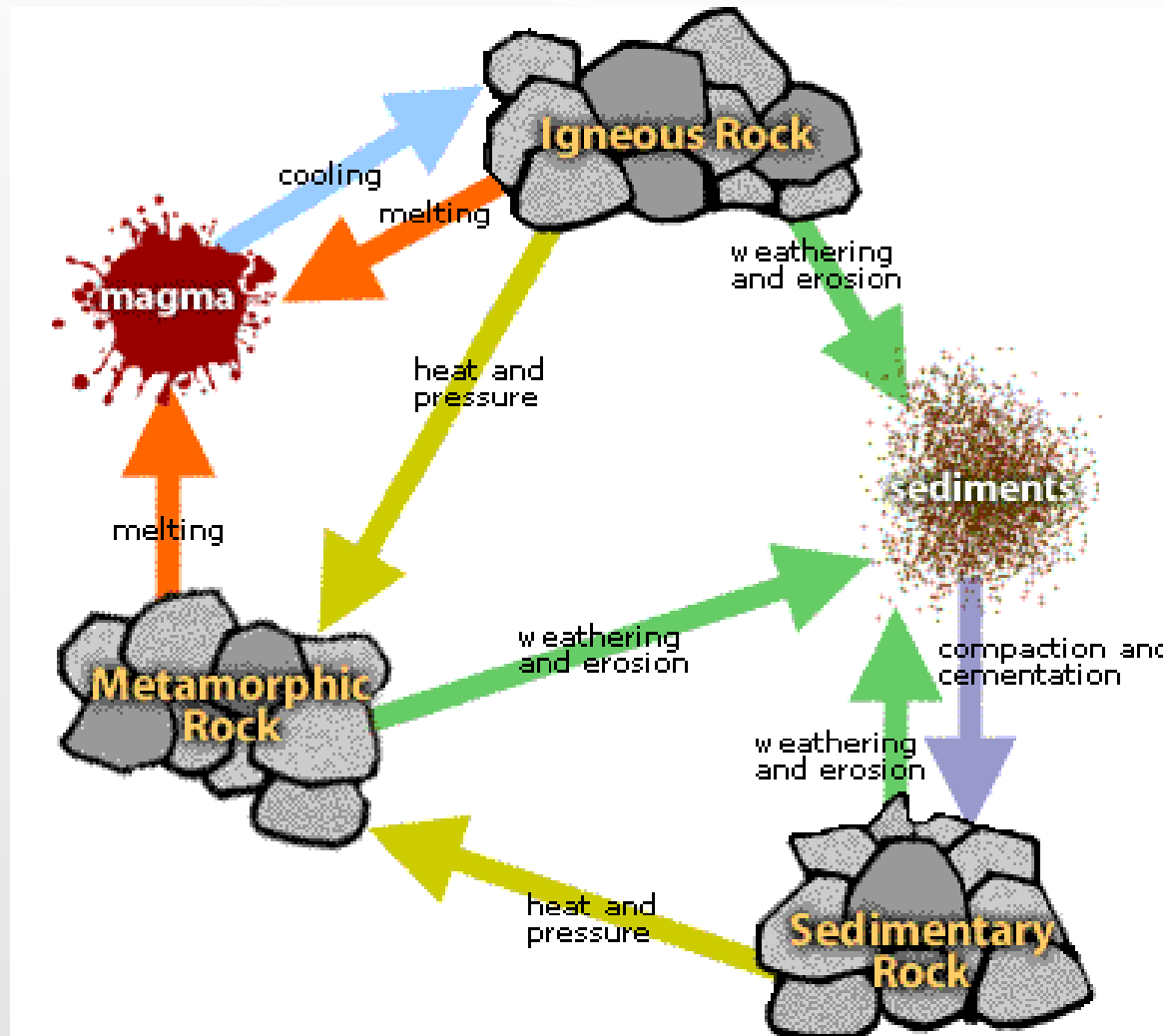
Origens dos Solos (Formação e Mineralogia)

- 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).

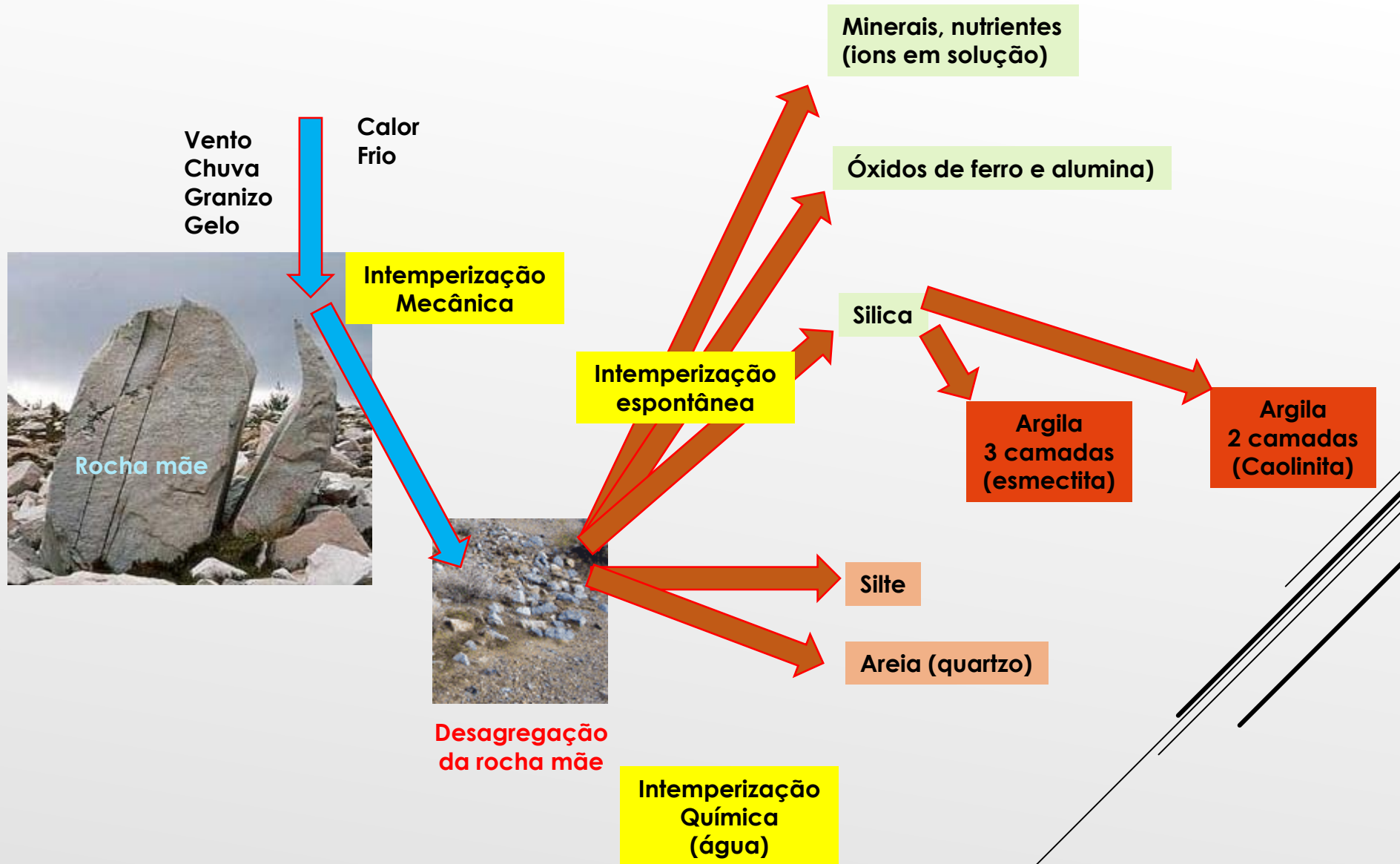
Origens dos Solos - INTEMPERISMO

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



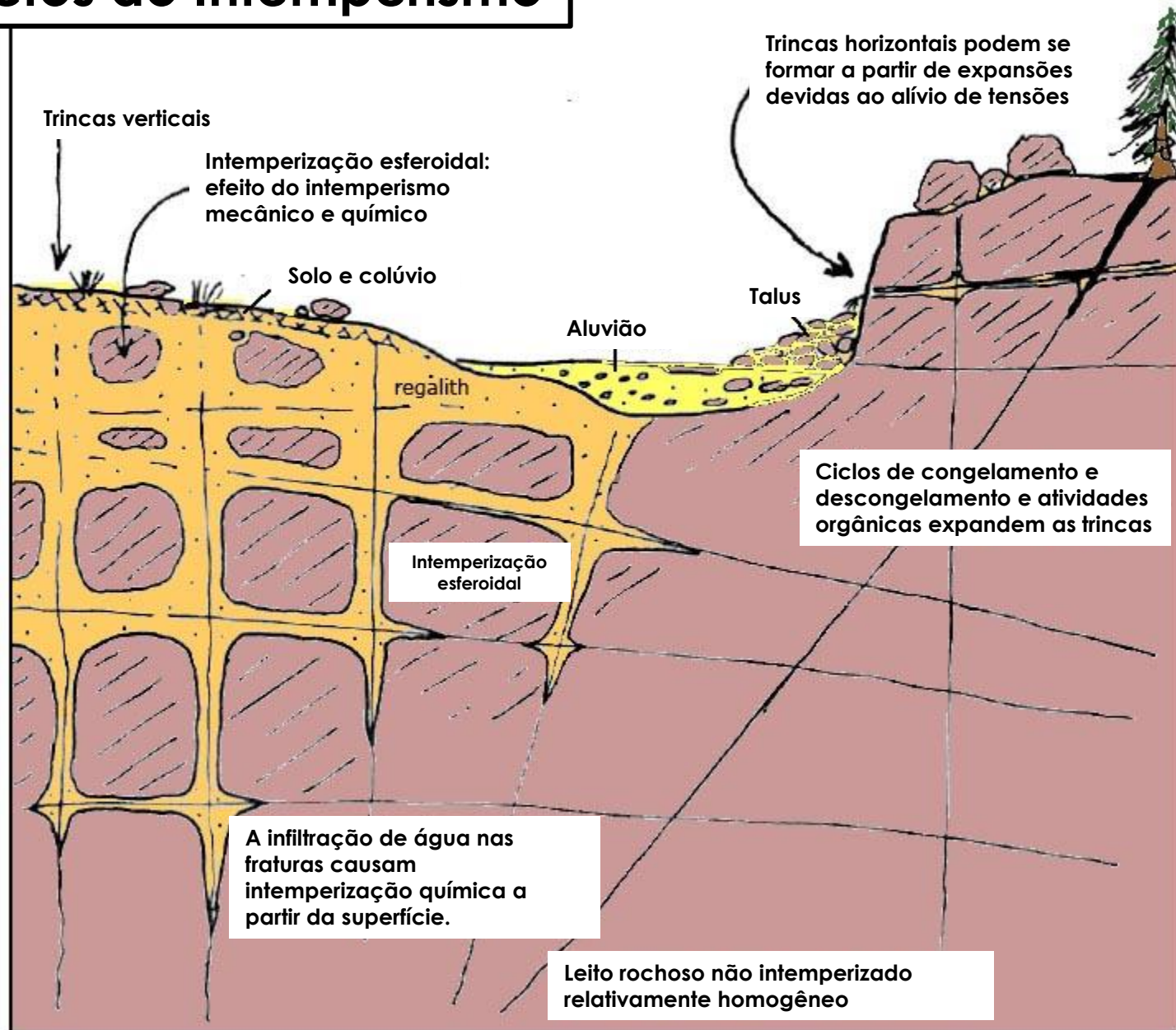
Solos Residuais



Solos Transportados



Aspectos do Intemperismo



Santa Cruz Mountains

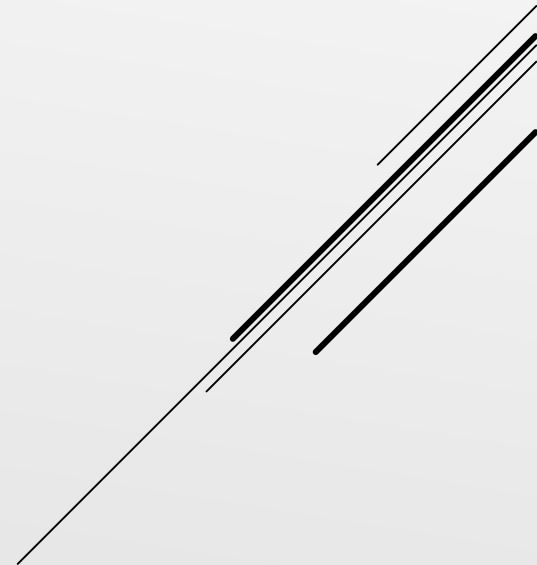


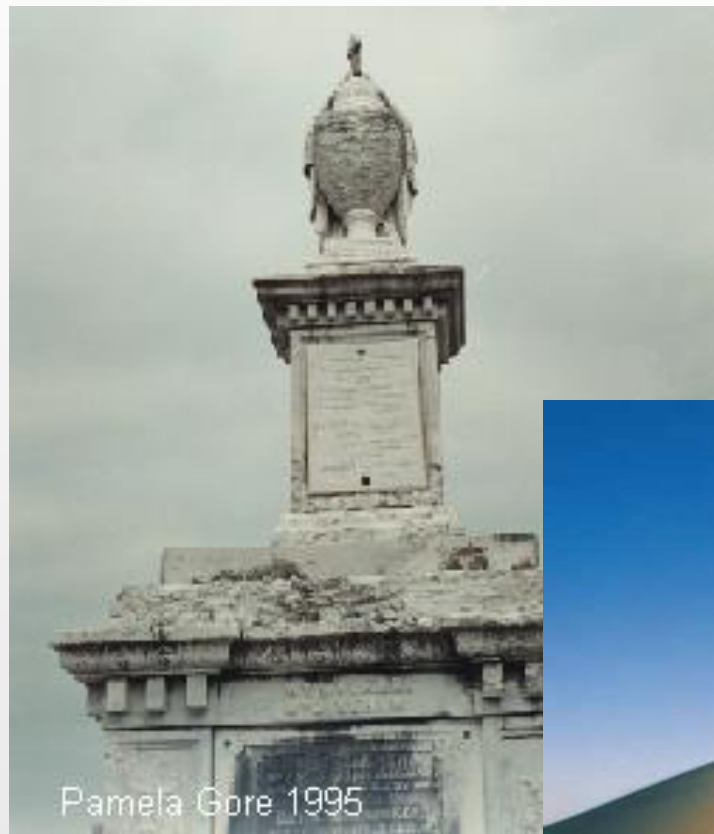
Intemperização química
associada a rocha fraturada

