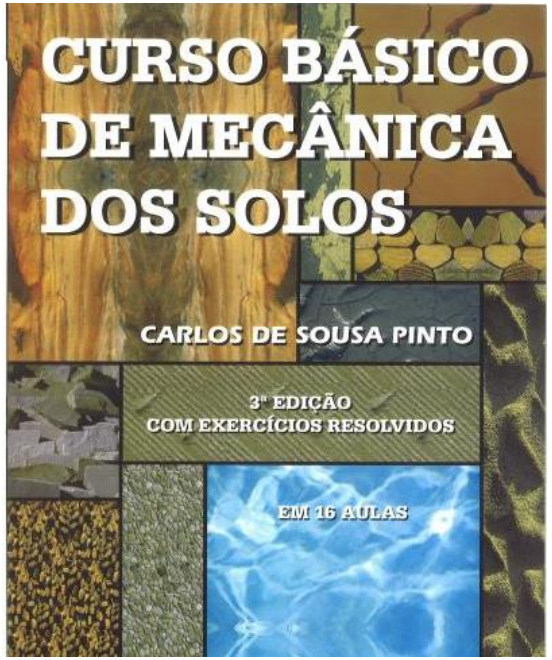
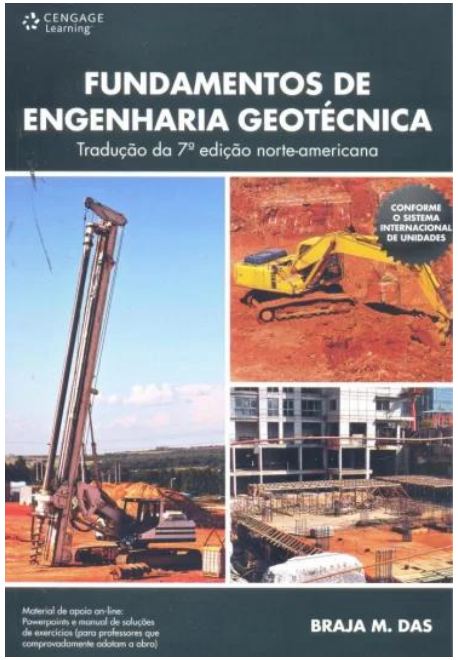
Natureza dos Solos

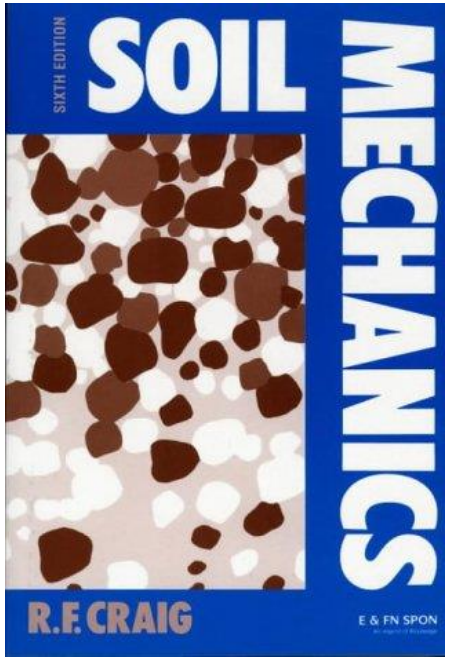
Caracterização

Prof. Fernando A. M. Marinho
2020

GEOCIÊNCIAS
USP



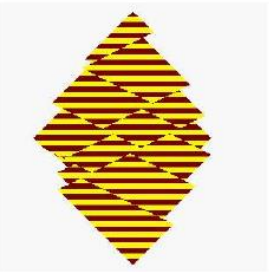




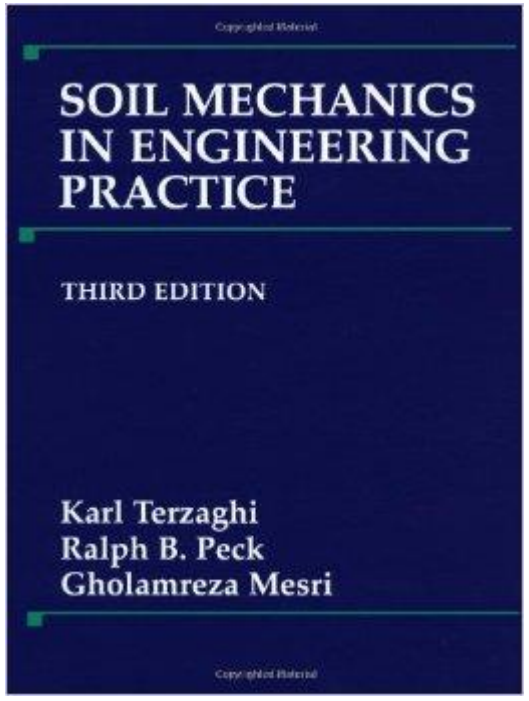
SOIL MECHANICS

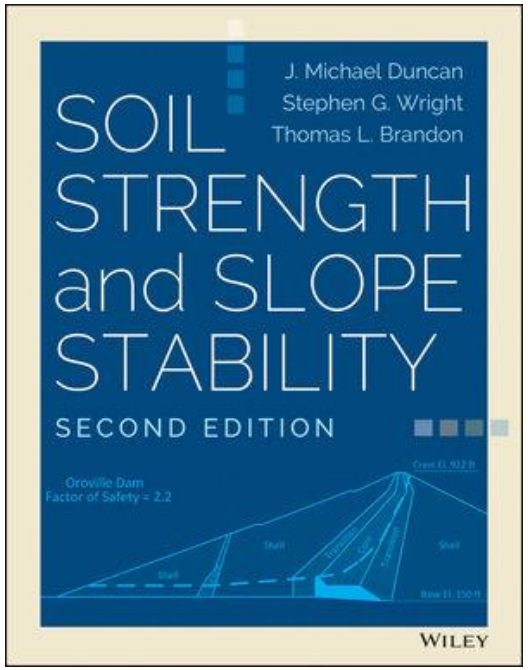
Arnold Verruijt

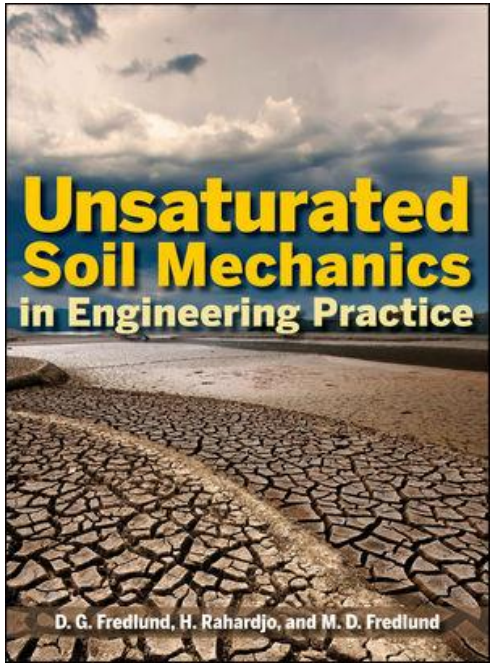
Delft University of Technology, 2001, 2006



This is the screen version of the book SOIL MECHANICS, used at the Delft University of Technology.
It can be read using the Adobe Acrobat Reader. Bookmarks are included to search for a chapter.
The book is also available in Dutch, in the file GrondMechBoek.pdf.
Exercises and a summary of the material, including graphical illustrations, are contained in the file SOLMEX.ZIP.
All software can be downloaded from the website http://geo.verruijt.net/.







FUNDAMENTALS OF

SOIL
MECHANICS

DONALD W. TAYLOR

ASSOCIATE PROFESSOR OF SOIL MECHANICS
MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

1948

New York · JOHN WILEY & SONS, Inc.
London · CHAPMAN & HALL, Limited

Características básicas dos solos

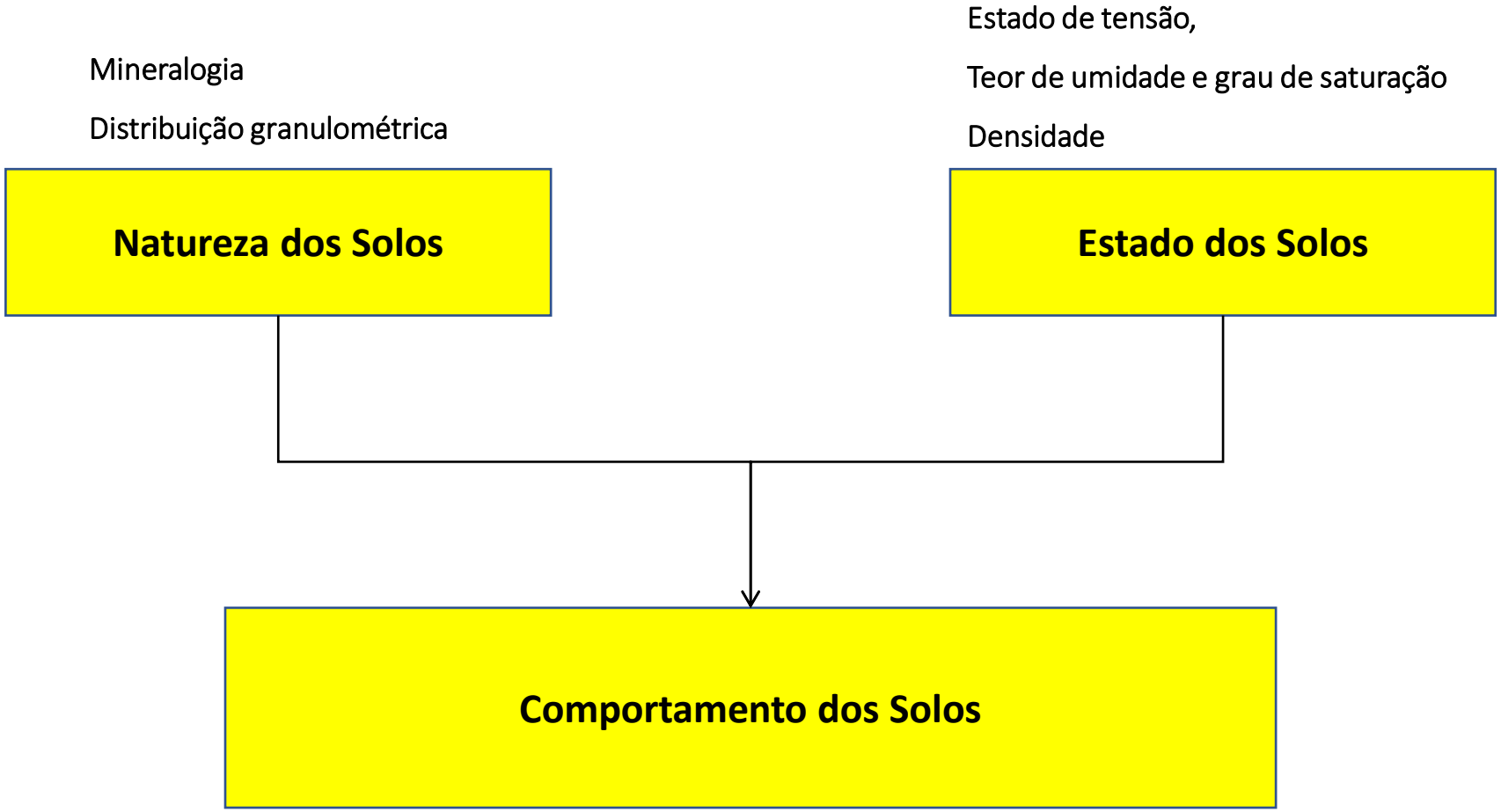
- O solo consiste de grãos (minerais e fragmentos de rochas) com ar e água nos vazios entre os grãos.
- Sob o ponto de vista da engenharia o solo não é um material sólido como o aço ou concreto, ele é um meio particulado.
- A quantidade de ar e água contida no solo varia de acordo com as condições locais.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

Descrição dos Solos

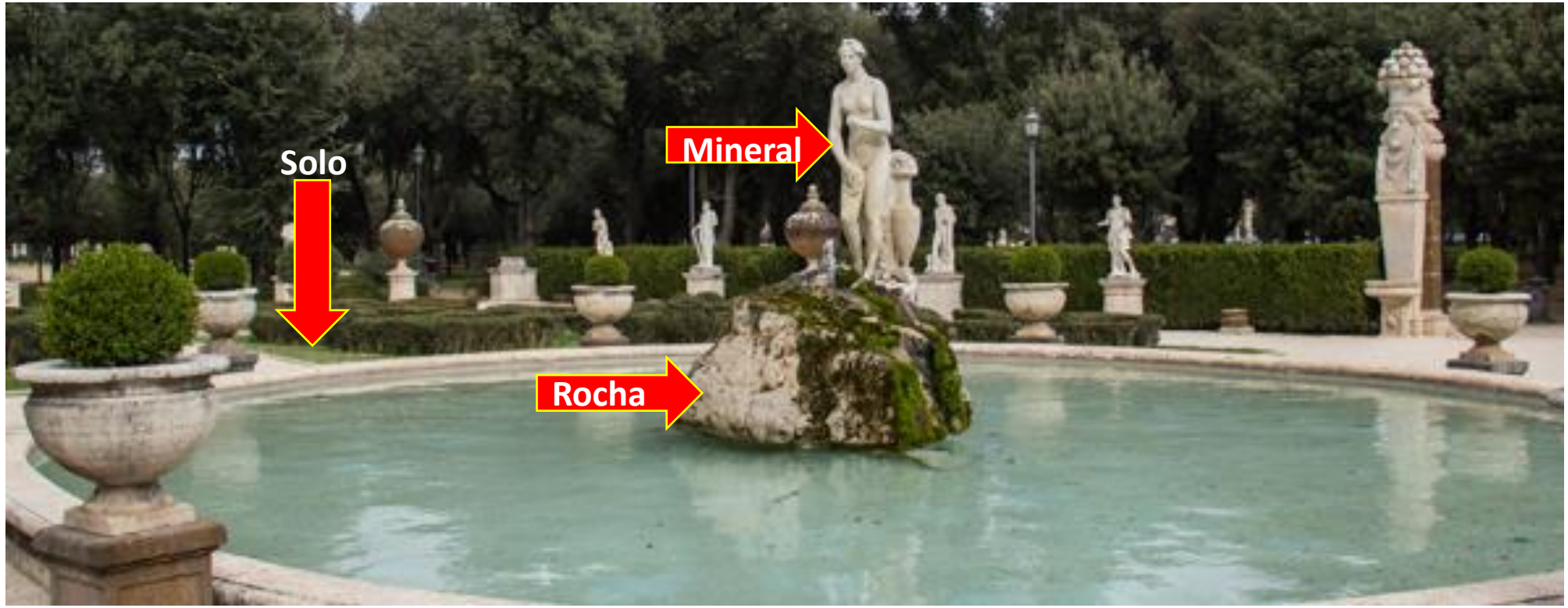
- A descrição dos engenheiros geotécnicos engloba o estado do solo e sua susceptibilidade para mudanças futuras.

- Estas mudanças podem ser devidas a: carregamento, drenagem, estruturas, e modificação da superfície do terreno

- As principais propriedades dos solos que os engenheiros geotécnicos estão interessados são:
  - Resistência
  - Rigidez
  - Permeabilidade
- Isto depende em primeiro lugar :
  - Dos grãos do solo (mineralogia, tamanho e forma), **Natureza**
  - do peso específico **Estado**
  - do Estado de tensão, **Estado**
  - do teor de umidade e grau de saturação, **Estado**


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

A “Natureza”



O solo



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 solo é formado de minerais primários (que vêm diretamente da rocha) e de minerais secundários (que se originam da intemperização dos minerais primários)



Minerais primários

Quartzo
Moscovita
Biotita
Mica

Minerais secundários

Hematita
Gipsita
Mineral argila
Calcita
Gypsita

Minerais Argila

Caulinita
Esmectita
Ilita
Biotita

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:

Natureza • Destruição da rocha mãe (intemperismo, decomposição, erosão)

Natureza • Transporte para o local de deposição (gravidade, fluxo de água, vento)

Estado • Condições ambientais no local da deposição (inundação em planície, bancos em rios, em lagos, no mar)

Estado • 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 pode 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.

Intemperização Esquemática



Vento
Chuva
Granizo
Gelo

Calor
Frio

Intemperização Mecânica



Desagregação da rocha mãe

Intemperização Química (água)

Intemperização espontânea

Minerais, nutrientes (ions em solução)

Óxidos de ferro e alumina)

Silica

Argila 3 camadas (esmectita)

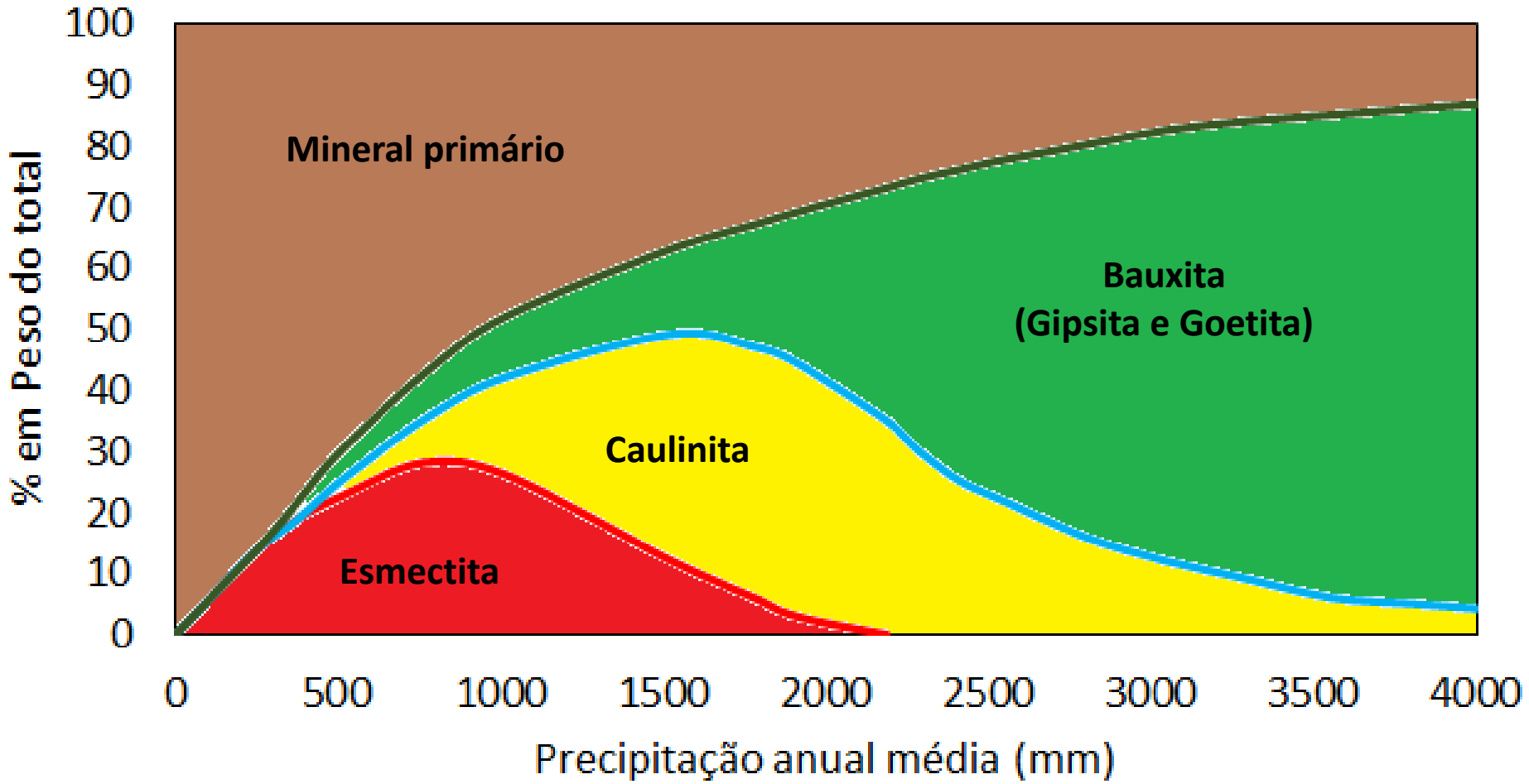
Argila 2 camadas (Caolinita)

Silte

Areia (quartzo)

Baseado em
http://www.seafriends.org.nz/enviro/soil/geosoil.htm

Produto da intemperização do Basalto no Havaí

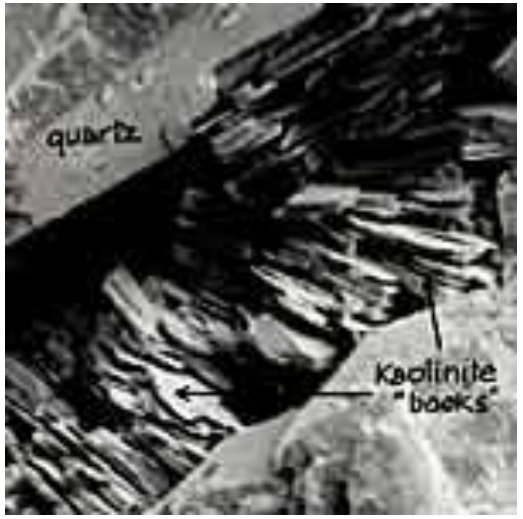


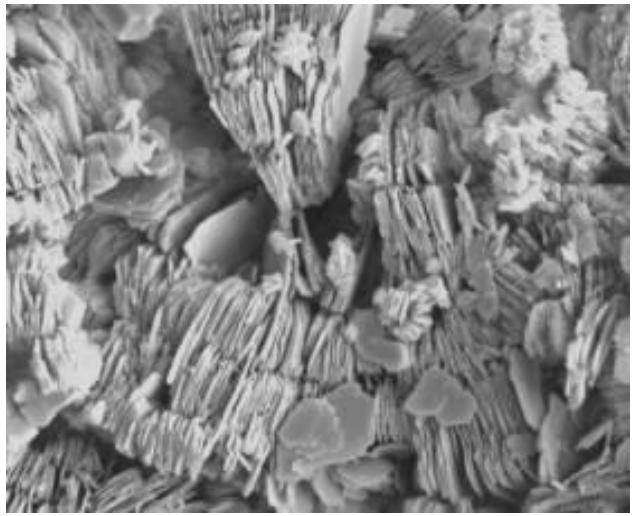
Modificado de Sherman (1952)

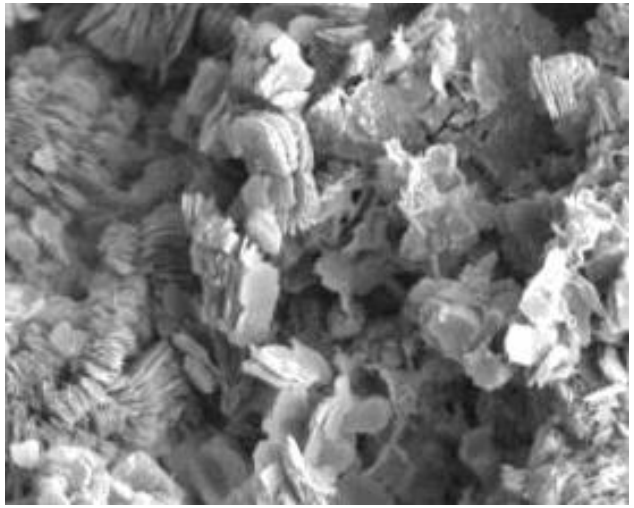
Tipos de minerais Argila

São três os principais tipos de minerais argila presentes nos solos:

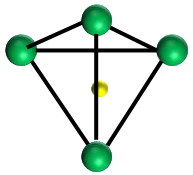
- As Caolinitas : Formada pela decomposição de feldspato alcalino (i.e. granito)
- Ilitas : São os mais comuns. São formados pela decomposição de algumas micas
- Montmorilonita : São do grupo das Esmectitas. São formados pela alteração de rochas ígneas básicas contendo silicatos ricos em Ca e Mg. São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



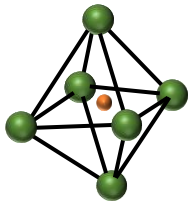




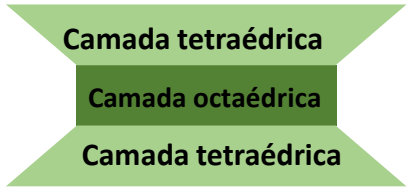
Estrutura mineral da Montmorilonita



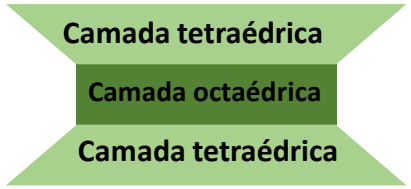
Oxigênio
Sílica

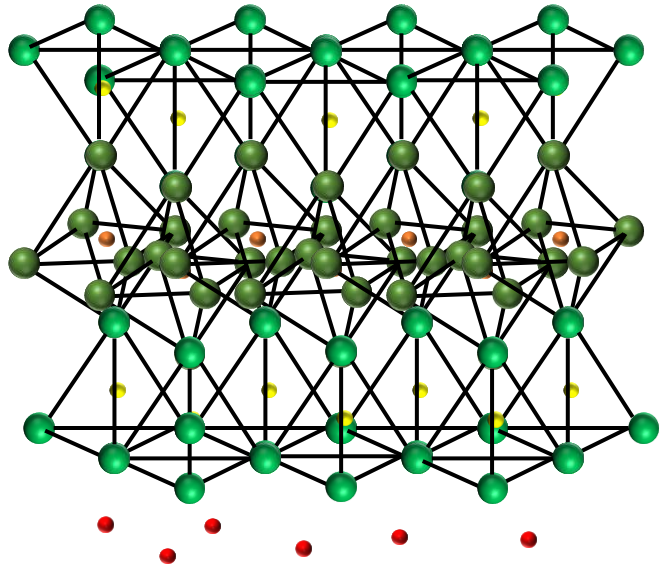


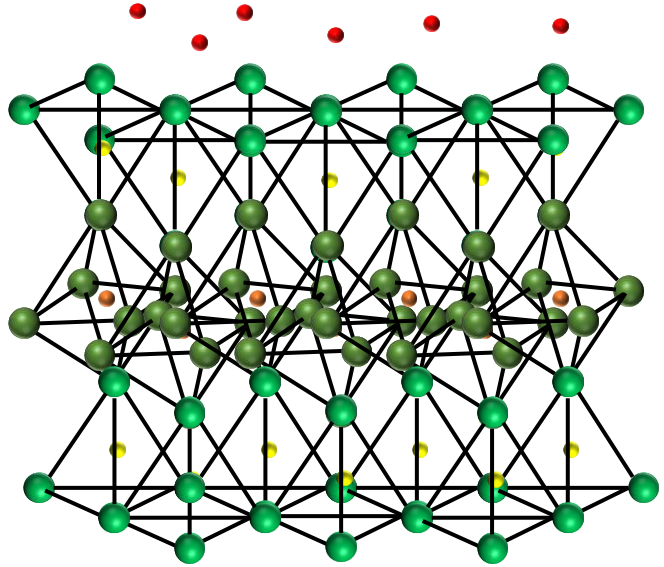
Oxigênio, Hidroxila
Alumínio



Água e Cátions trocáveis





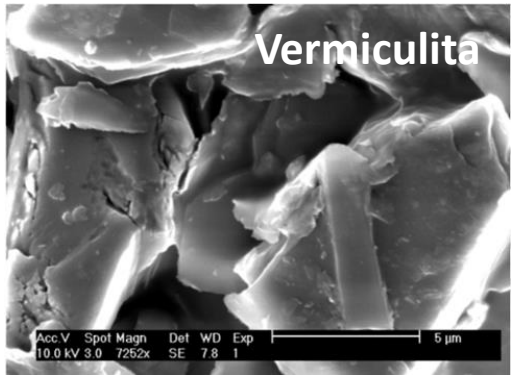




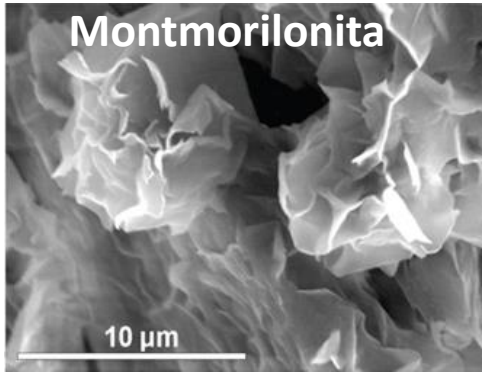
https://www.grainsa.co.za/soil-the-producers-most-important-asset--part-4-the-clay-minerals