Joshua Tree National Park



Intemperização esférica
de granito





Tamanho das Partículas, Forma e Distribuição

Barril



Areia

Prato



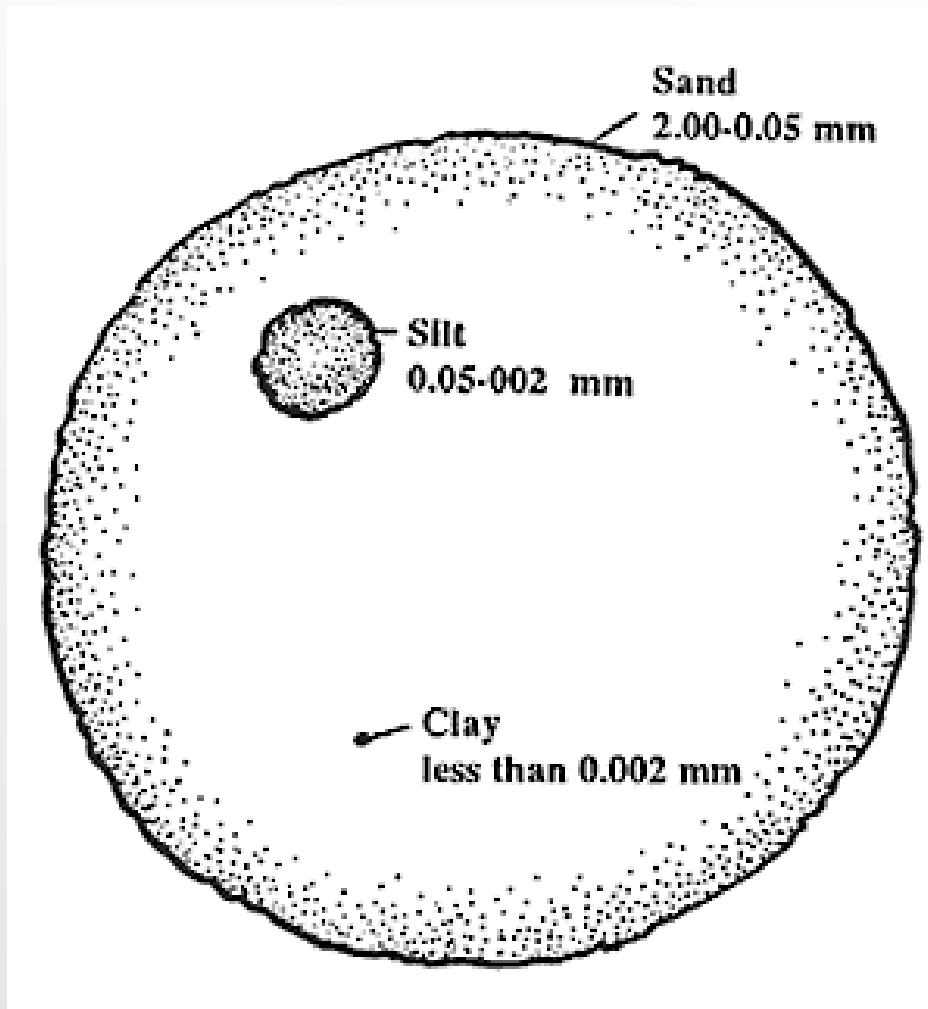
Silte

Moeda



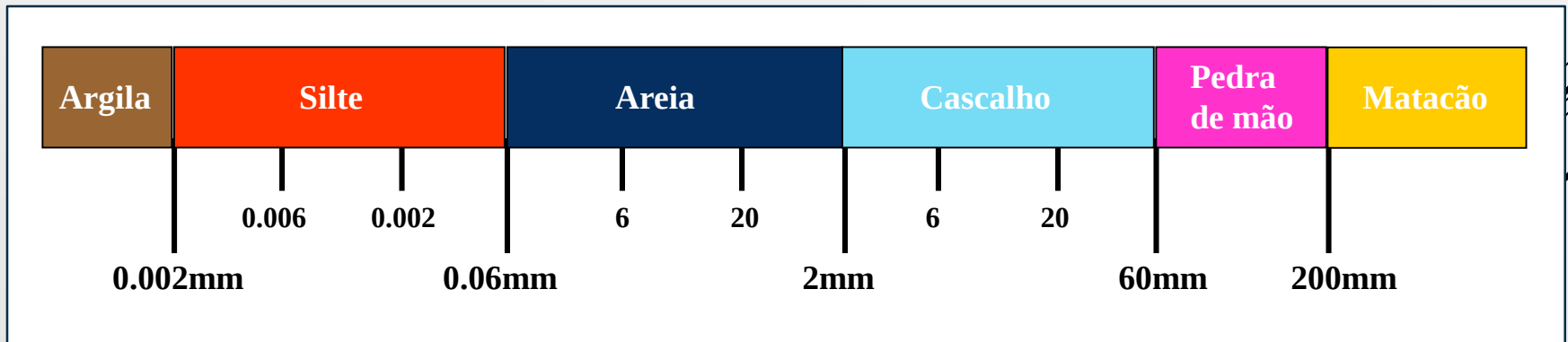
Argila

Tamanho das Partículas



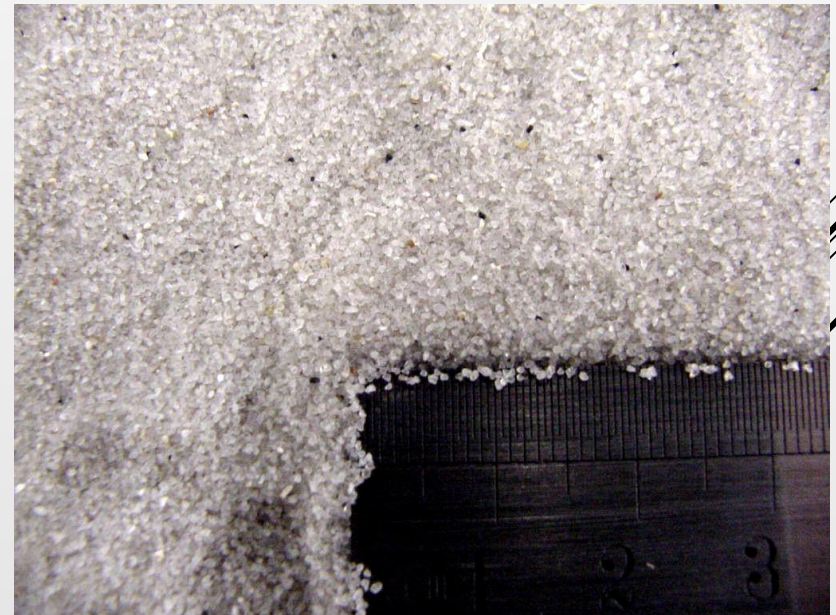
Tamanho das Partículas

- **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.



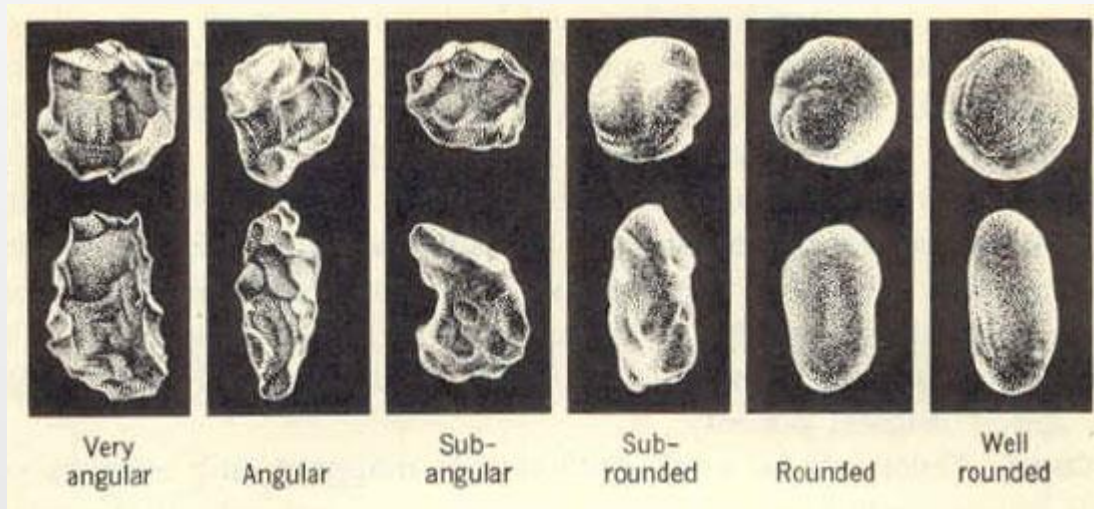


Areias



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/>

- Arredondados – 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



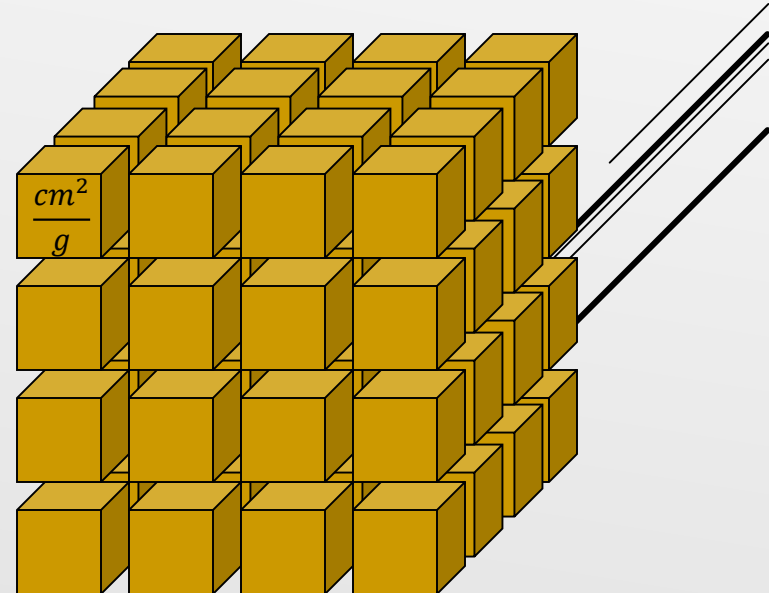
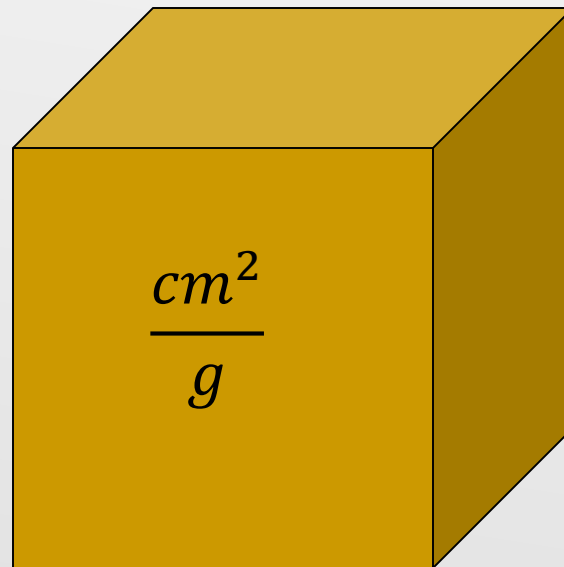
Kenia – Coast – Beach at Pate island



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.



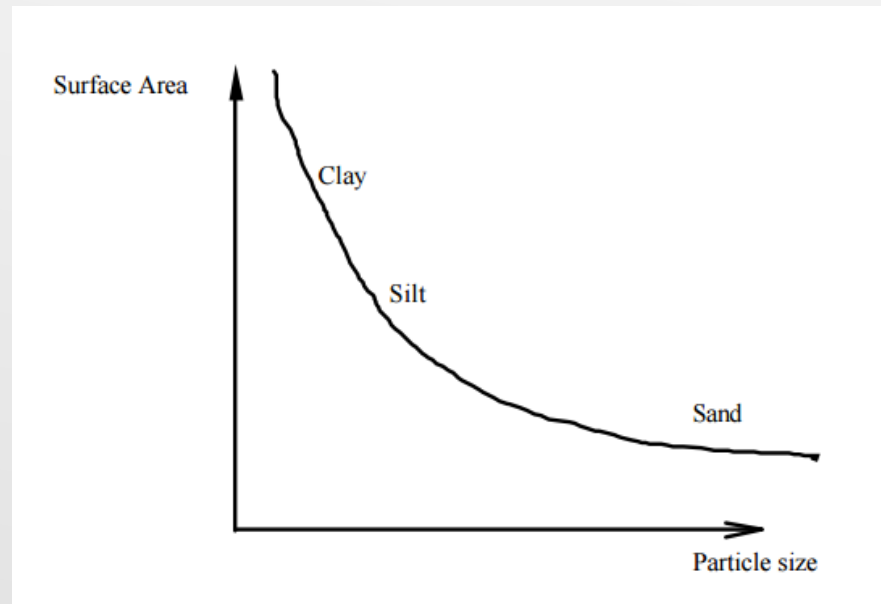
Superfície específica.

Specific surface area of soil particles

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

^aThickness = 10^{-7} cm

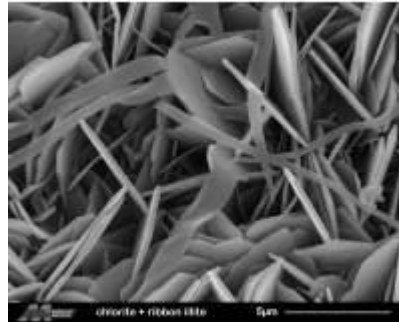
Hopmans (2002)