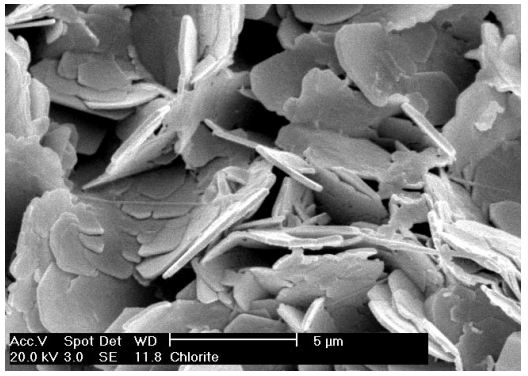
https://en.wikipedia.org/wiki/Mica



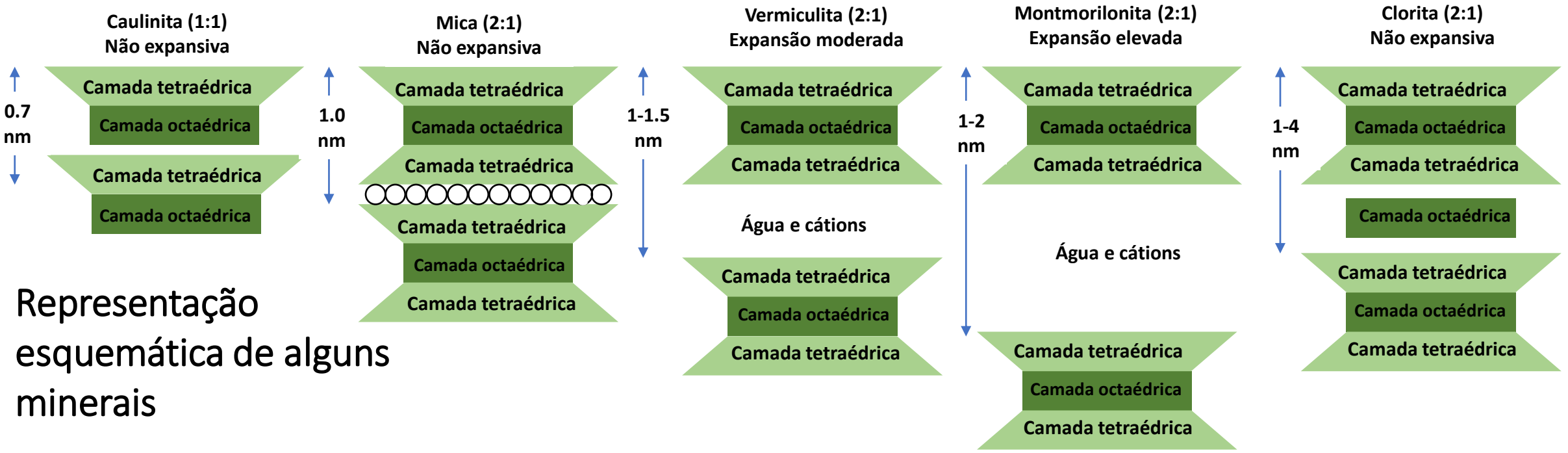
Campos et al (2009)



https://www.grainsa.co.za/soil-the-producers-most-important-asset--part-4-the-clay-minerals



https://www.minersoc.org/images-of-clay.html



Representação esquemática de alguns minerais

Modificado de: https://www.grainsa.co.za/soil-the-producers-most-important-asset--part-4-the-clay-minerals



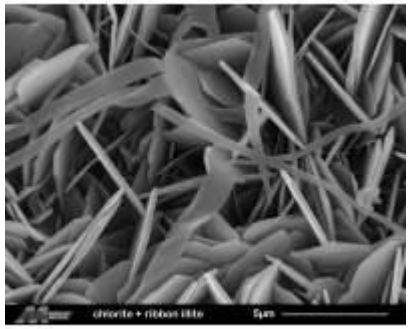
Geoterapia - o poder de argila...

http://www.news.ispa.com.br/blog/argila

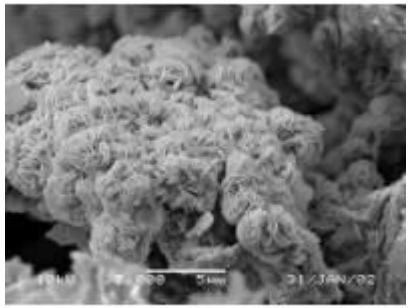
Argilas



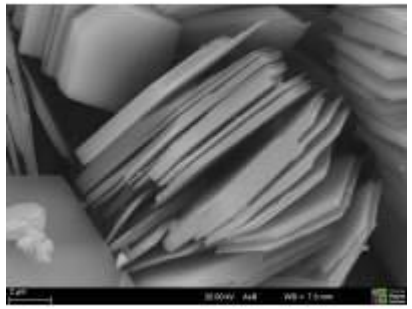
Allophane



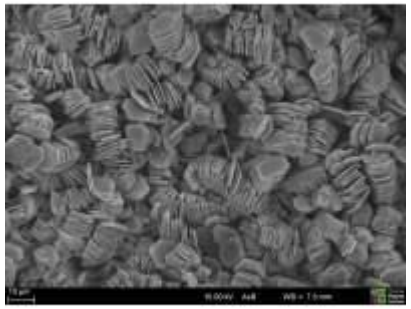
Chlorite + illite



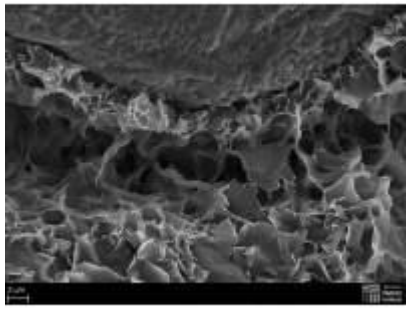
Gibbsite



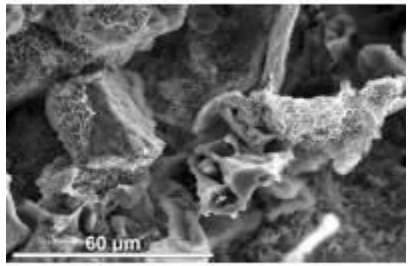
Kaolinite



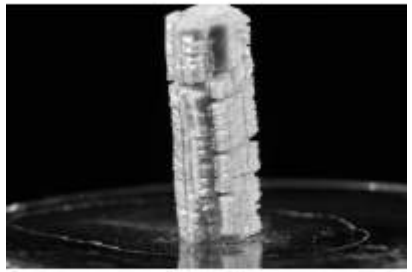
Kaolinite



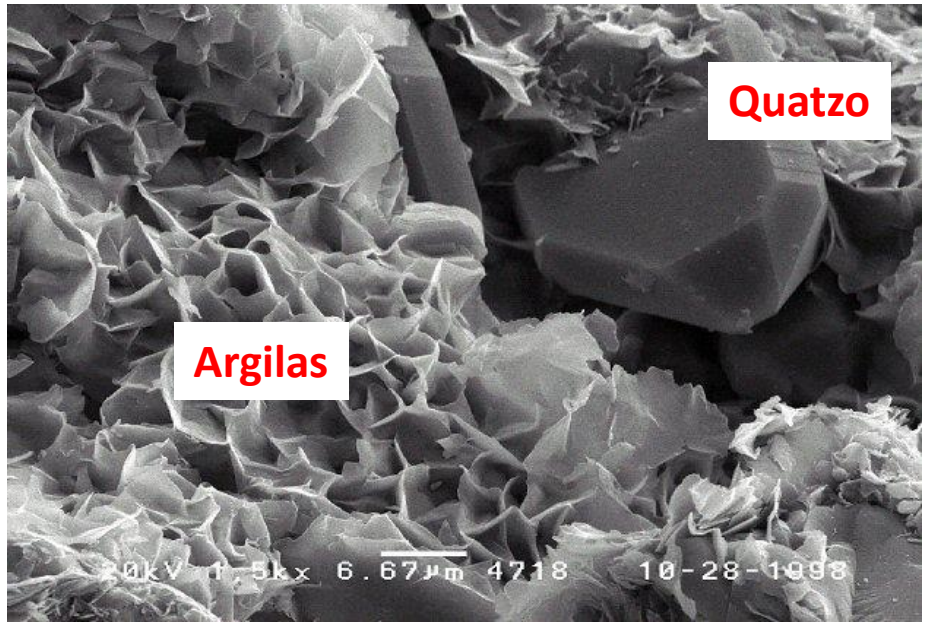
Smectite



Smectite, montmorillonite



Vermiculite



OMNI Laboratories, Inc

http://www.minersoc.org/gallery.php?id=2&cform_is_valid=1&cf_pager_page=1

Solos Residuais



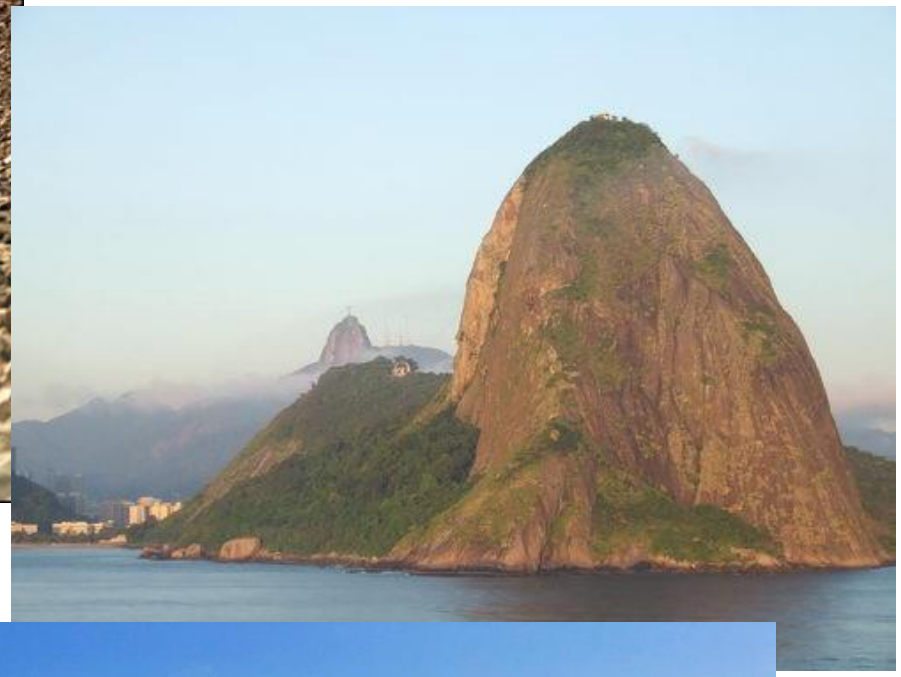






Solos Transportados









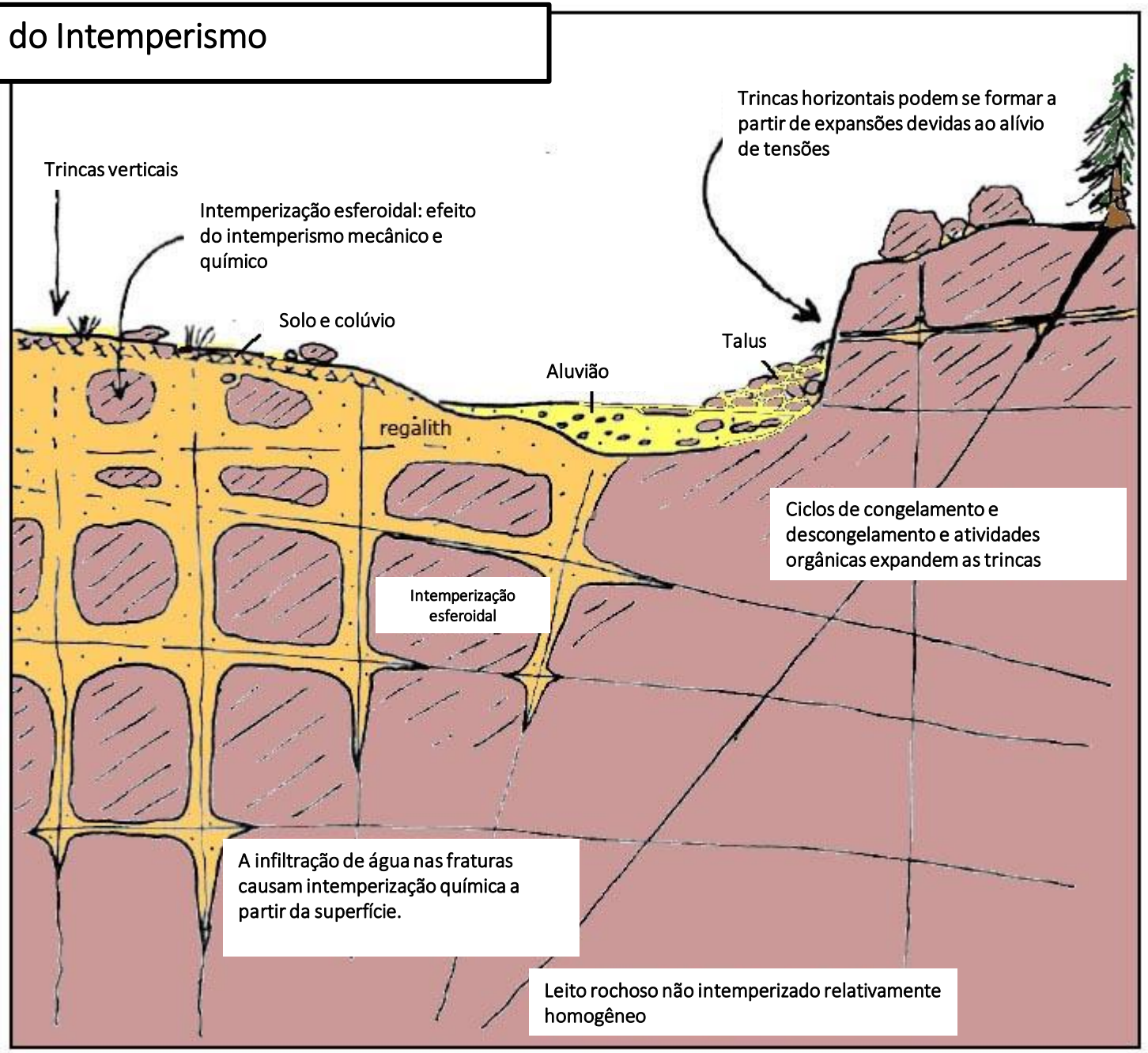

Meredith Osborne






Pamela Gore 1995

Aspectos do Intemperismo



Modificado de
http://geologycafe.com/erosion/weathering.html

Tamanho das Partículas, Forma e Distribuição

Barril



Areia

Prato



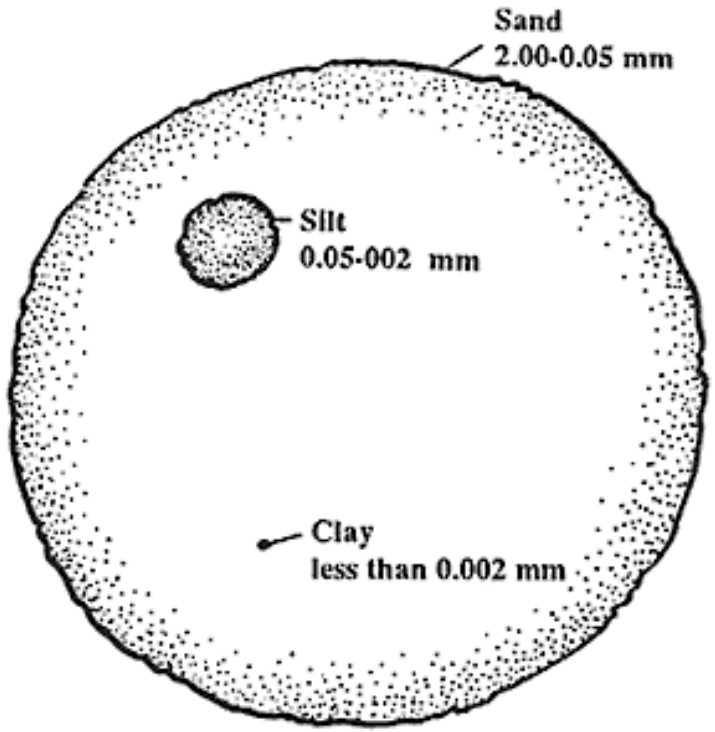
Silte

Moeda



Argila

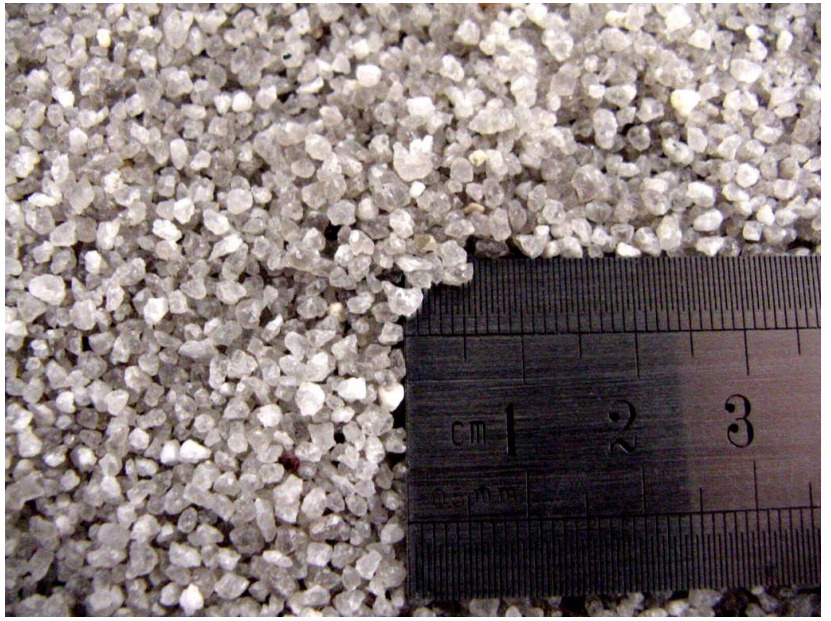
Tamanho das Partículas



http://www.ctahr.hawaii.edu/mauisoil/a_comp01.aspx

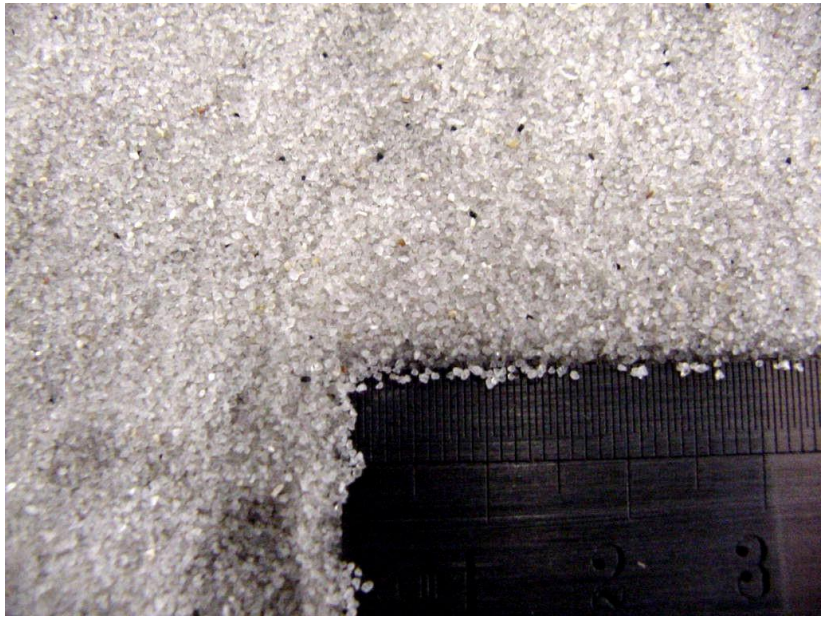






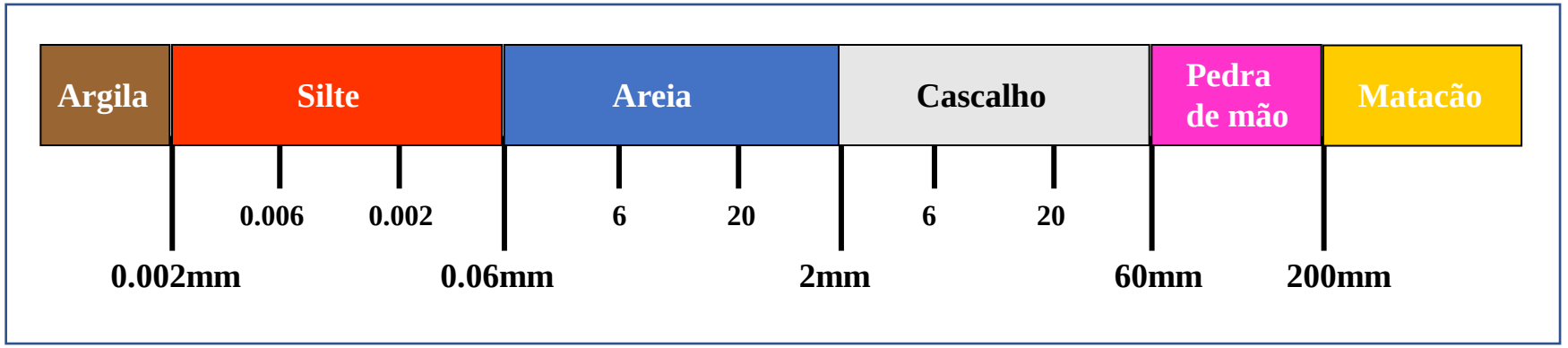
Areias





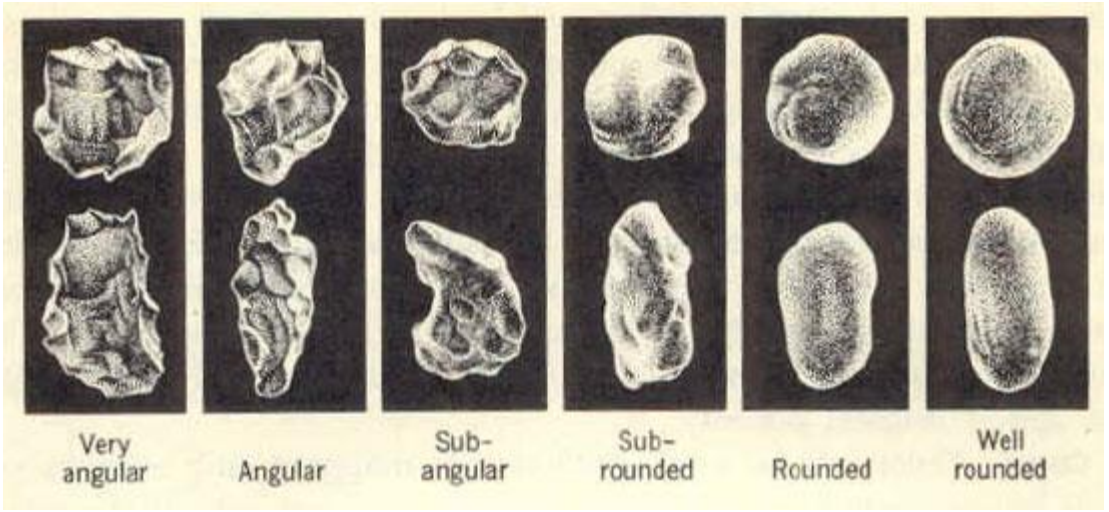
Tamanho das Partículas

- 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 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/

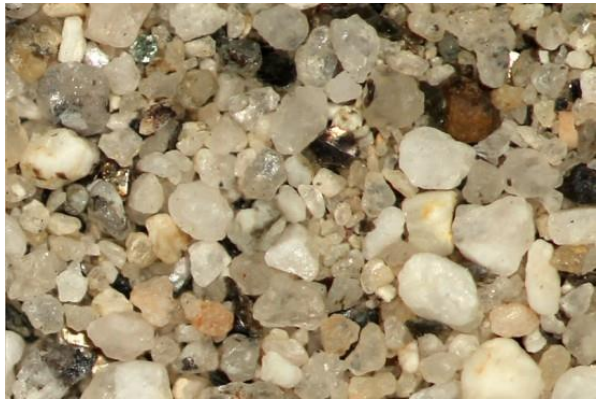


- **Aredondados – água ou ar – sedimento transportado**
- **Angular – Faces planas e quinas vivas – solos residuais**

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



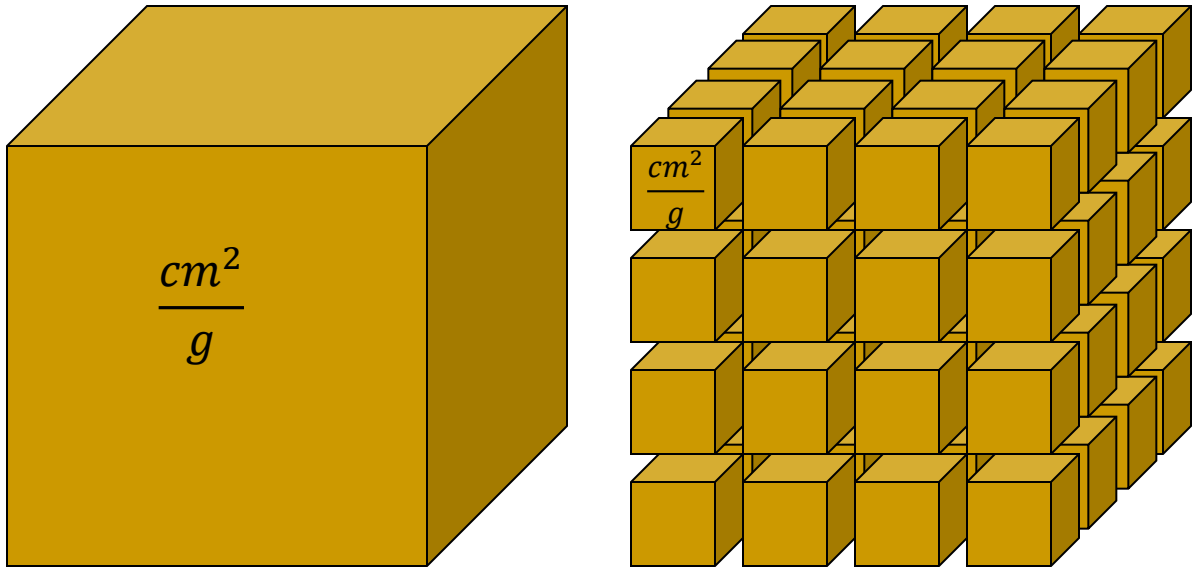
Kenia – Coast – Beach at Pate island



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 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.