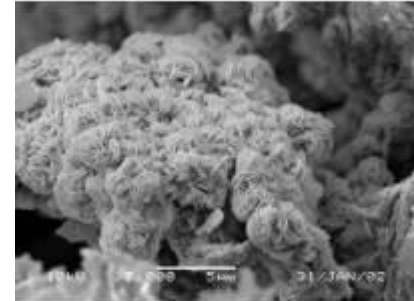
Argilas



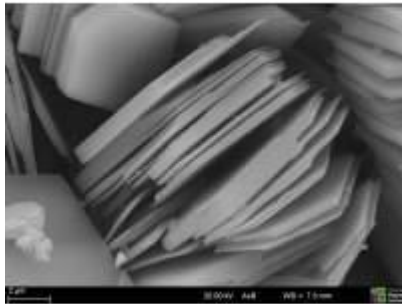
Allophane



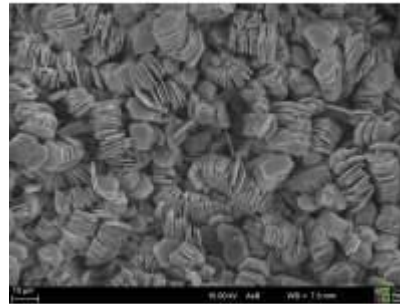
Chlorite + illite



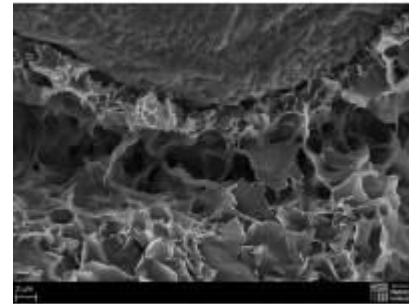
Gibbsite



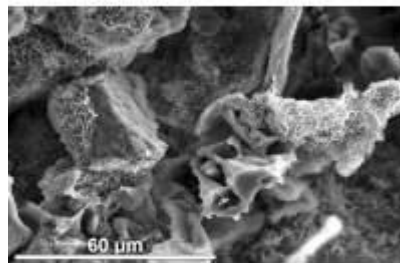
Kaolinite



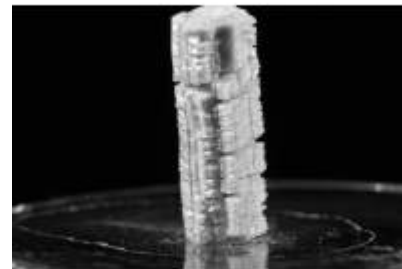
Kaolinite



Smectite



Smectite, montmorillonite



Vermiculite



Caulin



Bentonita



Solo Laterítico

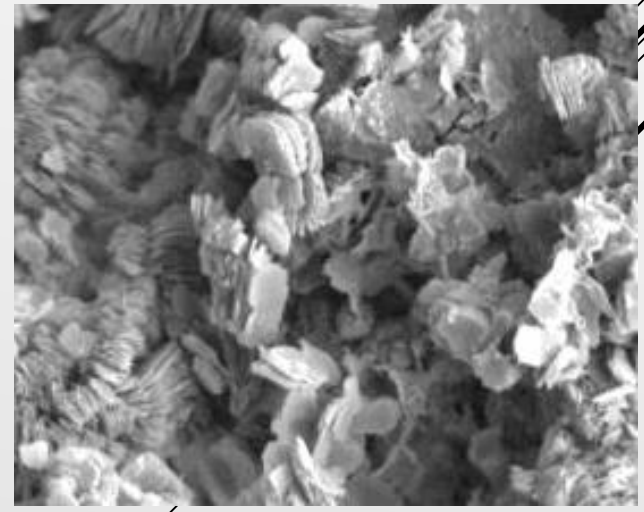
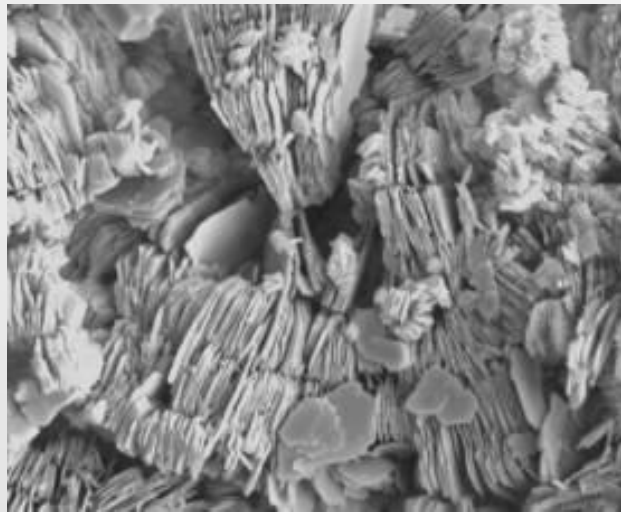


Solo Residual

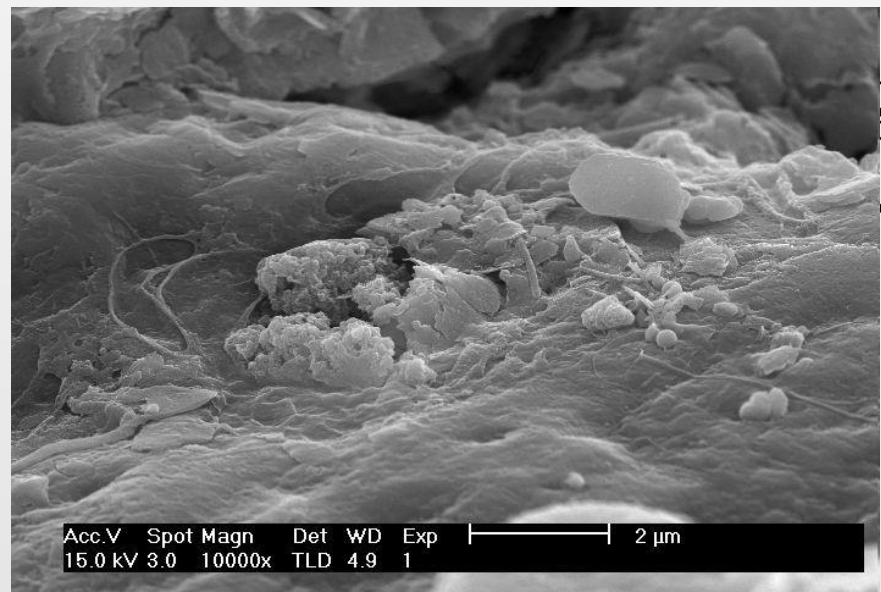
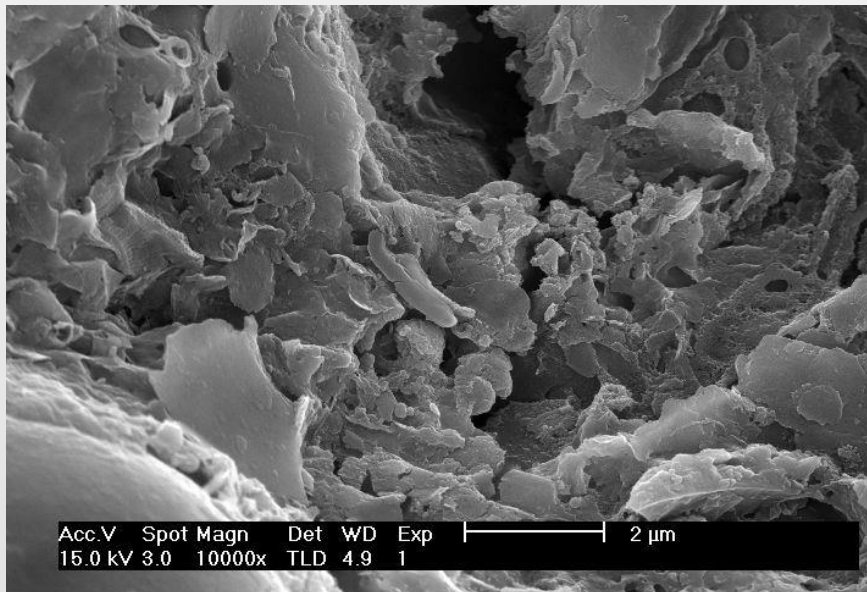
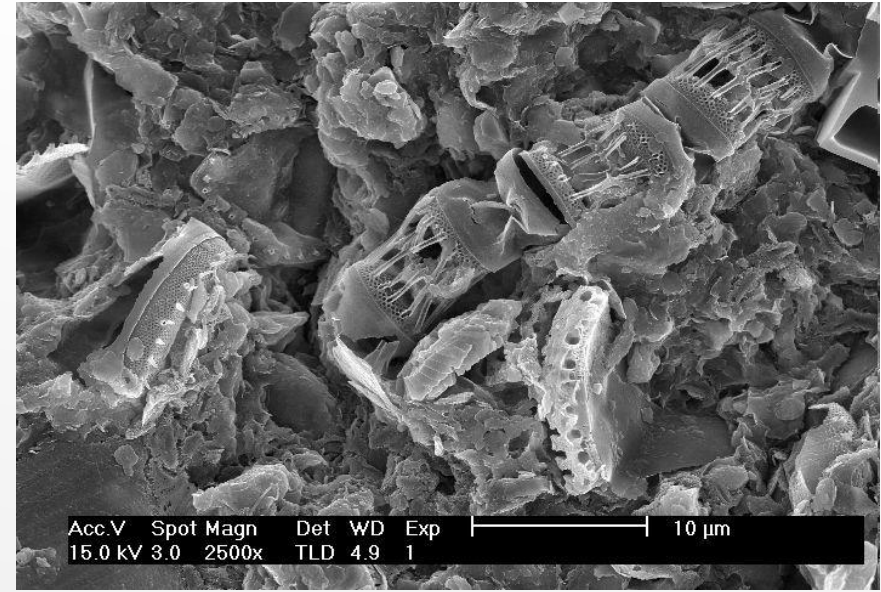
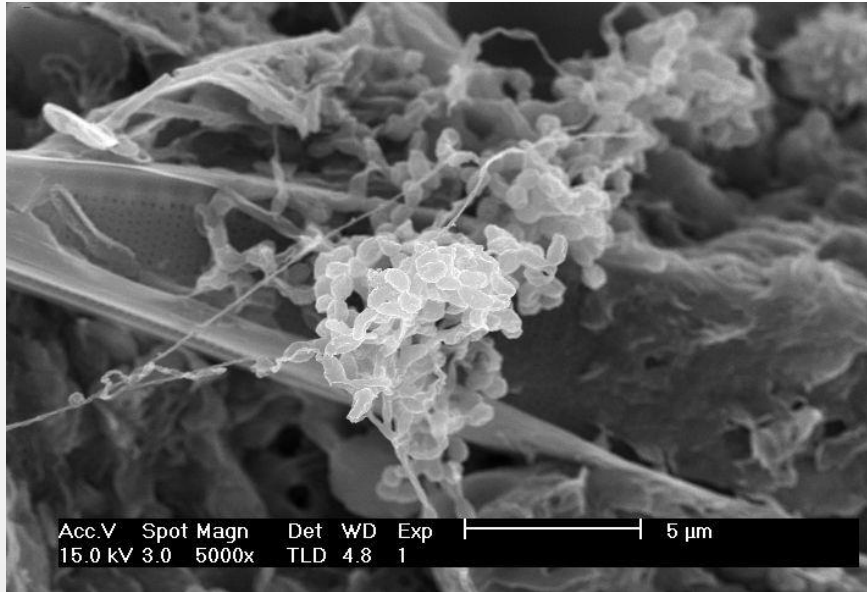
Tipos de minerais Argila

São três os principais tipos de minerais argila:

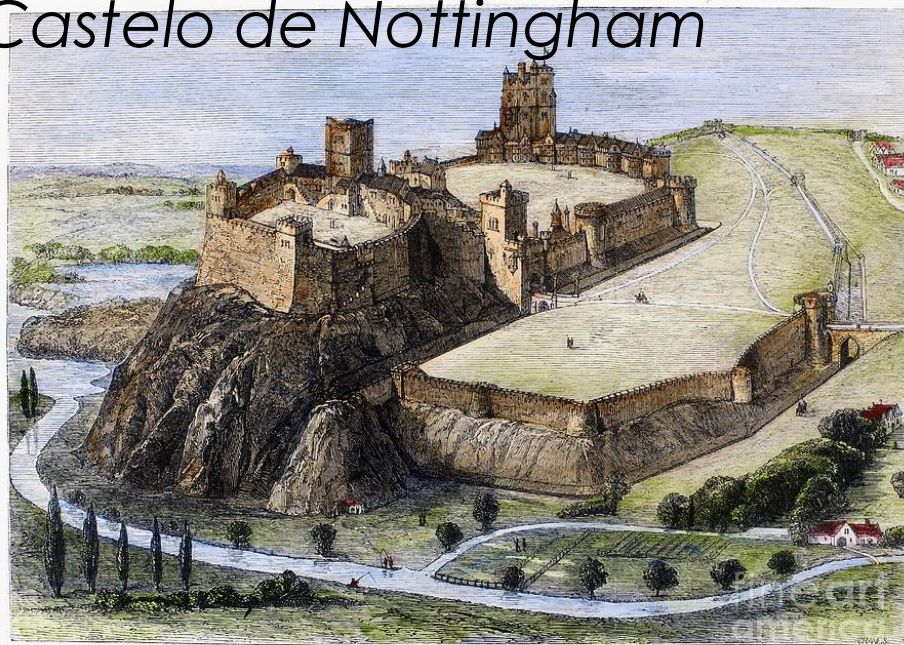
- As Caolinitas : Formada pela decomposição de feldspato ortoclase (i.e. granito)
- Ilitas : São os mais comuns. São formados pela decomposição de algumas micas e feldspatos
- Montmorilonita : São do grupo das Esmectitas. São formados pela alteração de rochas ígneas básicas contendo silicatos ricos em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



Material de um estuário



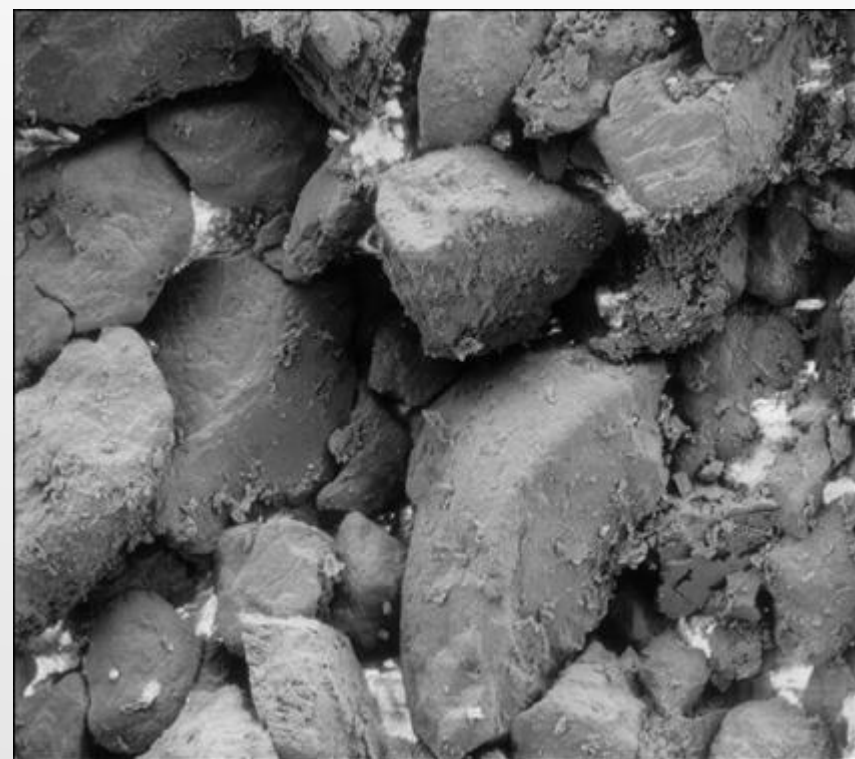
Castelo de Nottingham



NOTTINGHAM CASTLE IN THE SIXTEENTH CENTURY.