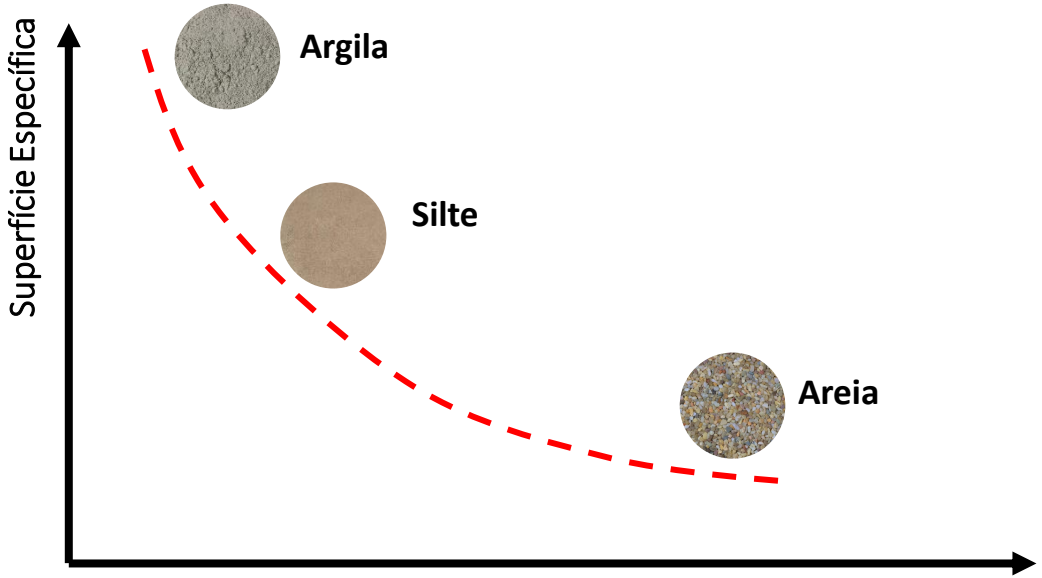
Superfície específica.

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}

[a]Thickness = 10^{-7} cm

Hopmans (2002)