4 mm



Arenito do Castelo de Nottingham
Grãos de quartzo ligados por uma pequena porção de argila



Quartz

Chlorite

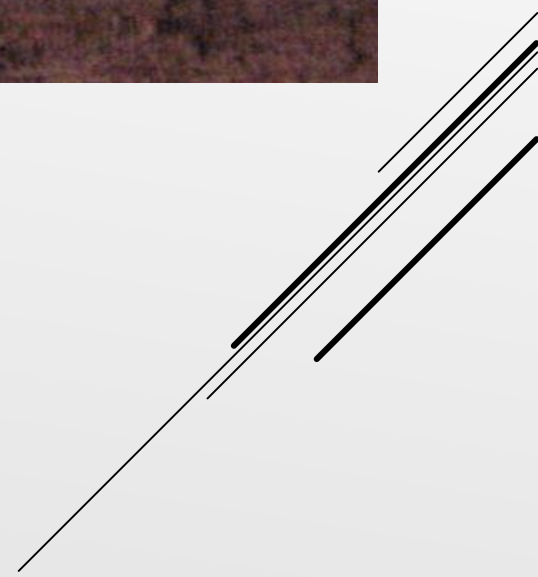
10 μ m

Kaolinite

10 μ m

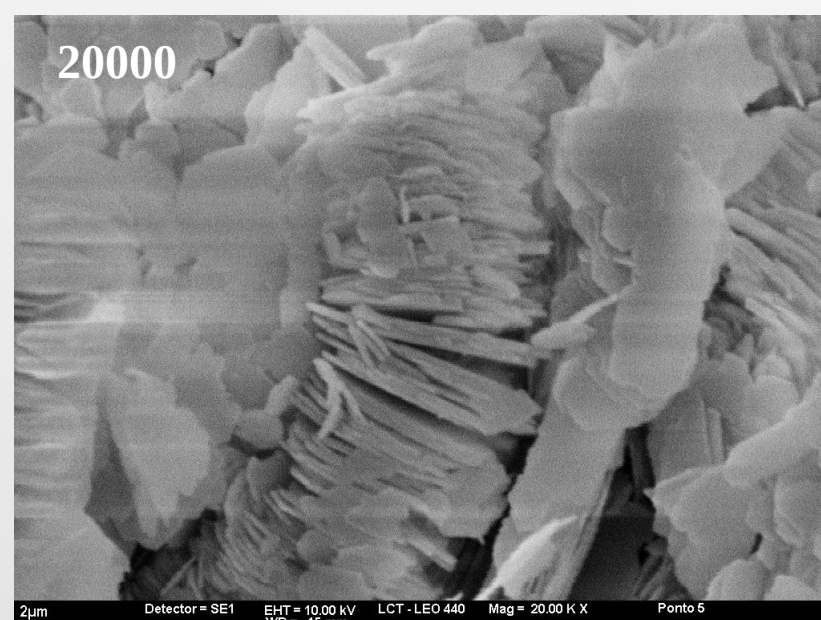
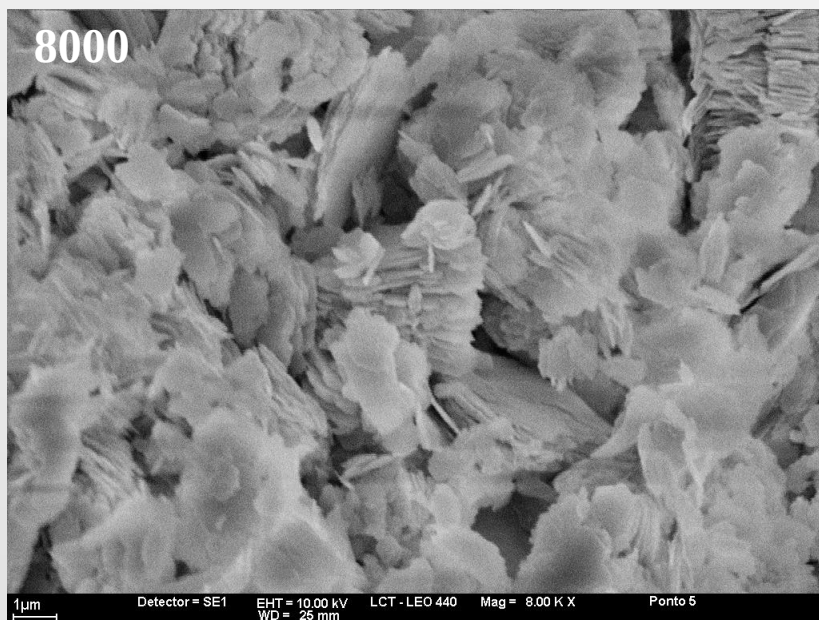
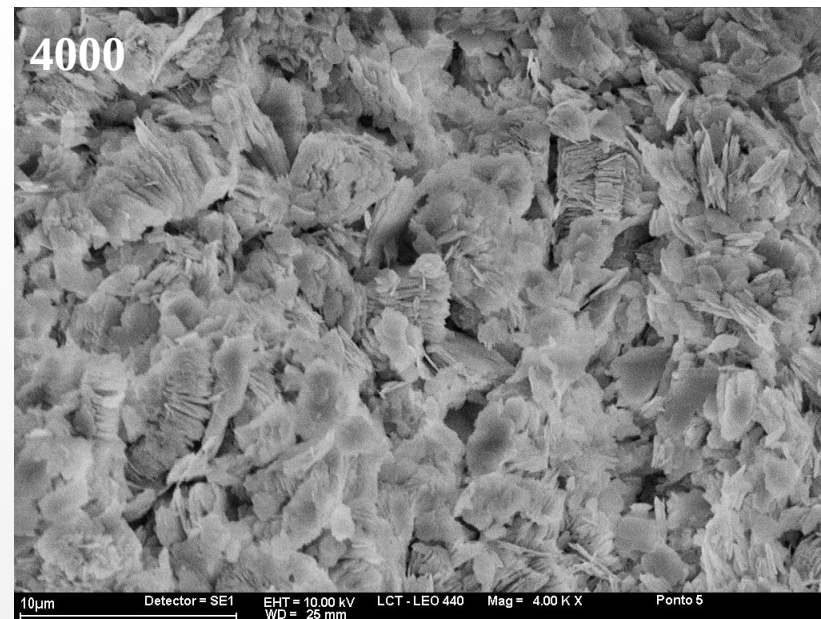
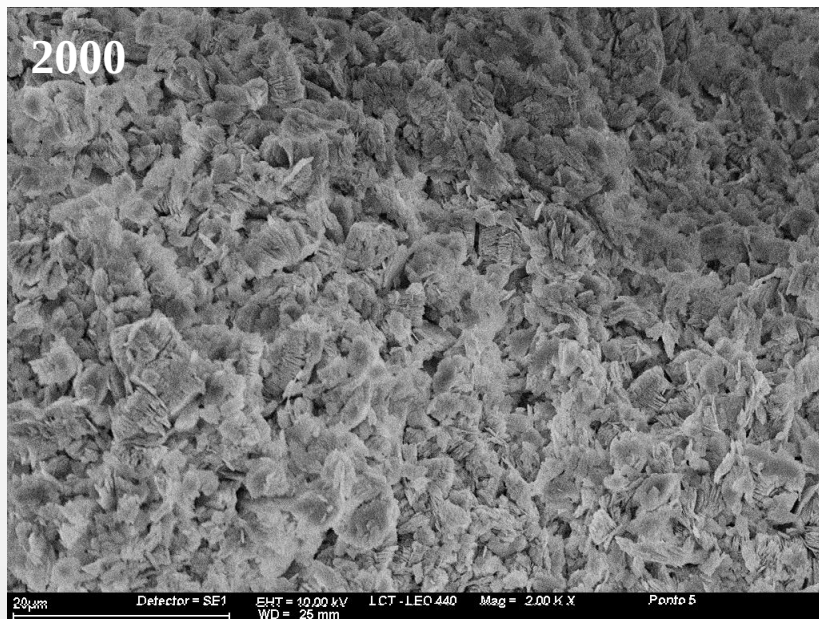


Solo Residual - compactado



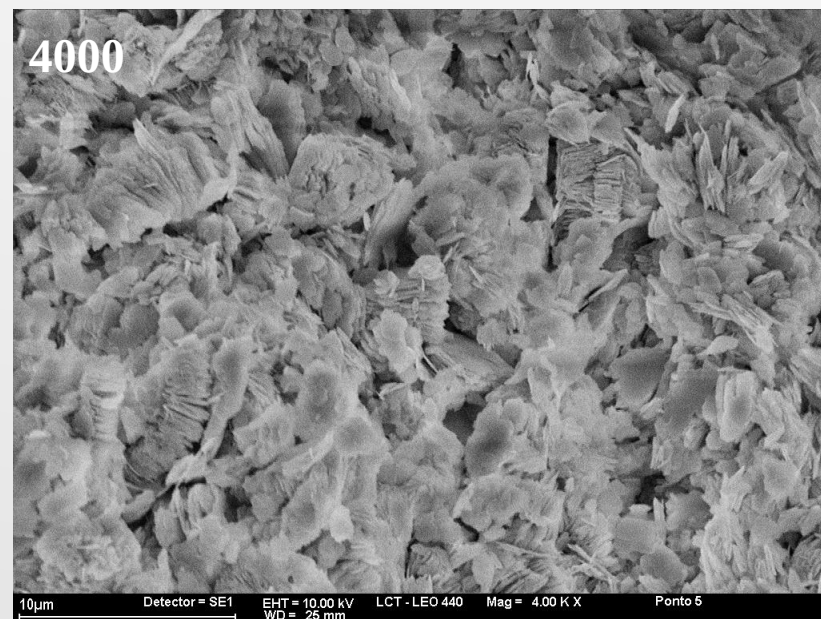
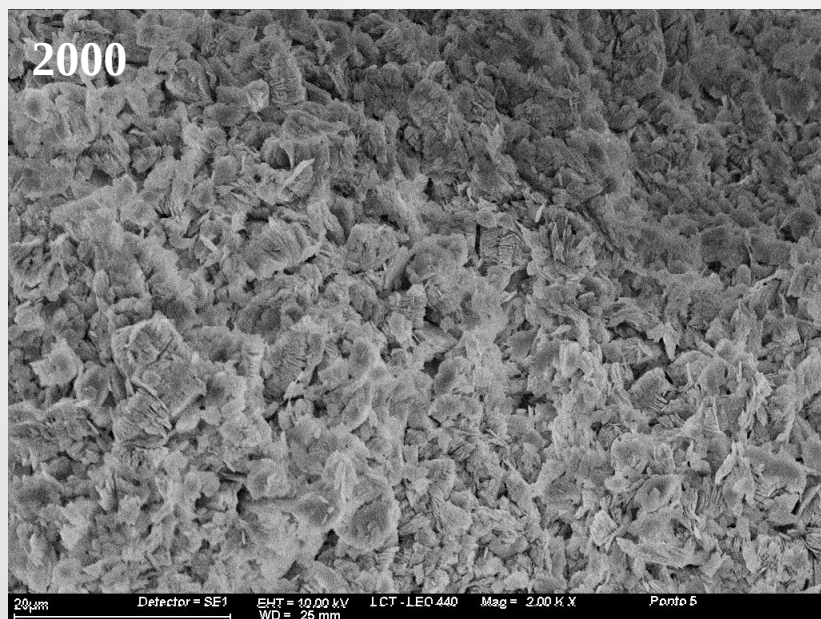
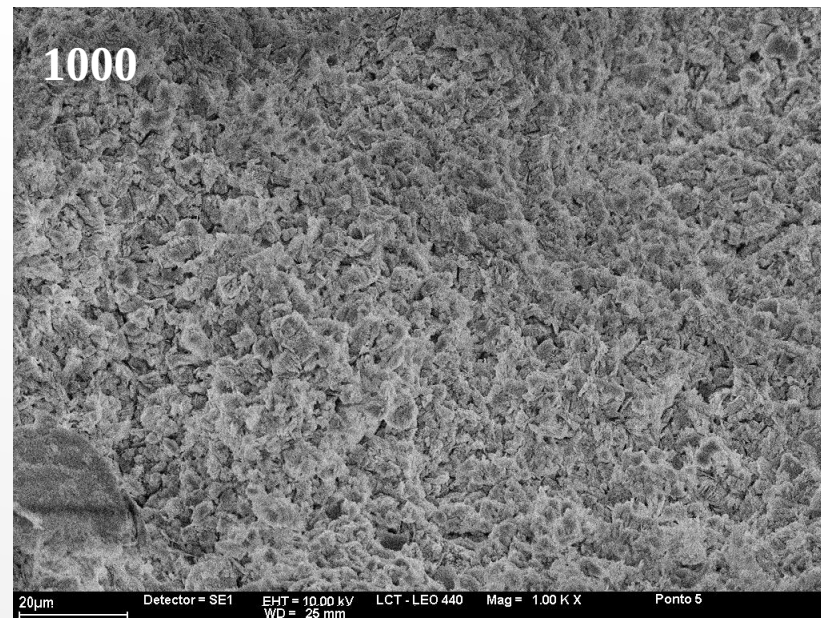
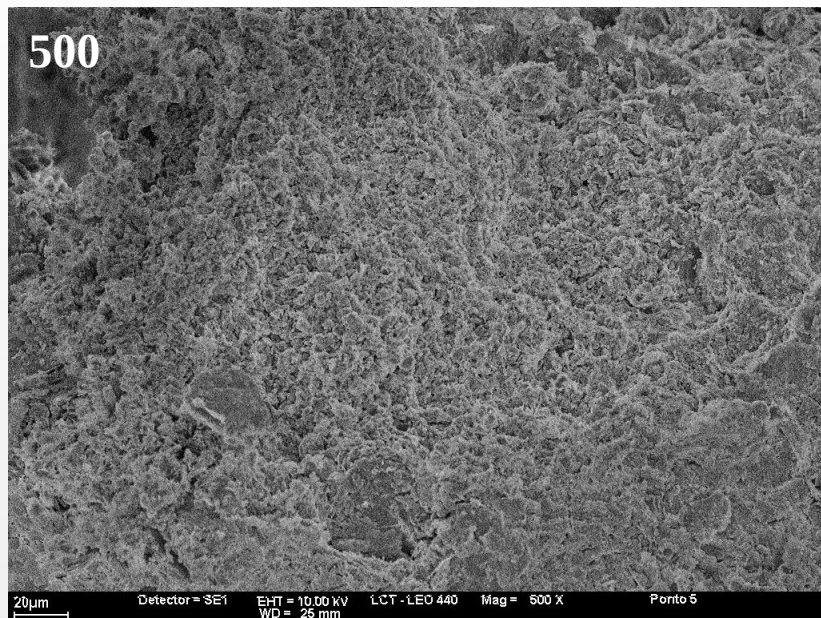
Solo Residual de Gnaiss - compactado