Caulin



Bentonita



Solo Laterítico



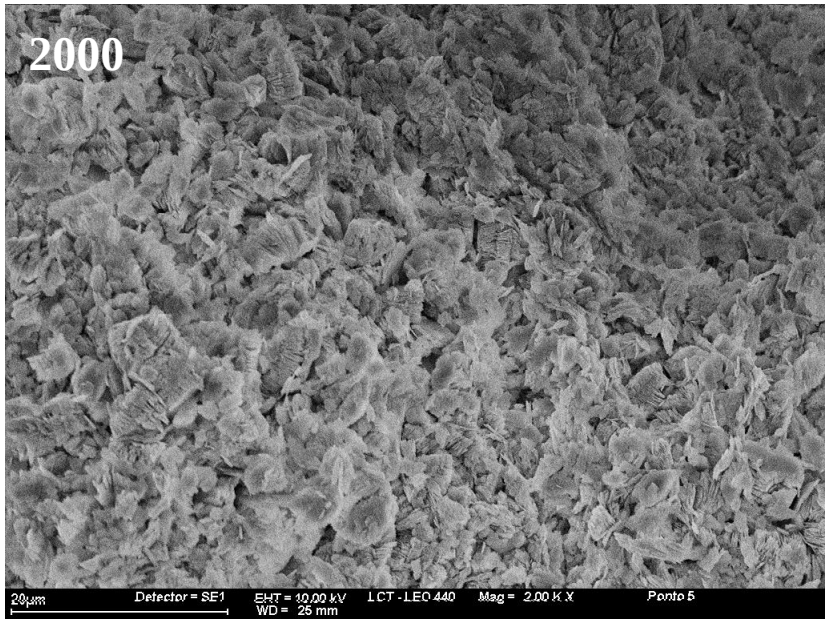
Solo Residual

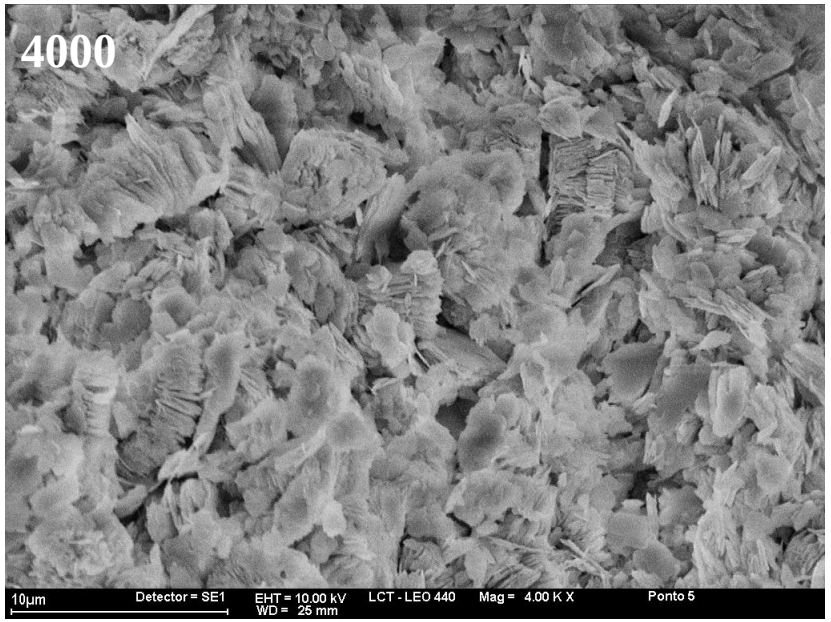


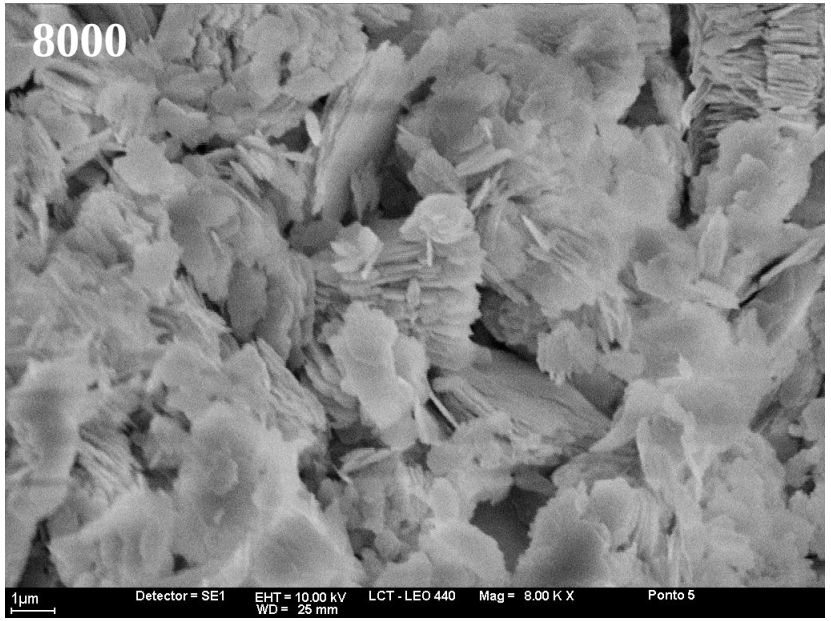
Solo Residual - compactado

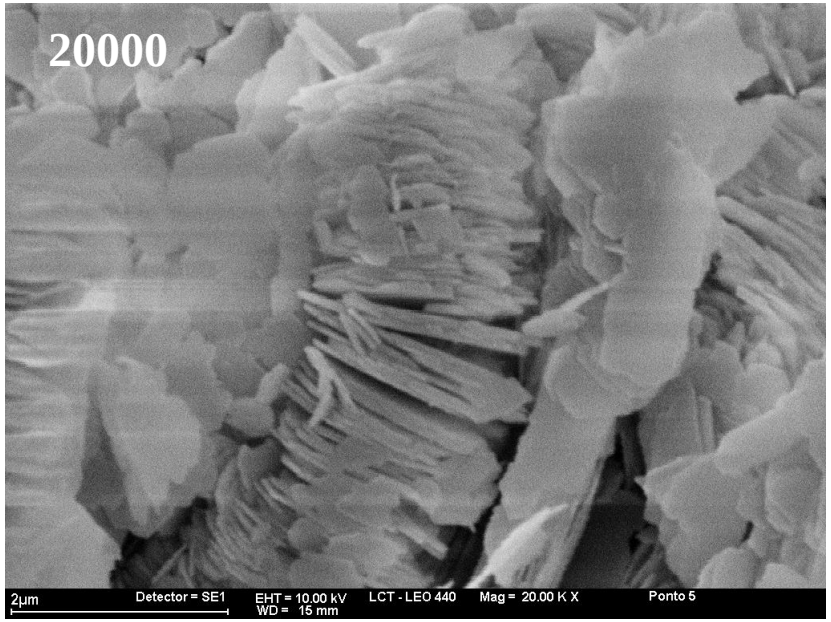
Solo Residual de Gnaisse - compactado

Microscopia Eletrônica



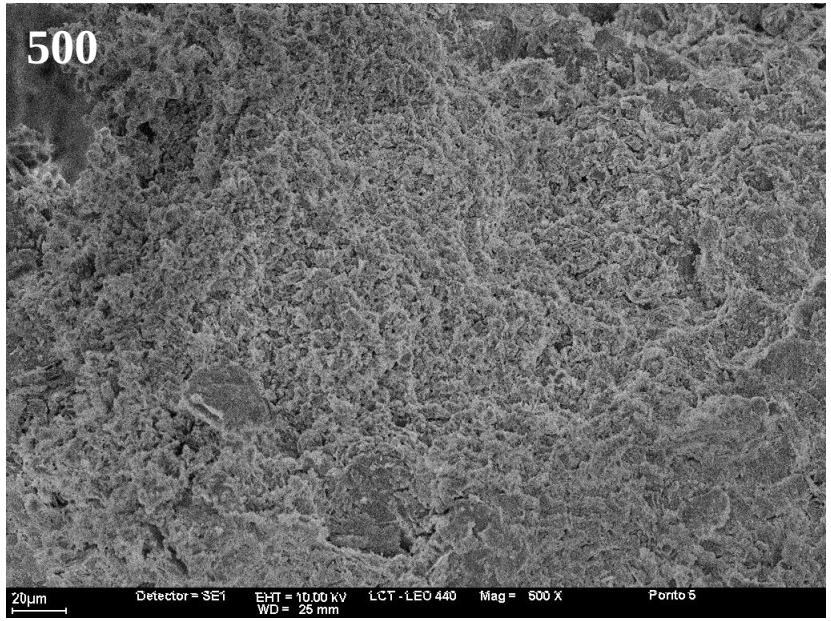


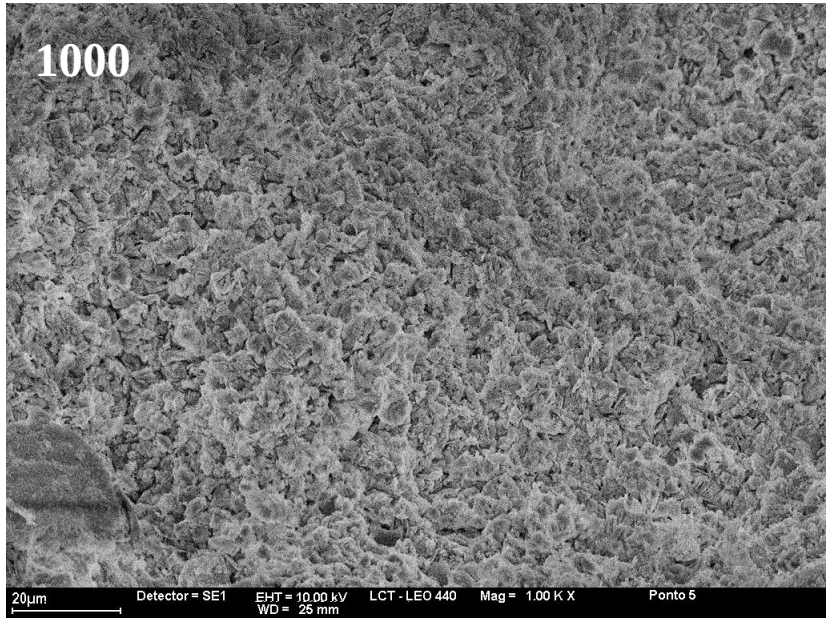


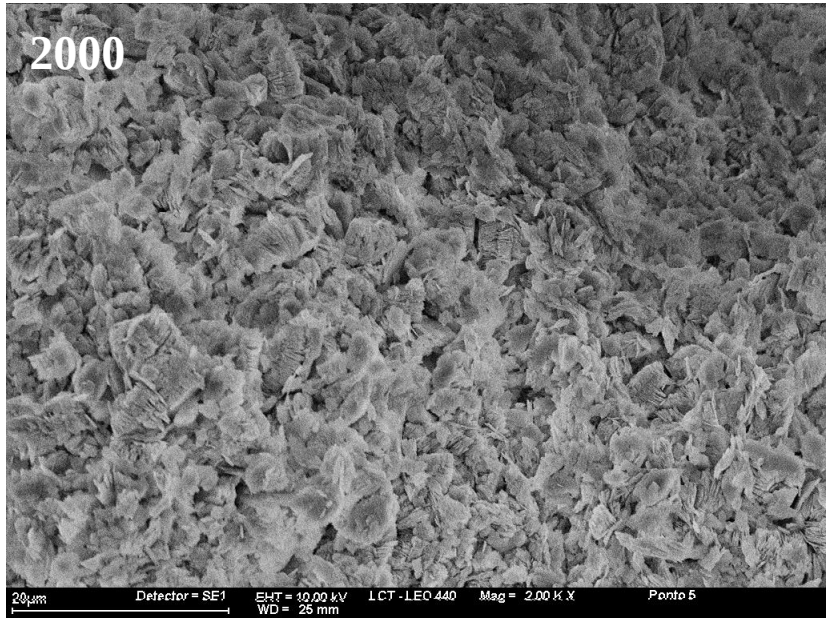


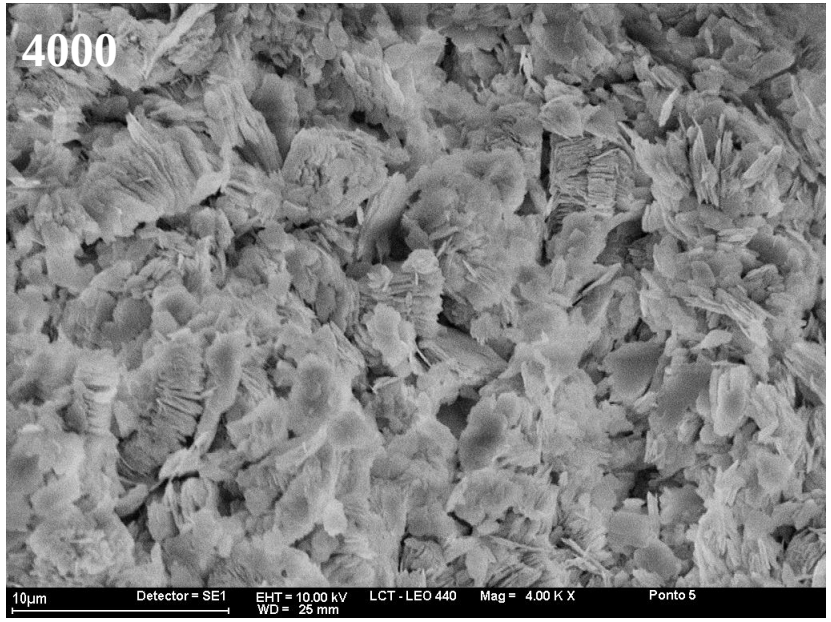
Solo Residual de Gnaisse - compactado

Microscopia Eletrônica











Solo Residual

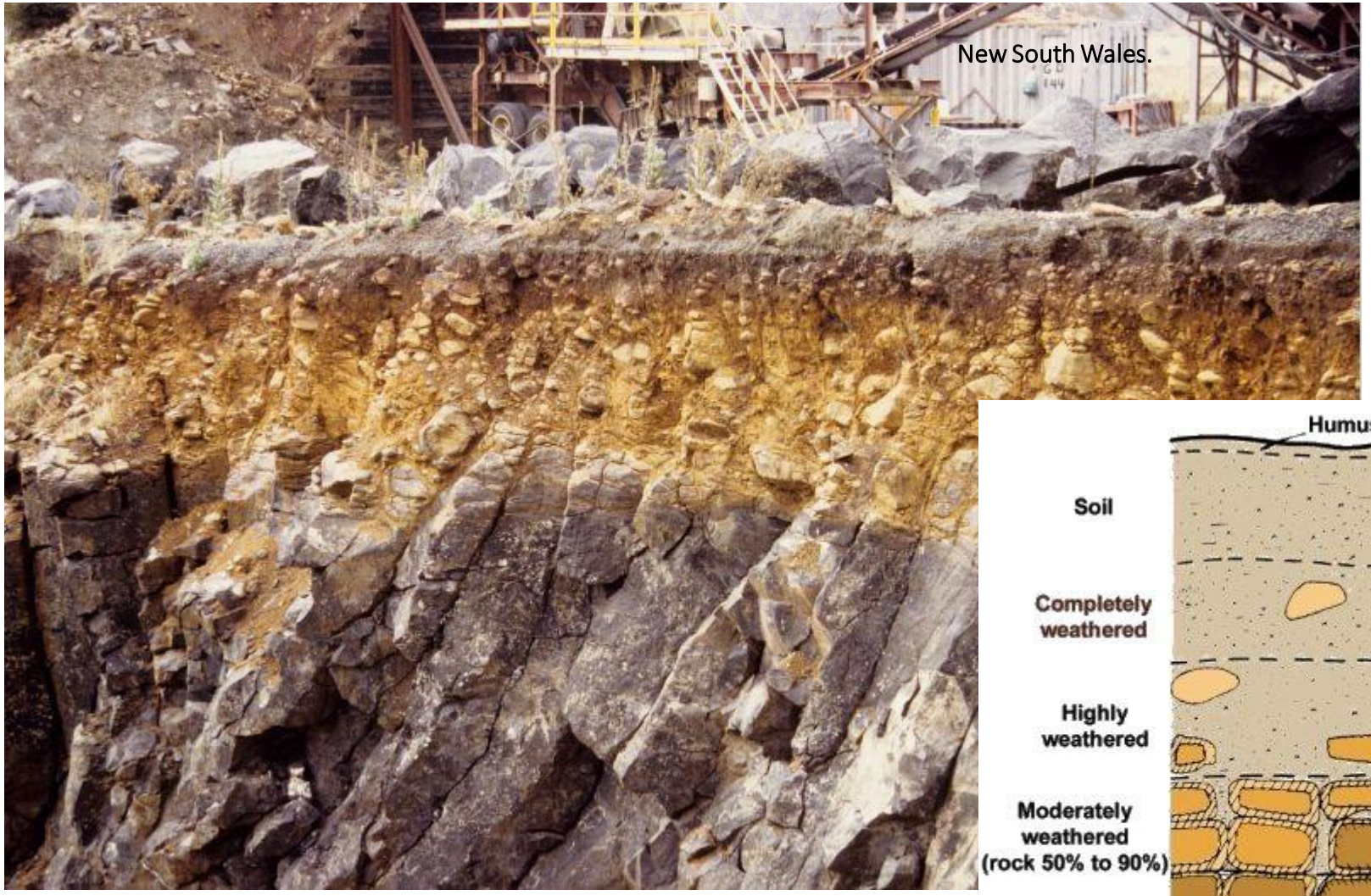


Solo Residual



Turfa – Solo orgânico



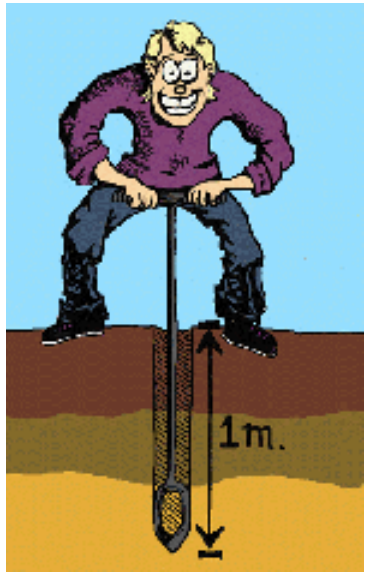


http://crcleme.org.au/Educ/rgg/4-mt_oberon/index.html

Little (1969)