Microscopia Eletrônica



Solo Residual de Gnaiss - compactado

Microscopia Eletrônica





Solo Residual



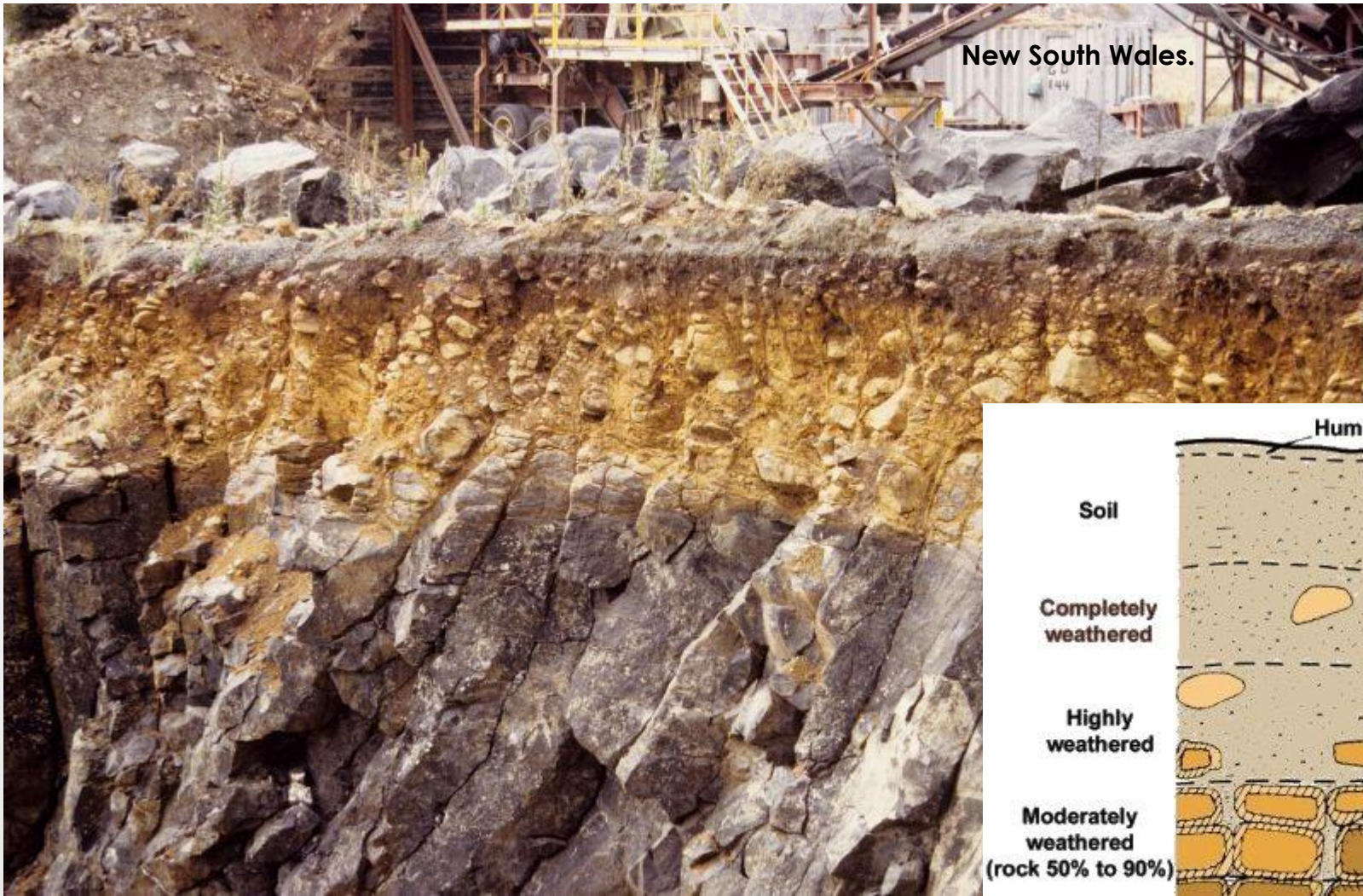
Solo Residual



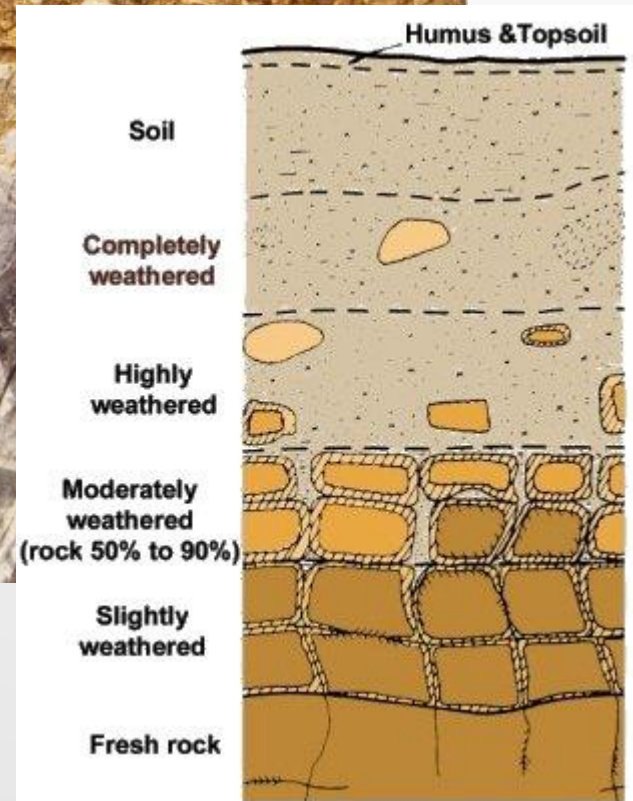
Turfa – Solo orgânico



New South Wales.

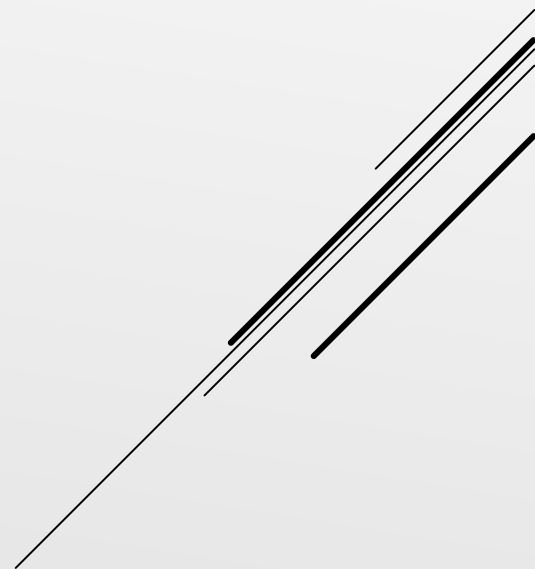


http://crcleme.org.au/Educ/rgg/4-mt_oberon/index.html

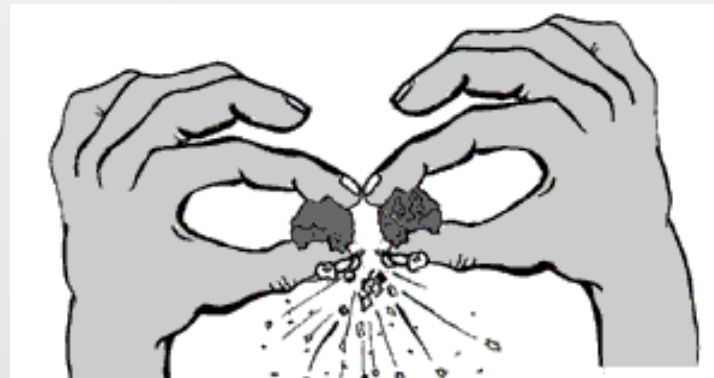
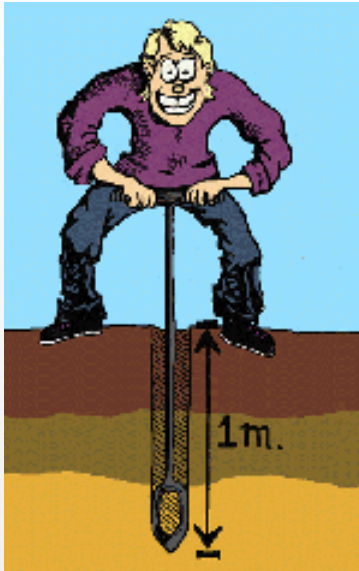


Little (1969)

Análise Tátil Visual



Análise Tátil Visual



Análise Tátil Visual



Solo solto



Solo friável



Solo firme



Solo extremamente firme



Amostragem para Caracterização



Solo
Produto da intemperização das rochas

Residuais

Transportados

ESTADO DO SOLO

NATUREZA DO SOLO

Minerais

Tamanho das partículas

Forma das partículas

Intemperização

Física

Química

Transporte

CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Análise do tamanho dos grãos

Peneiramento

Sedimentação

Curva
Granulométrica

Coefficiente de
forma

Índices

Índice de plasticidade

Índice de atividade

Índice de consistência

Solos não plásticos

Solos plásticos

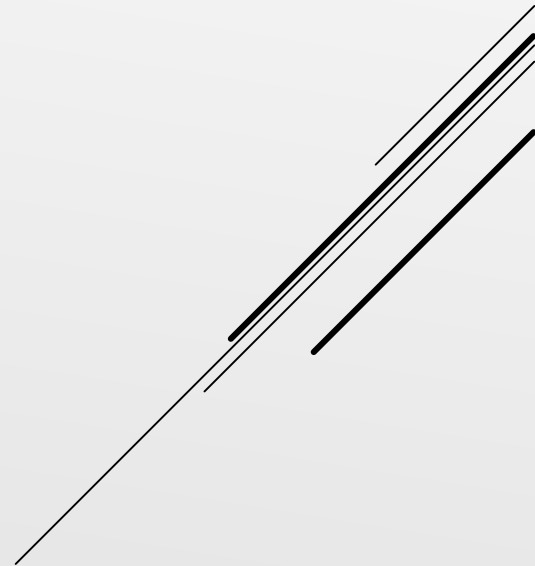
Limites de consistência

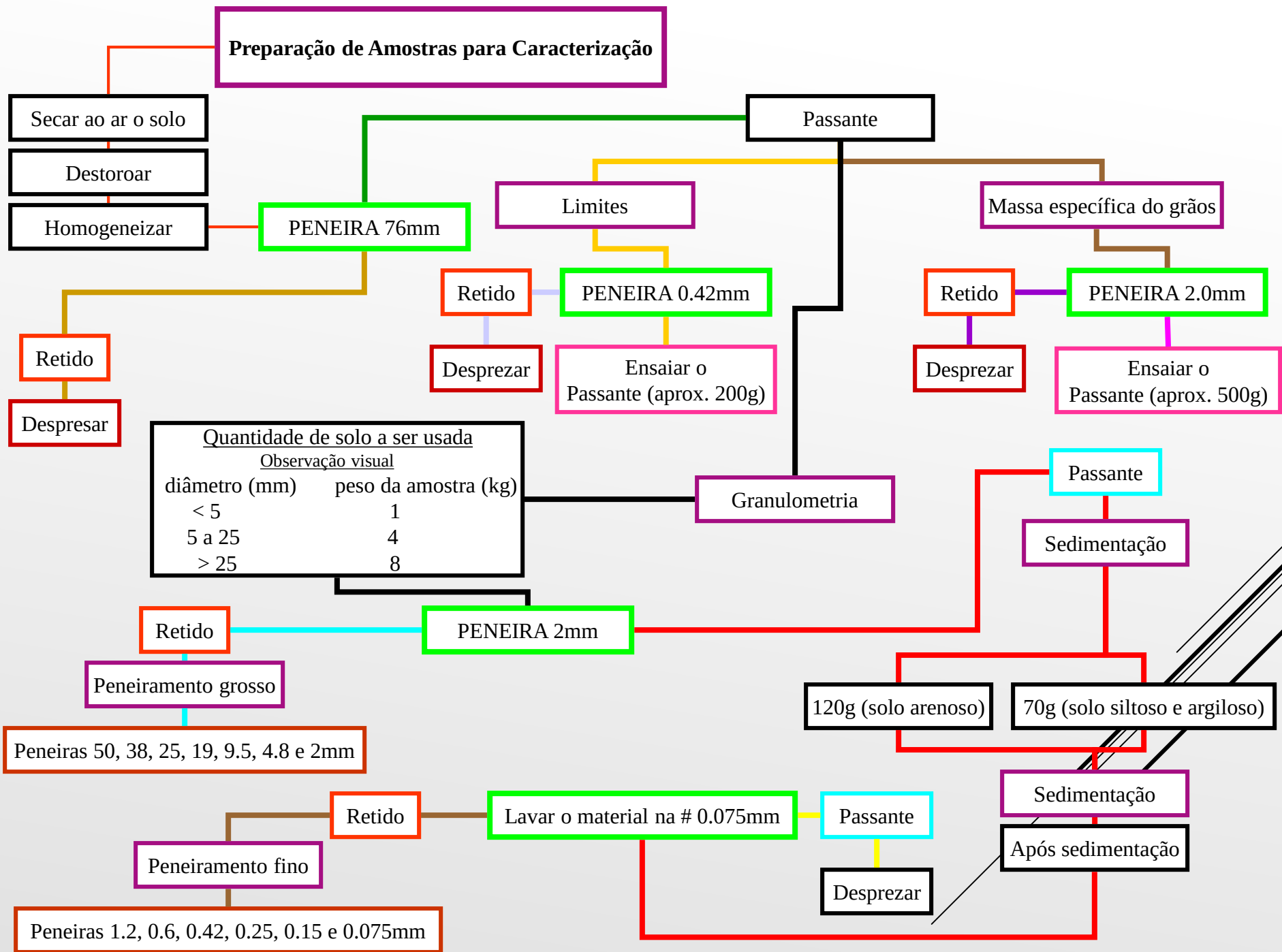
LL

LP

LC

Caracterização dos solos



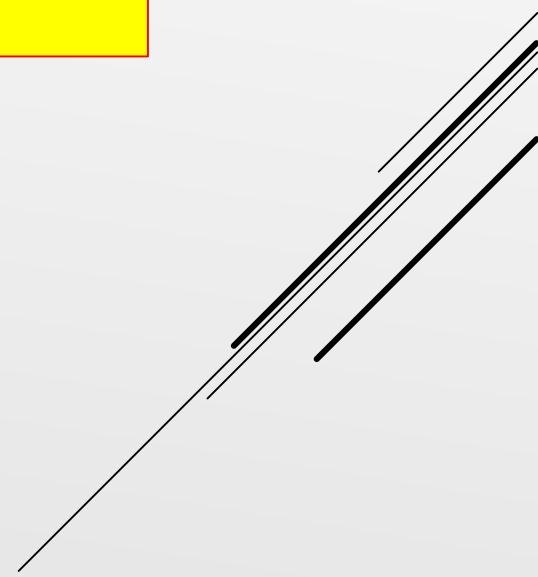


Classificação em relação ao tamanho dos grãos

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

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

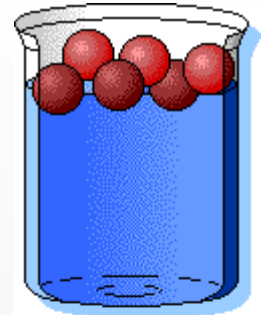
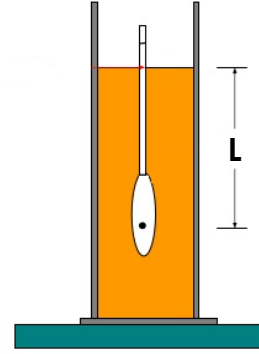


$$D(mm) = K \sqrt{\frac{L(cm)}{t(min)}}$$

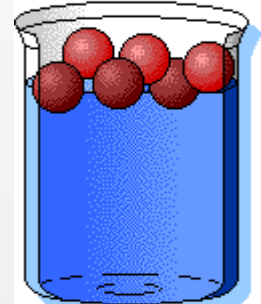
$$v_g = \frac{L}{t}$$

Viscosidade da água

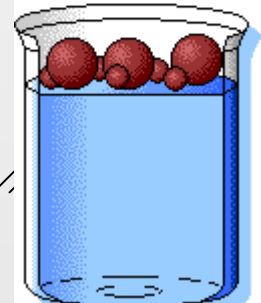
$$K = \sqrt{\frac{30\eta}{(G_s - 1)}}$$



High Liquid
Viscosity



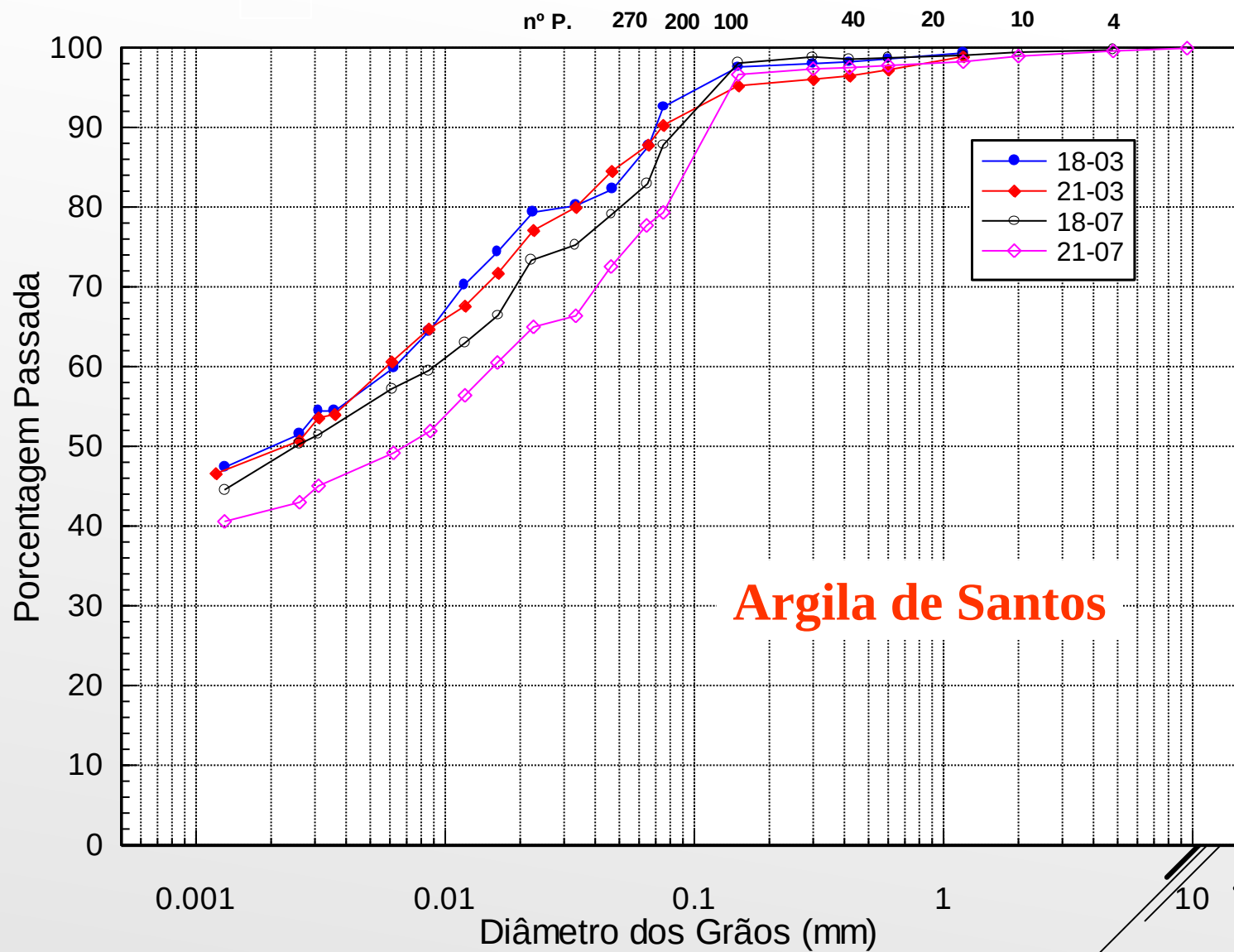
Particle Density
Low Liquid
Viscosity



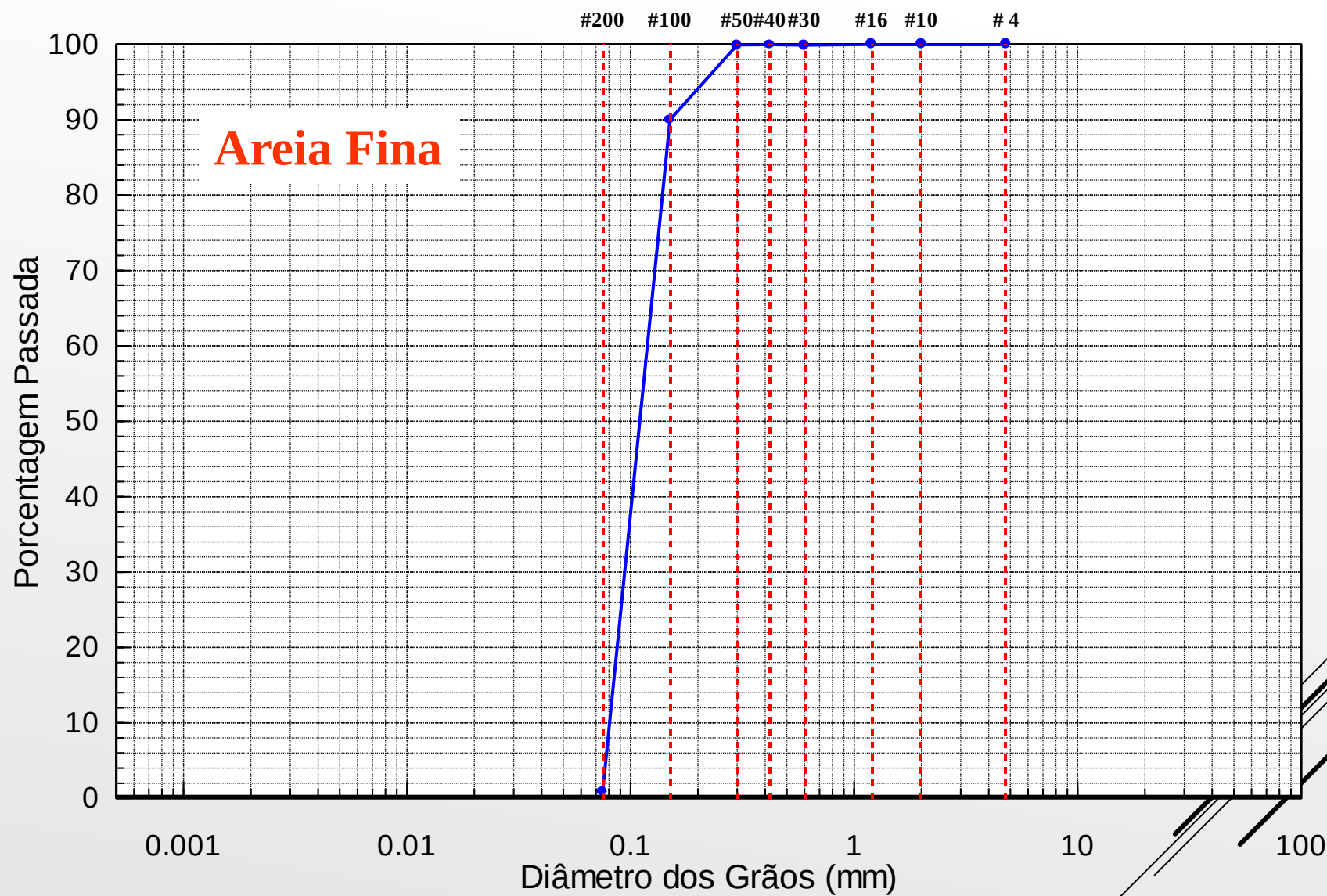
Particle Size



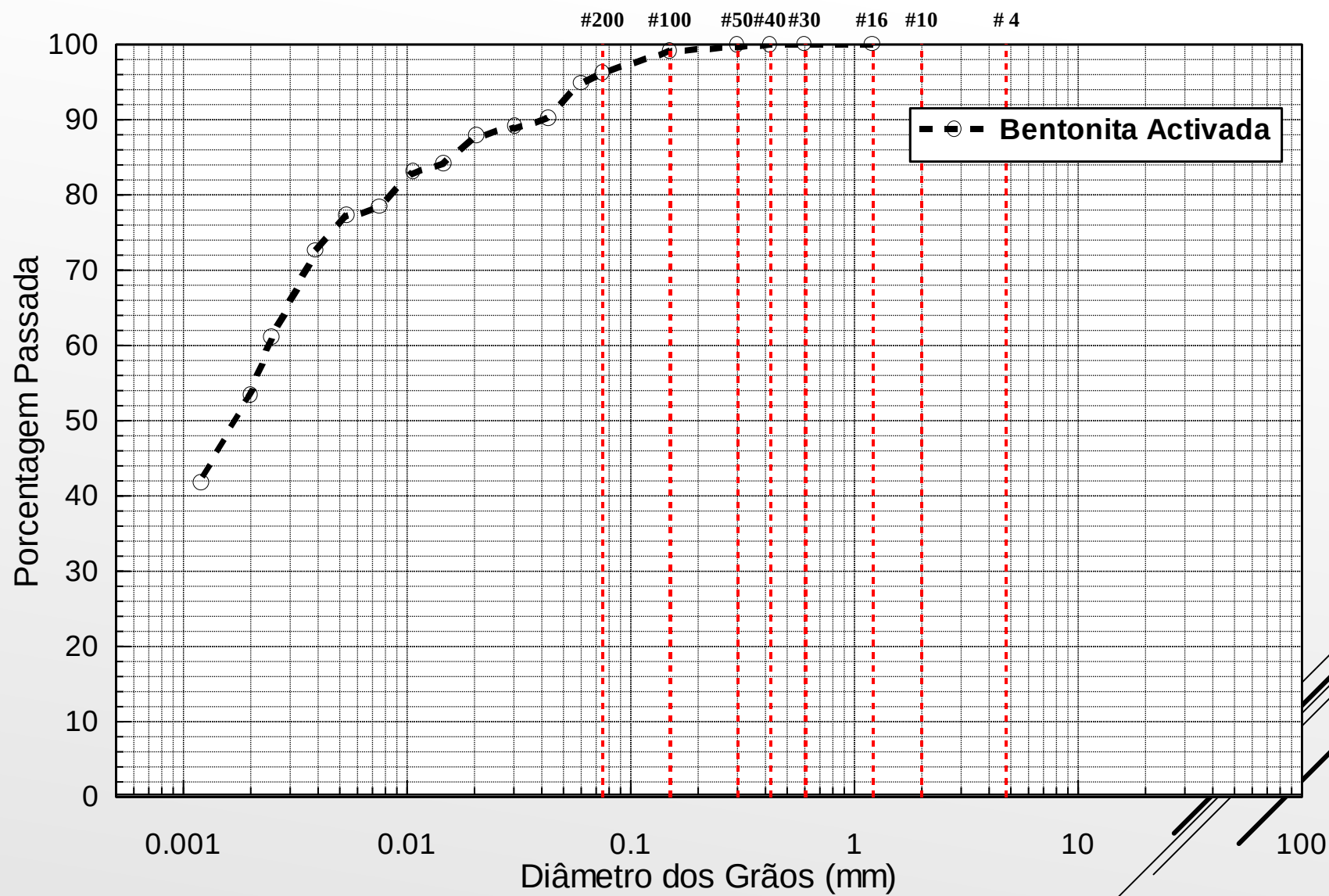
Sedimentação



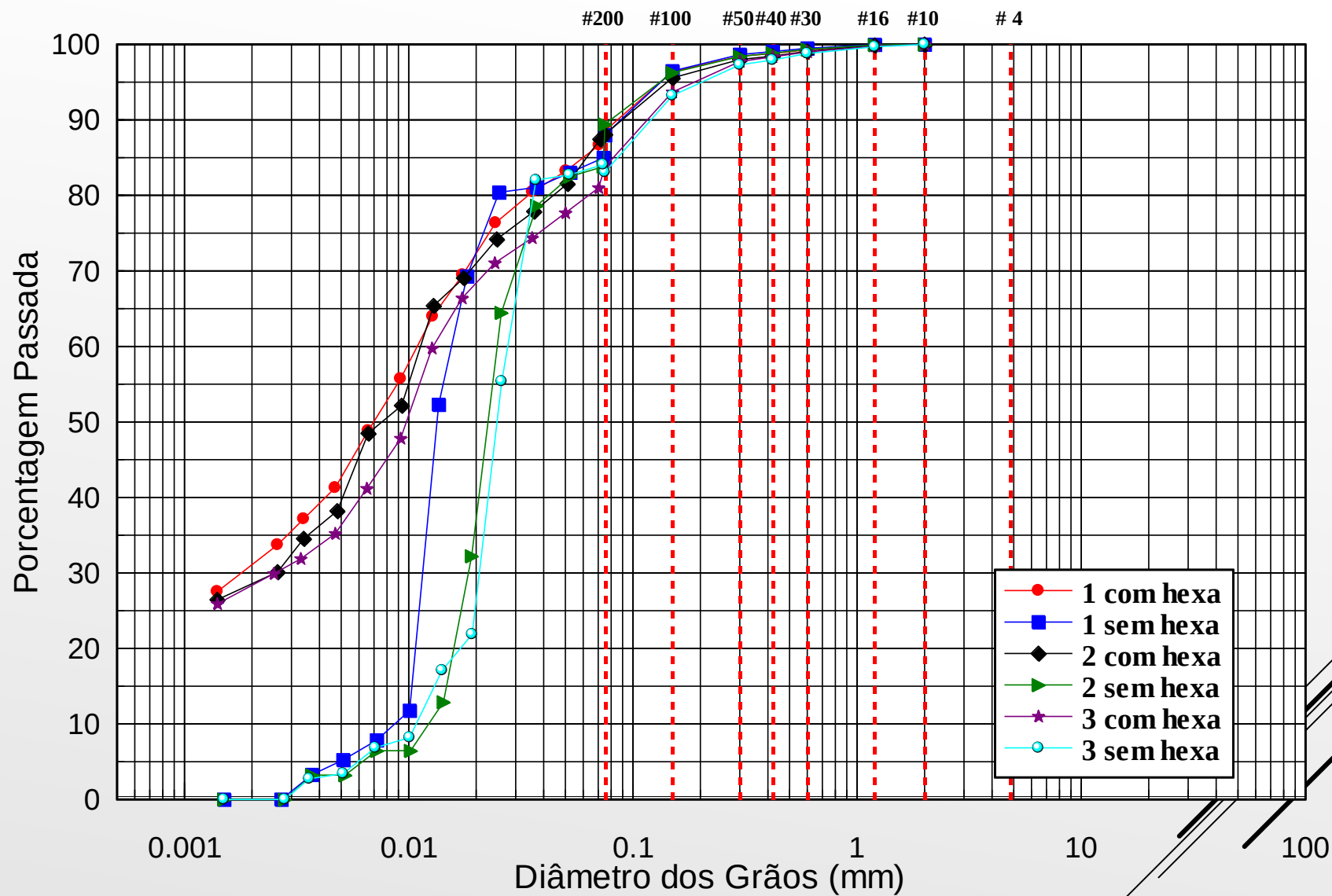
Argila	Silte	Areia Fina	Areia Média	A.grossa	Pedregulho
--------	-------	------------	-------------	----------	------------