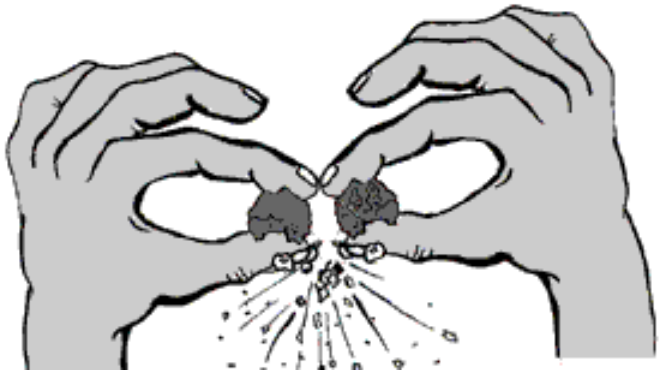
Análise Tátil Visual

Análise Tátil Visual









http://soil.gsfc.nasa.gov/pvg/consist.htm

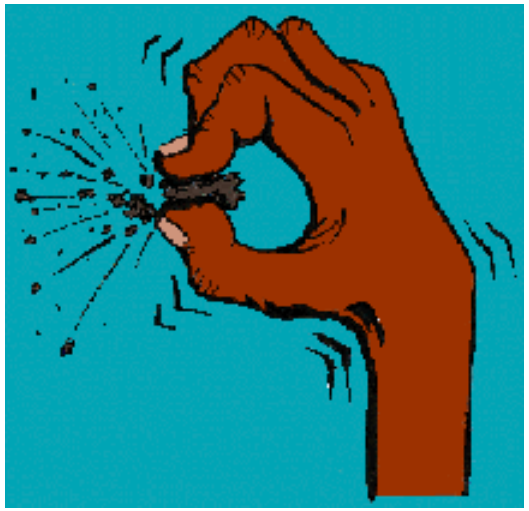
Análise Tátil Visual



Solo solto



Solo friável



Solo firme



Solo extremamente firme

http://soil.gsfc.nasa.gov/pvg/consist.htm



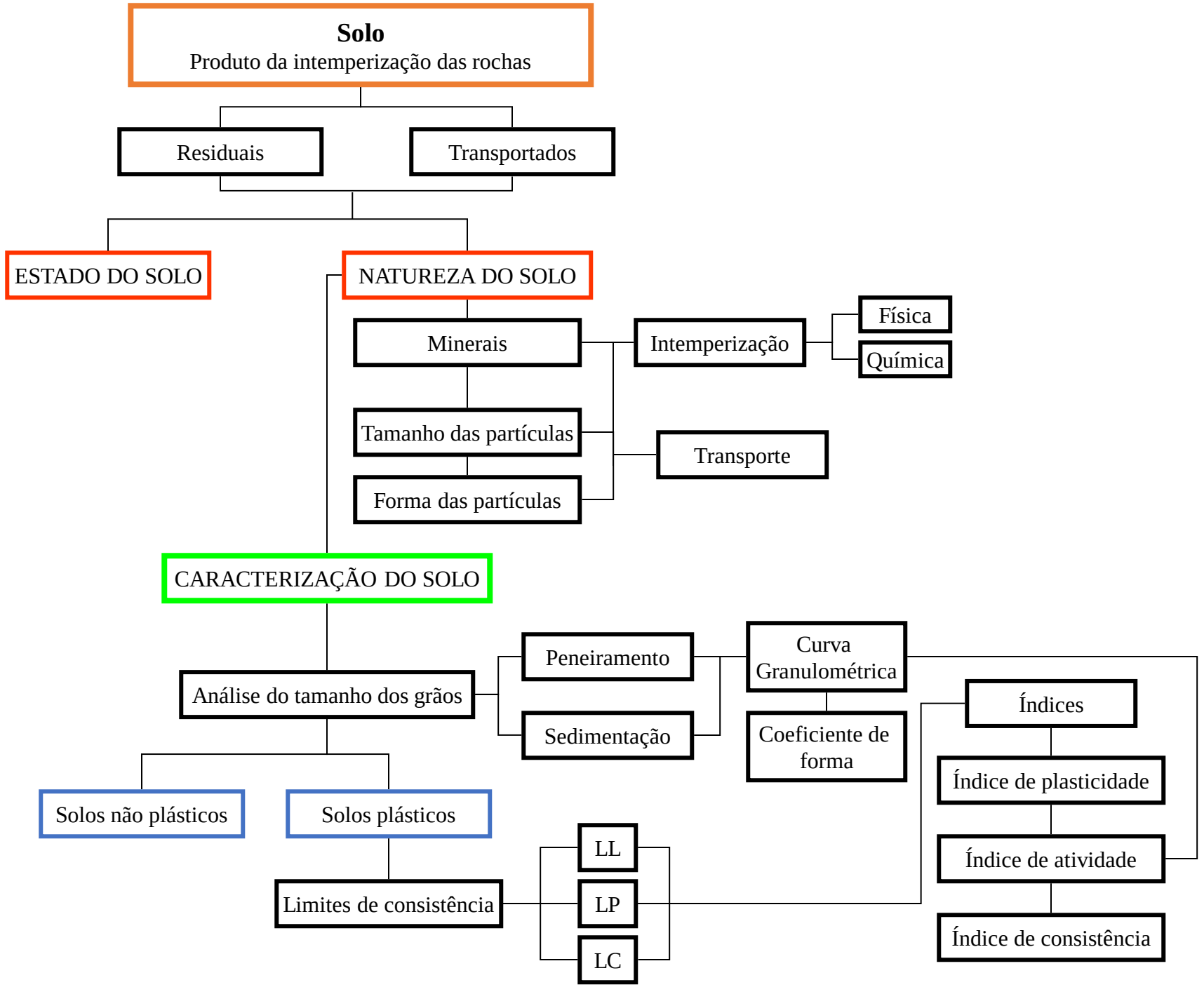


Amostragem para Caracterização

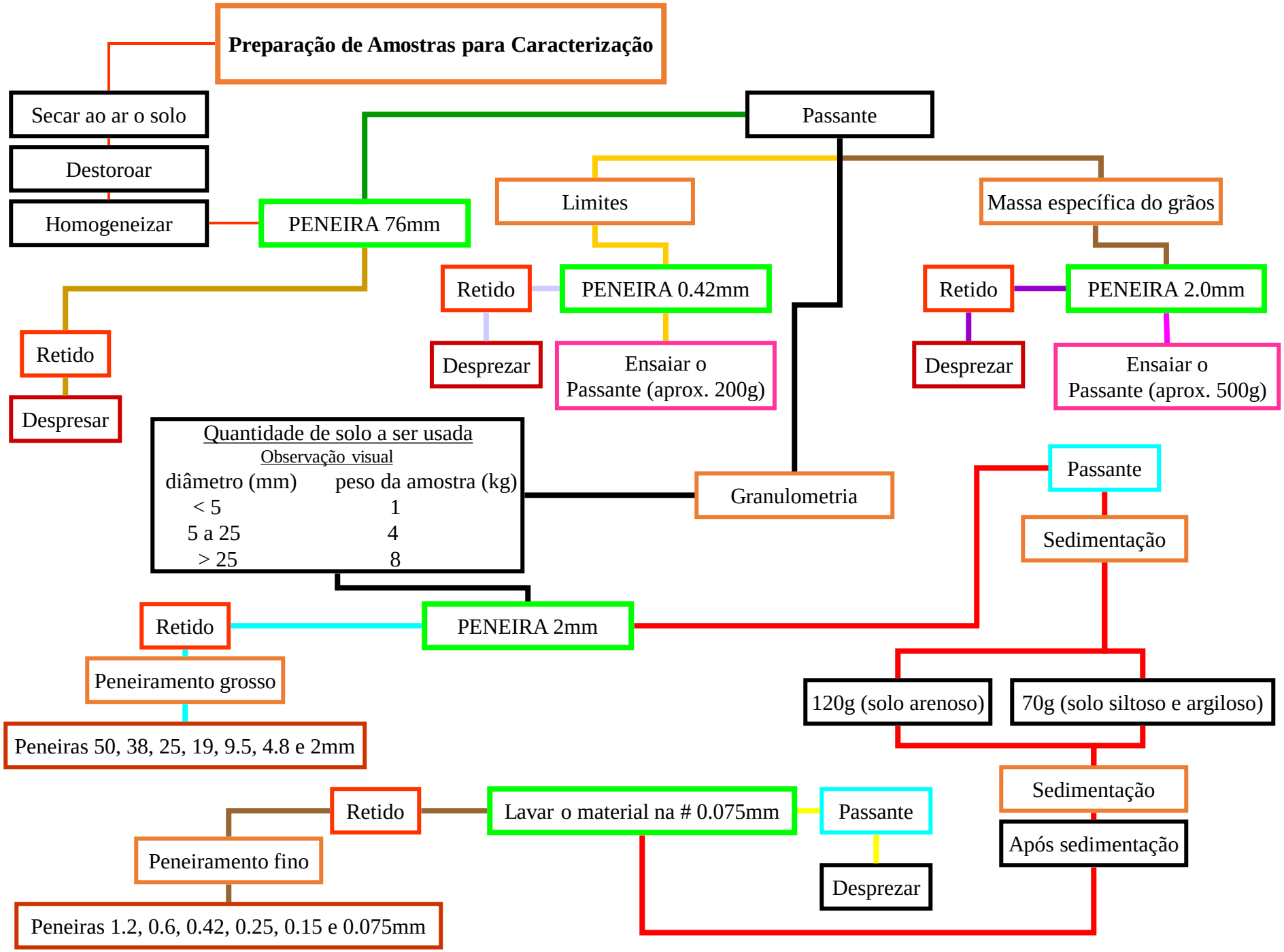







Solo
Produto da intemperização das rochas
Residuais
Transportados
ESTADO DO SOLO
NATUREZA DO SOLO
Minerais
Intemperização
Física
Química
Tamanho das partículas
Forma das partículas
Transporte
CARACTERIZAÇÃO DO SOLO
Análise do tamanho dos grãos
Peneiramento
Sedimentação
Curva Granulométrica
Coeficiente 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


Preparação de Amostras para Caracterização
Secar ao ar o solo
Destoroar
Homogeneizar
PENEIRA 76mm
Passante
Retido
Despresar
Limites
Retido
PENEIRA 0.42mm
Desprezar
Ensaiar o
Passante (aprox. 200g)
Massa específica do grãos
Retido
PENEIRA 2.0mm
Desprezar
Ensaiar o
Passante (aprox. 500g)
Quantidade de solo a ser usada
Observação visual
diâmetro (mm) peso da amostra (kg)
< 5 1
5 a 25 4
> 25 8
Granulometria
Retido
PENEIRA 2mm
Passante
Sedimentação
Peneiramento grosso
Peneiras 50, 38, 25, 19, 9.5, 4.8 e 2mm
120g (solo arenoso)
70g (solo siltoso e argiloso)
Sedimentação
Após sedimentação
Retido
Lavar o material na # 0.075mm
Passante
Desprezar
Peneiramento fino
Peneiras 1.2, 0.6, 0.42, 0.25, 0.15 e 0.075mm

Determinação da Distribuição Granulométrica







Peneiramento

Determinação da Distribuição Granulométrica

Lei de Stokes

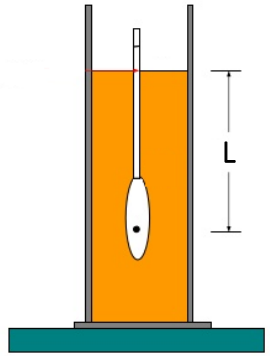
$$v_g = \frac{d^2(\rho_s - \rho_w)}{18\eta}$$

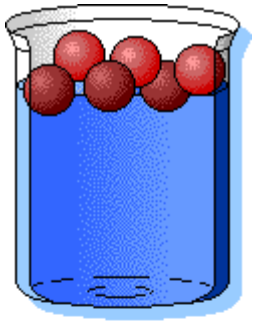
Viscosidade da água

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

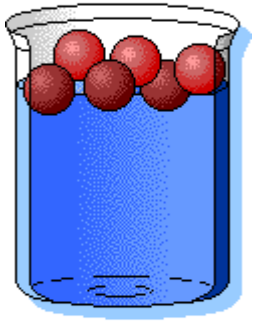
$$D(mm) = K\sqrt{\frac{L(cm)}{t(\min)}}$$