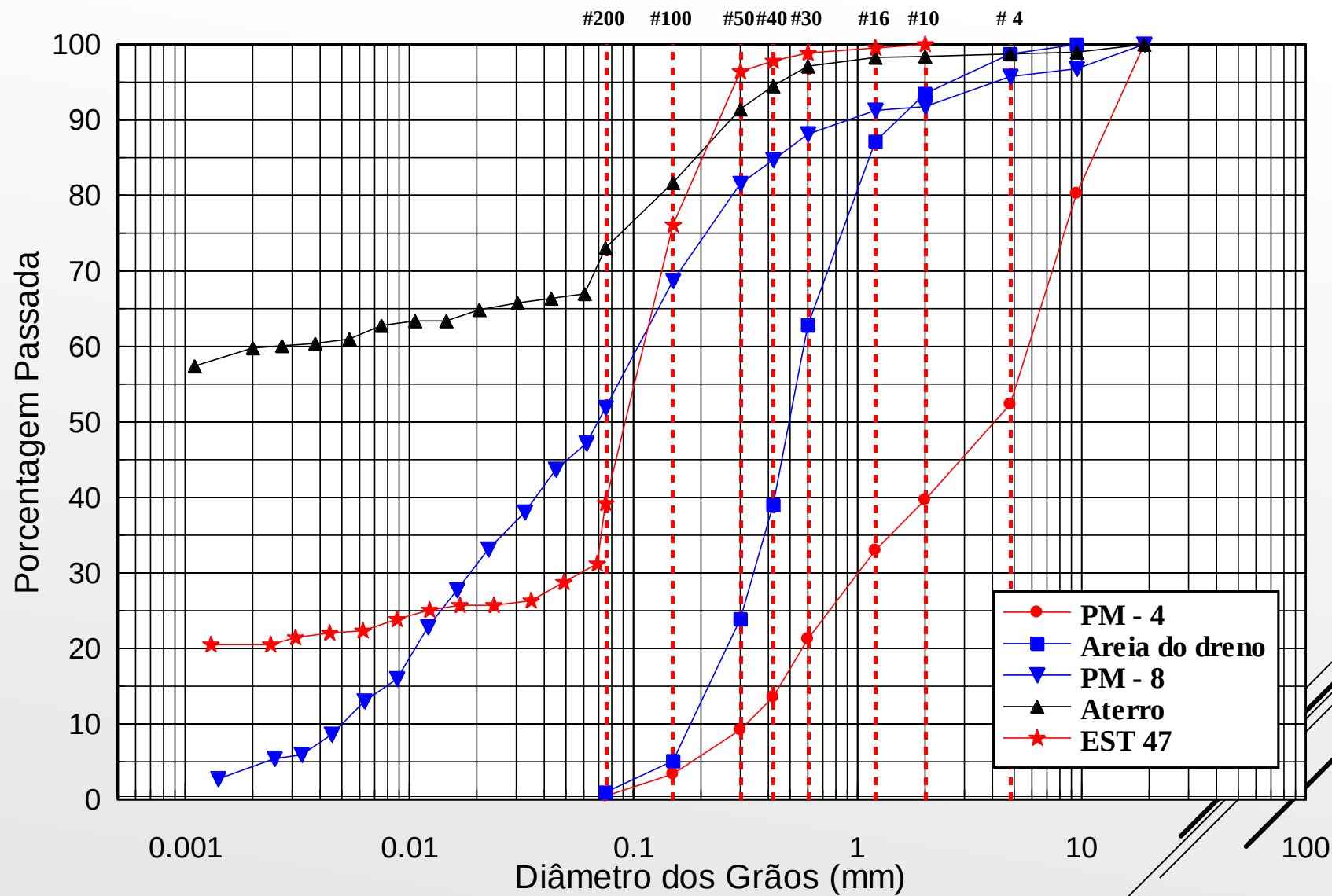
argila	silte	areia fina	areia média	a. grossa	pedregulho
--------	-------	------------	-------------	-----------	------------



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

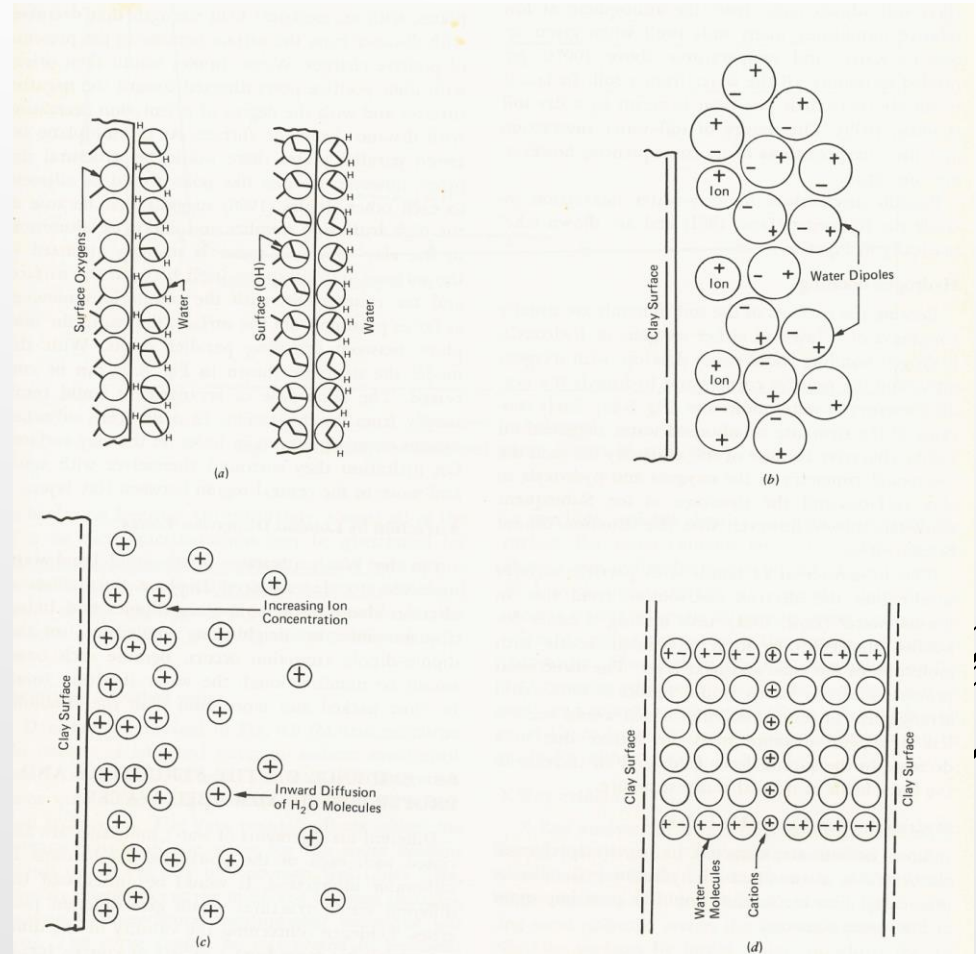
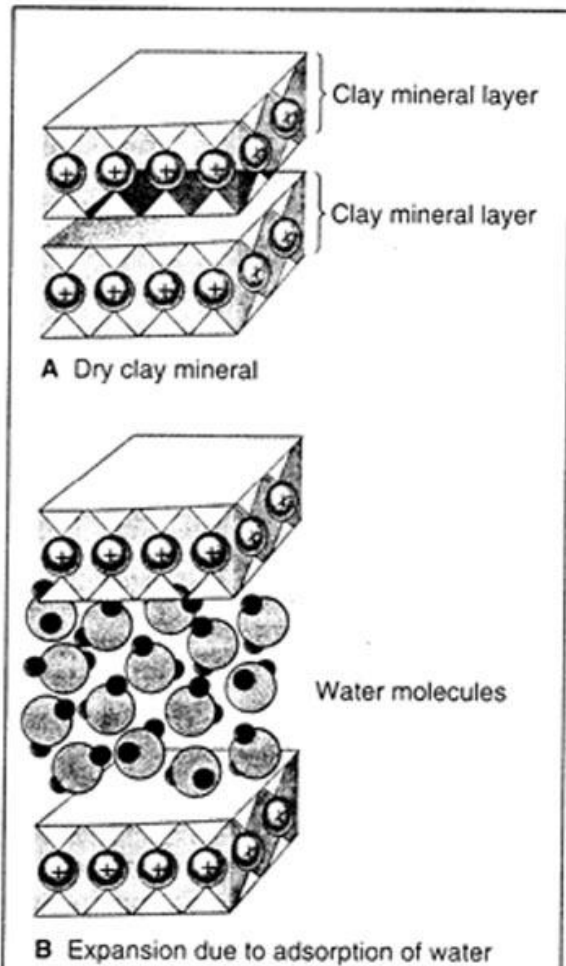
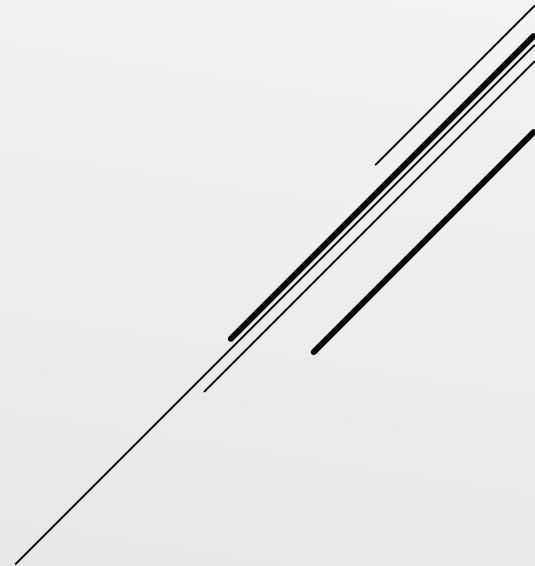


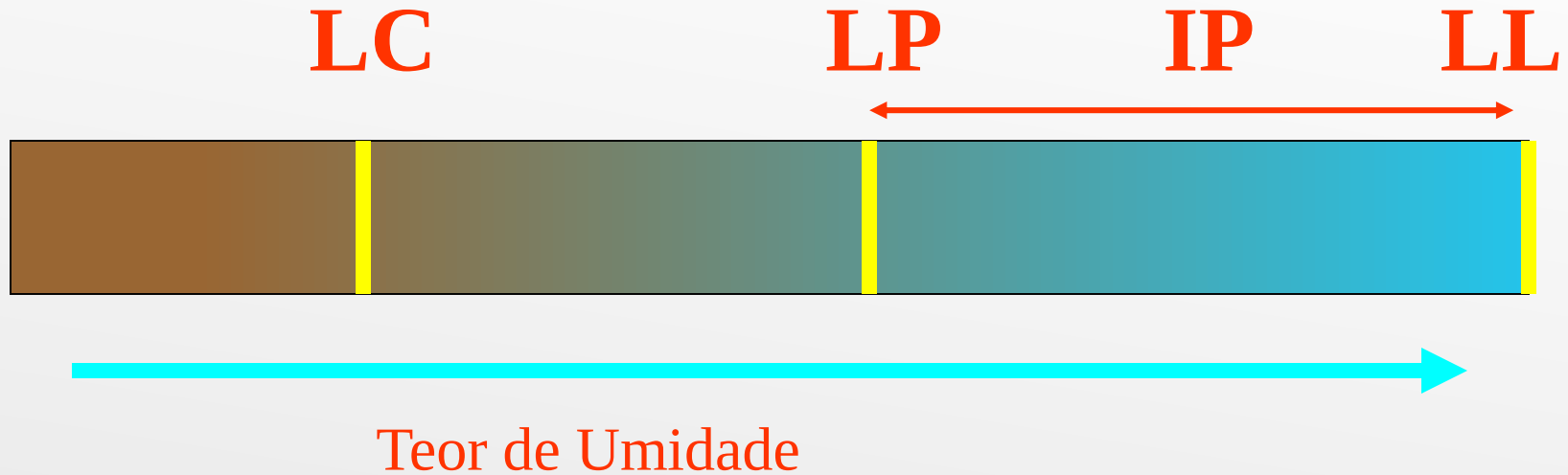
Fig. 6.4 Possible mechanisms of water adsorption by clay surfaces. (a) Hydrogen bonding. (b) Ion hydration. (c) Attraction by osmosis. (d) Dipole attraction.

Mitchell, 1976

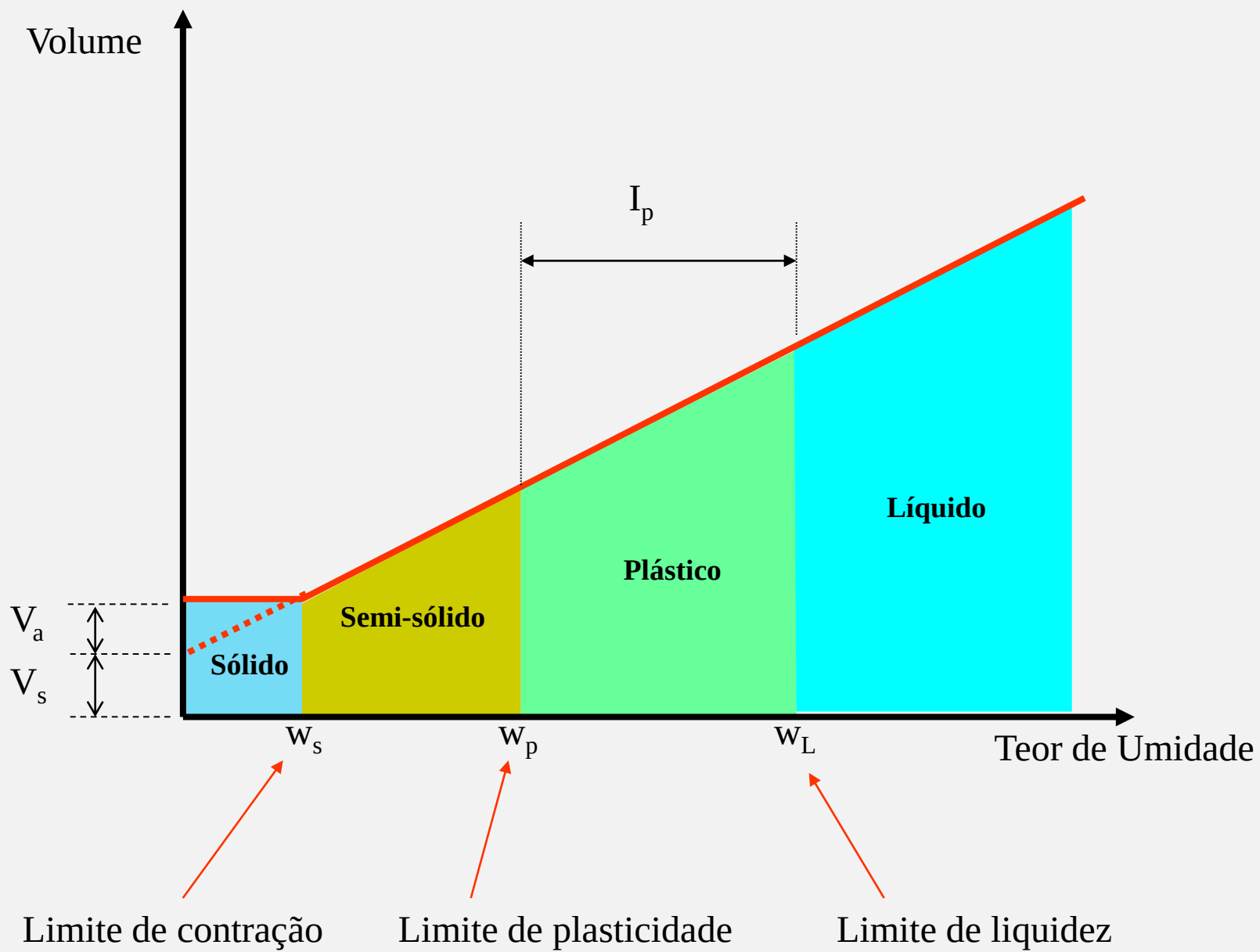
Limites de Consistência (Limites de Atterberg)

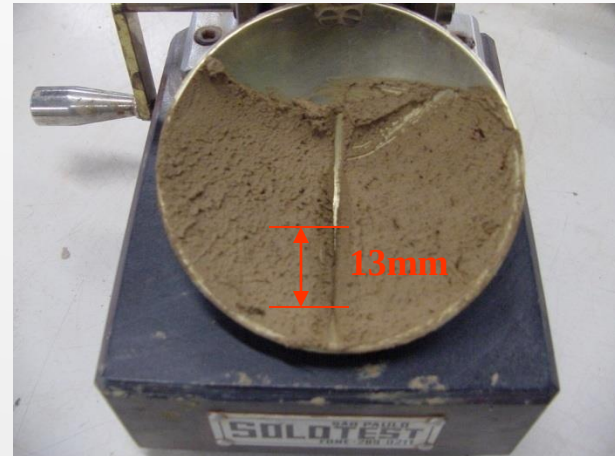


Limites de Consistências

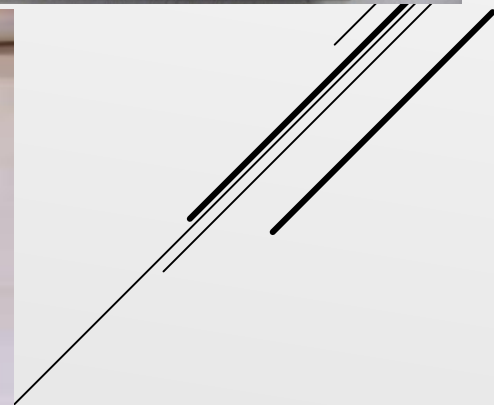


LL – limite de liquidez
LP – Limite de plasticidade
LC – Limite de contração
IP – Índice de Plasticidade

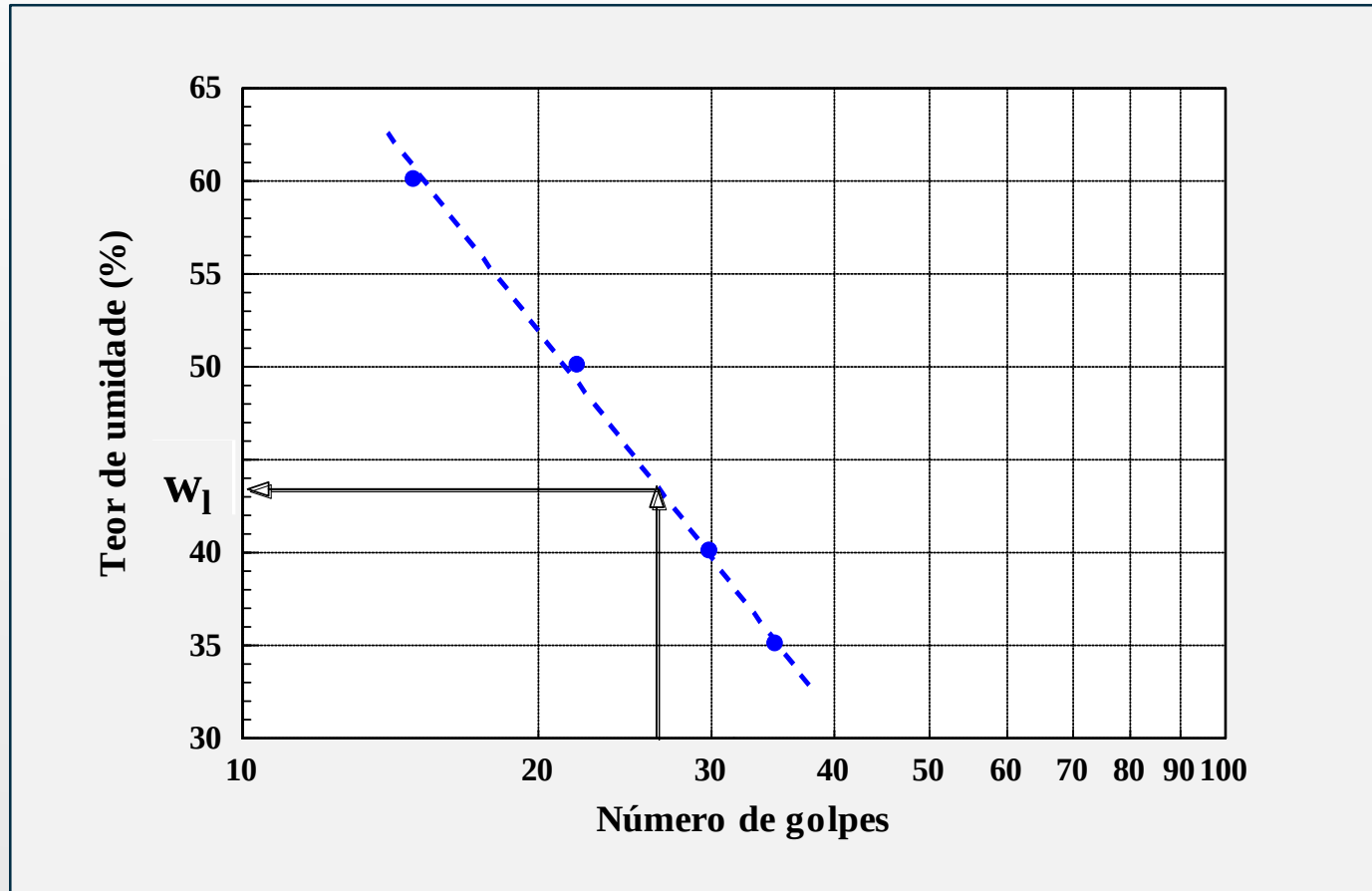




Ensaio de Limite de Liquidez
(Aparelho de Casagrande)



Limite de Liquidez

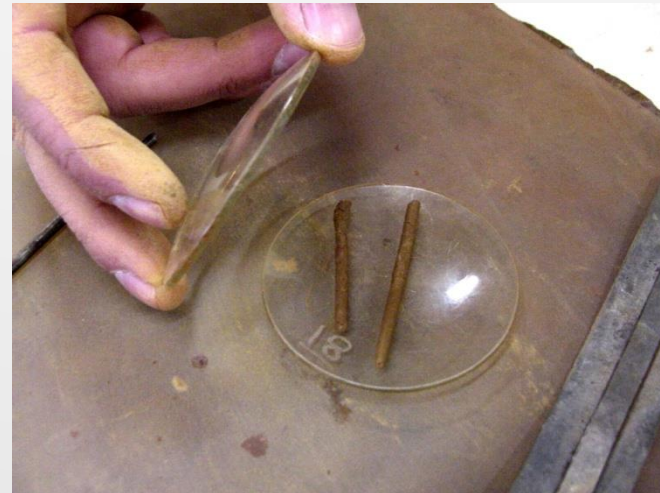
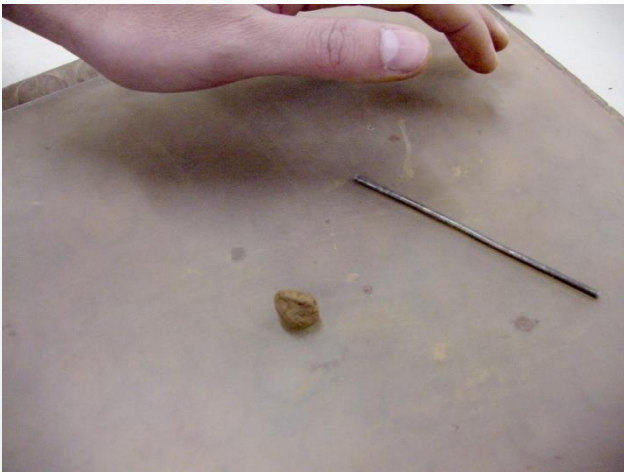


W_L = Limite de liquidez = LL

Limite de Liquidez (cone)

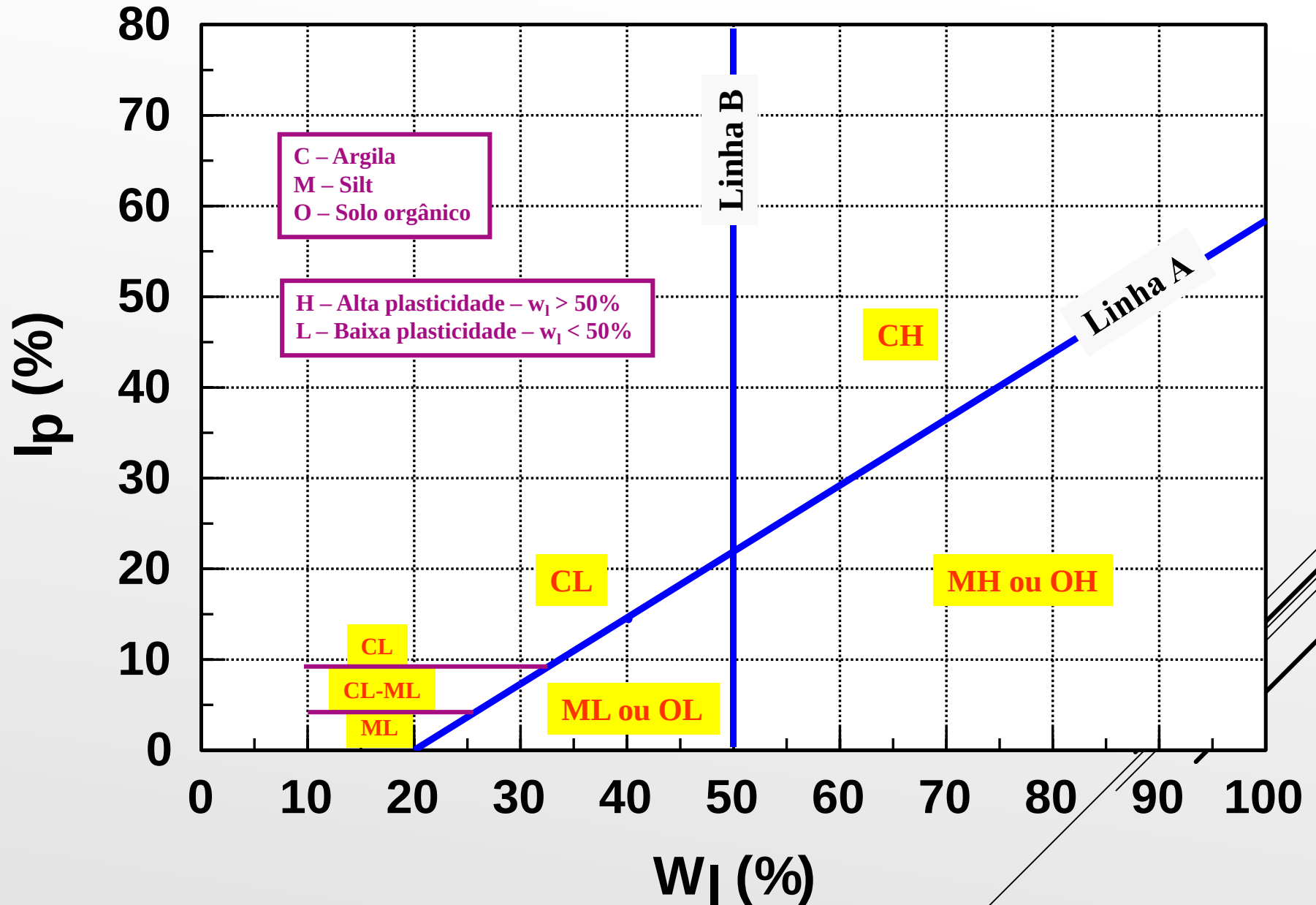


Limite de Plasticidade

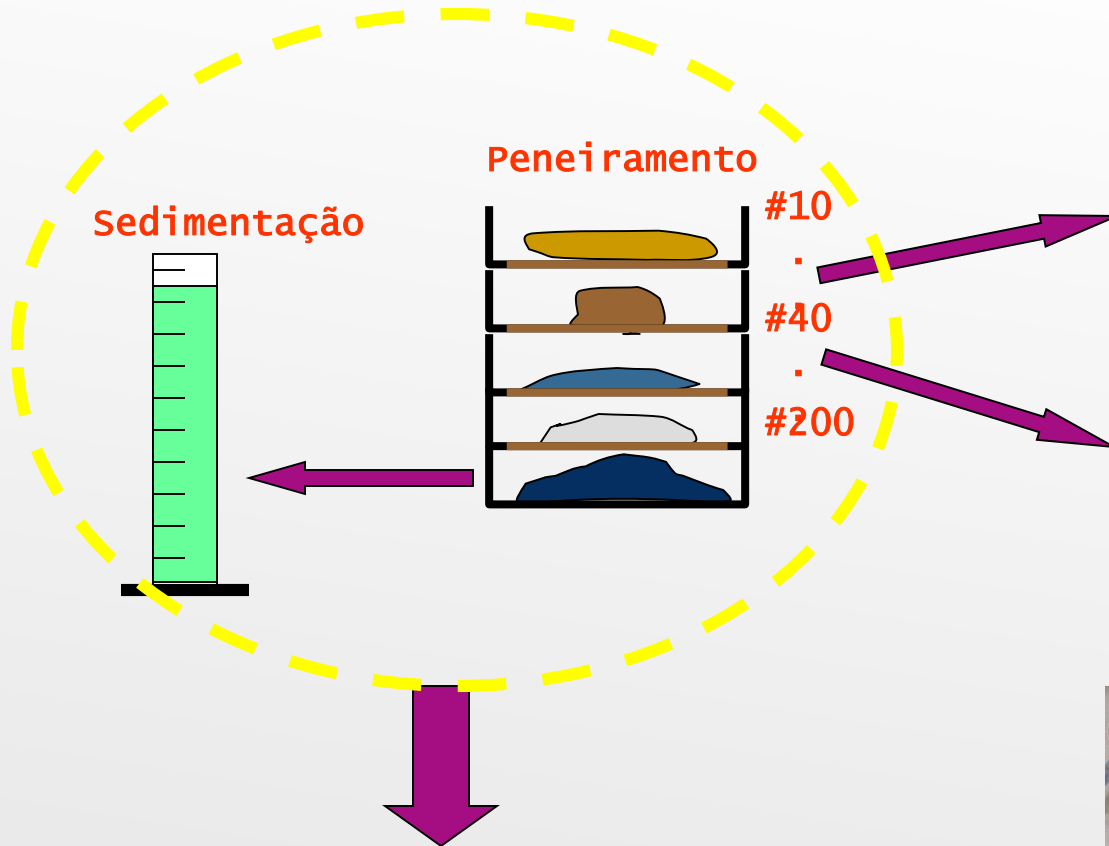


LP = média de três teores de umidades

Carta de Plasticidade



Ensaio de Caracterização



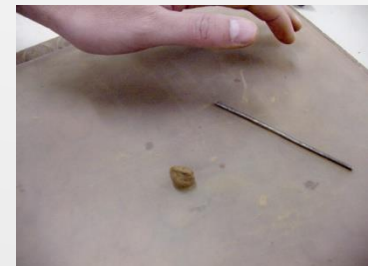
Densidade dos grãos



Aparelho de Casagrande (limite de liquidez)



Limite de plasticidade



Análise granulométrica