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

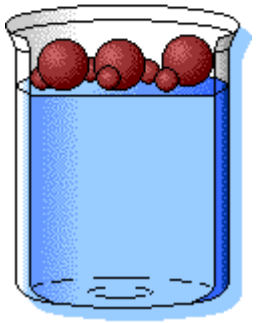




High Liquid Viscosity



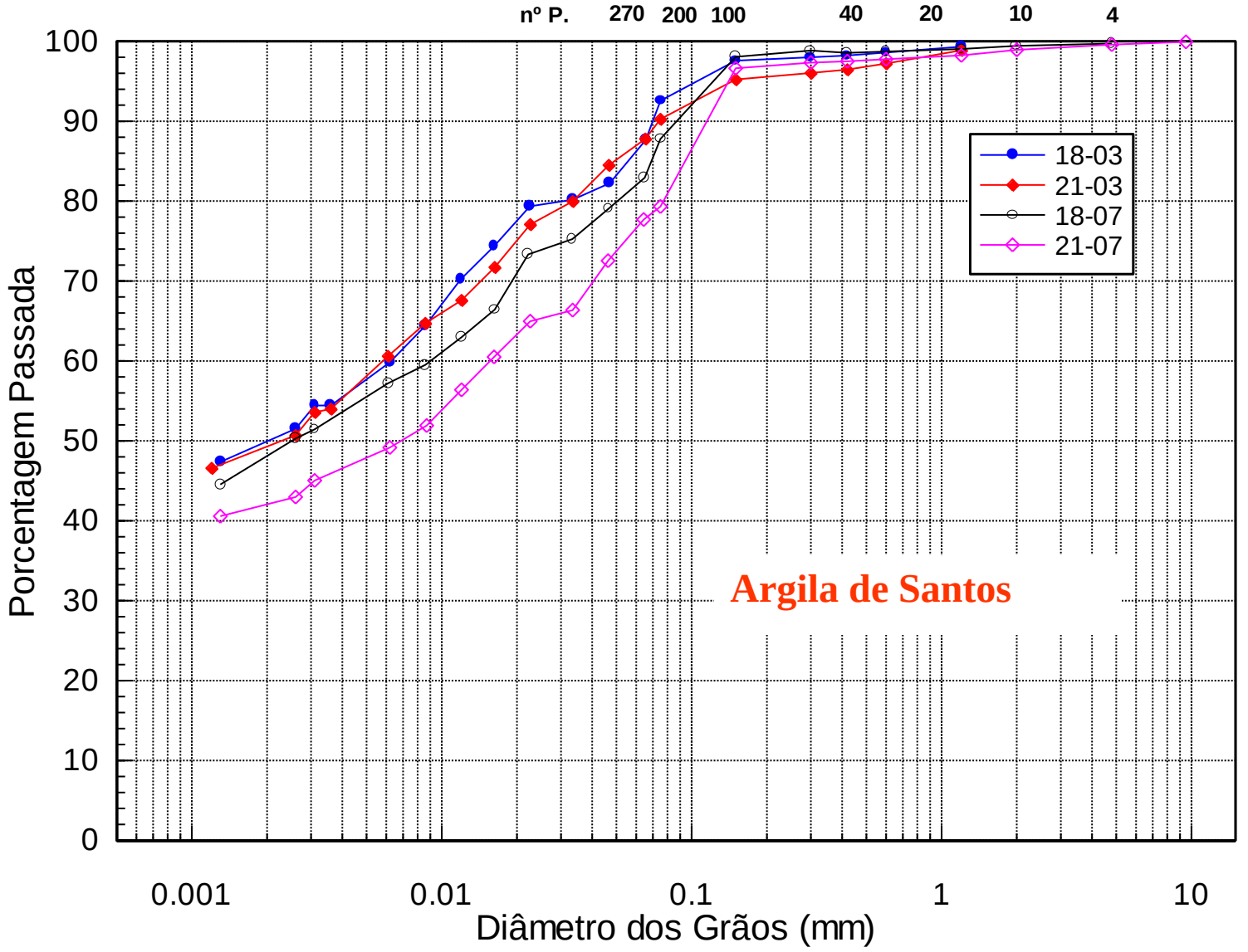
Particle Density Low Liquid Viscosity

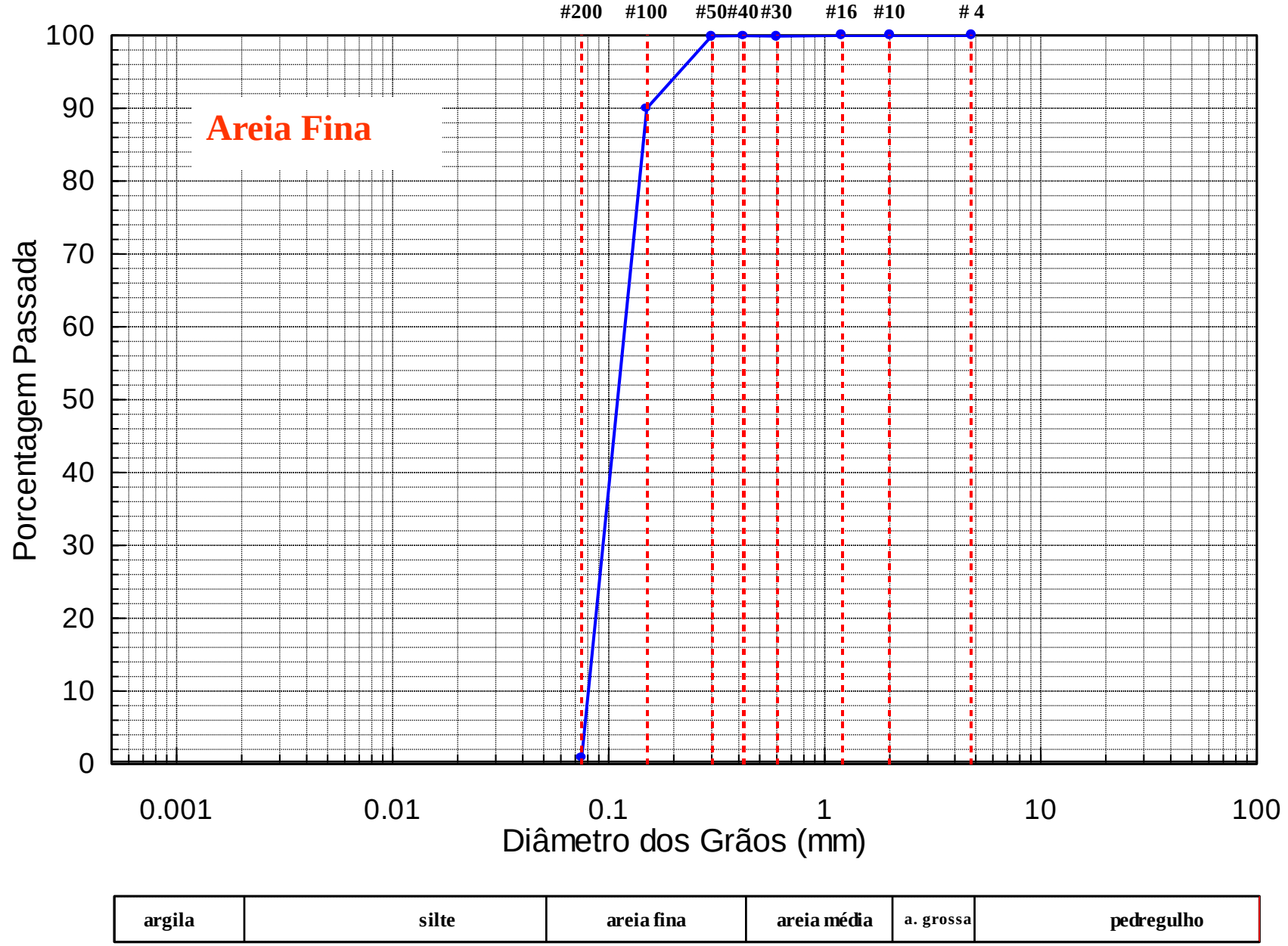


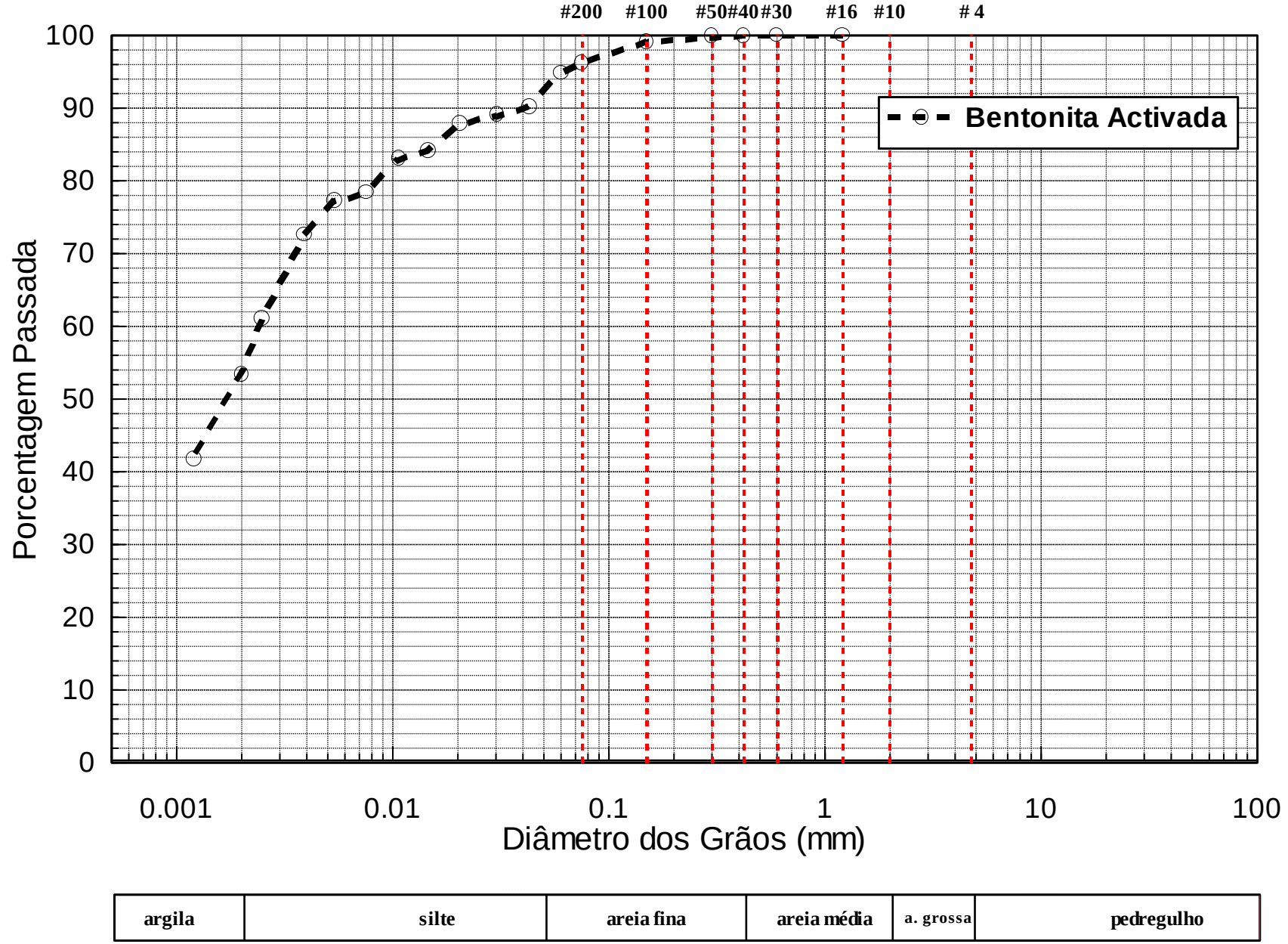
Particle Size

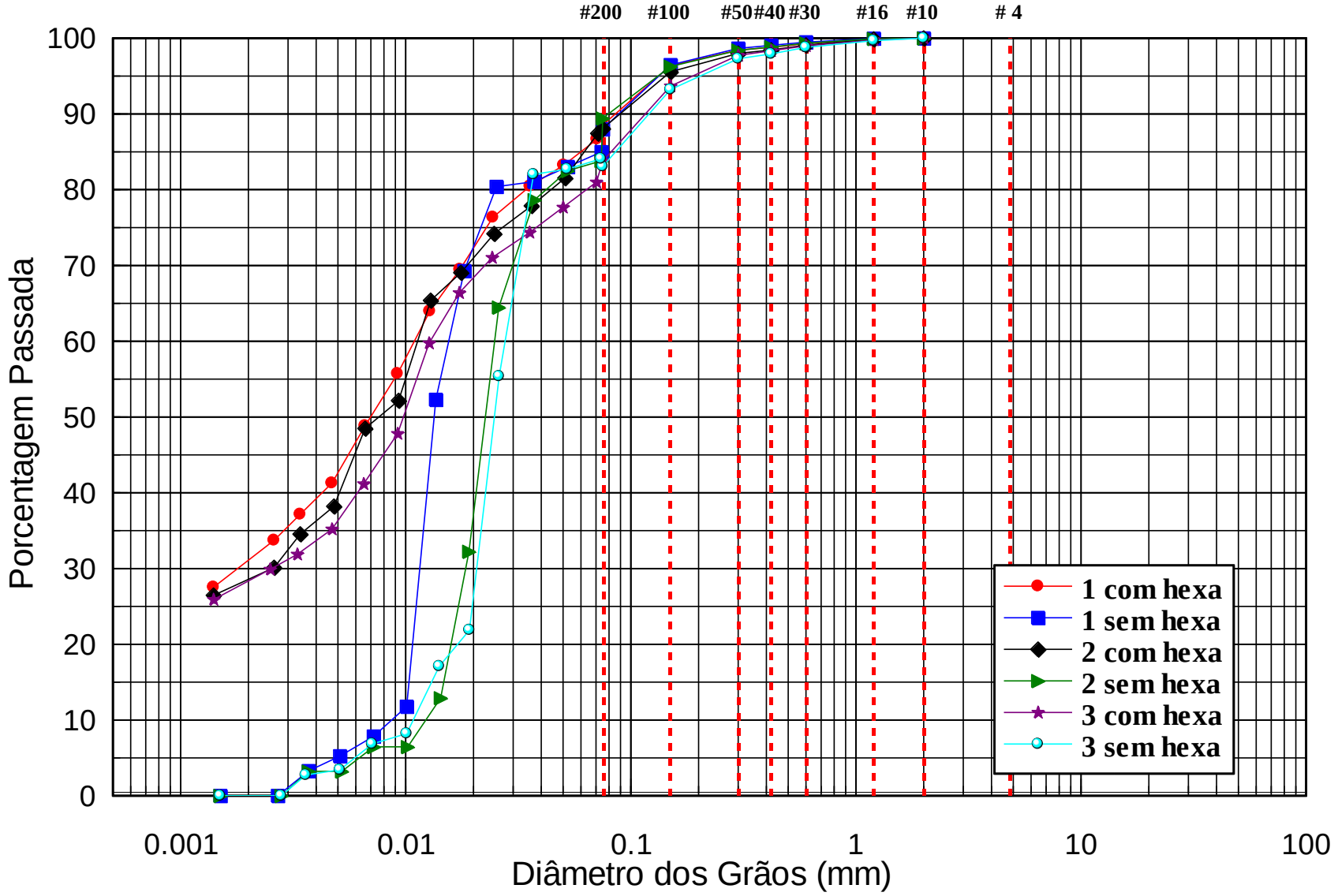


Sedimentação

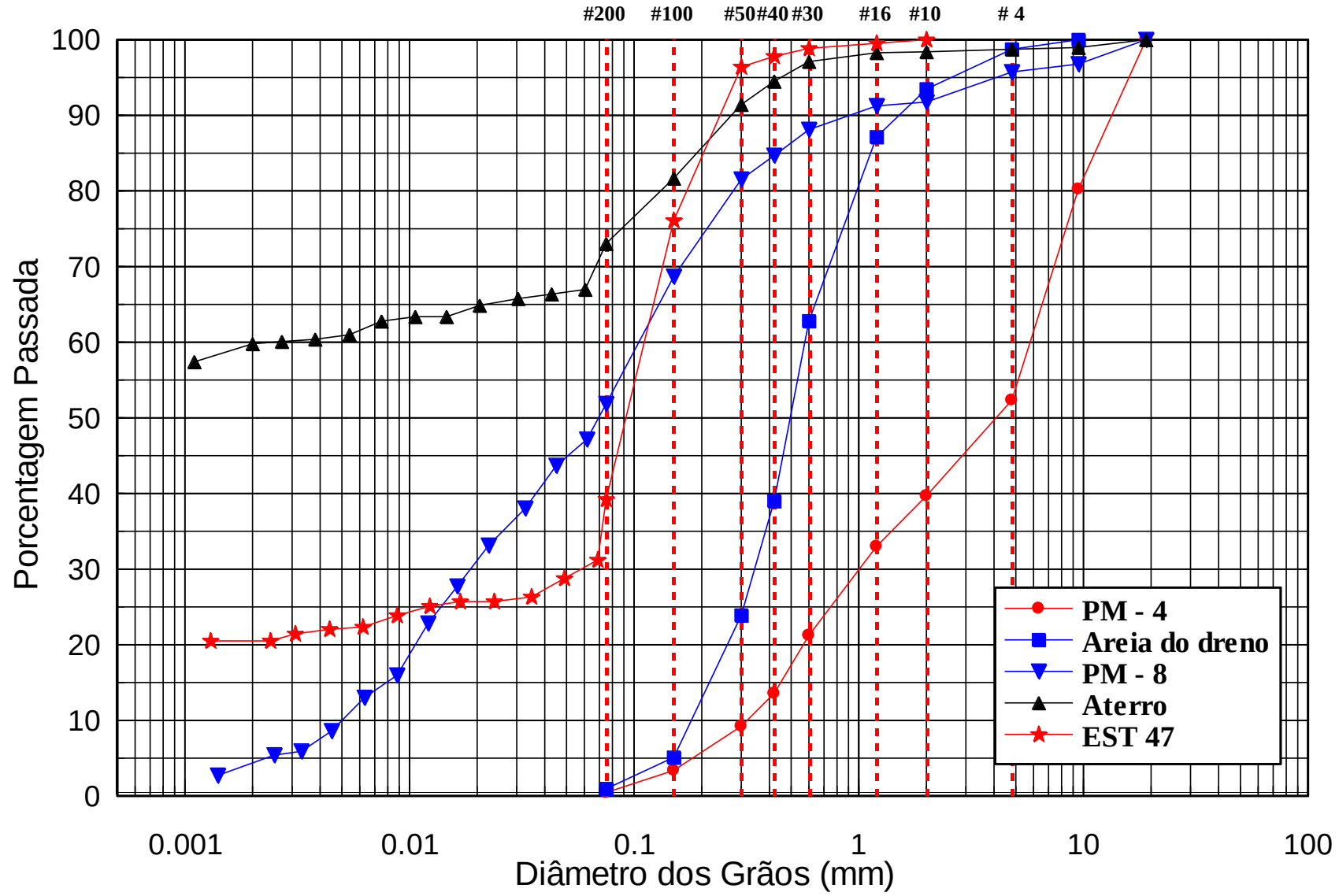

nº P.
270
200
100
40
20
10
4
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Porcentagem Passada
18-03
21-03
18-07
21-07
Argila de Santos
0.001
0.01
0.1
1
10
Diâmetro dos Grãos (mm)
Argila
Silte
Areia Fina
Areia Média
A.grossa
Pedregulho


#200
#100
#50
#40
#30
#16
#10
4
Areia Fina
Porcentagem Passada
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0.001
0.01
0.1
1
10
100
Diâmetro dos Grãos (mm)
argila
silte
areia fina
areia média
a. grossa
pedregulho


#200
#100
#50
#40
#30
#16
#10
4
Bentonita Activada
Porcentagem Passada
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0.001
0.01
0.1
1
10
100
Diâmetro dos Grãos (mm)
argila
silte
areia fina
areia média
a. grossa
pedregulho

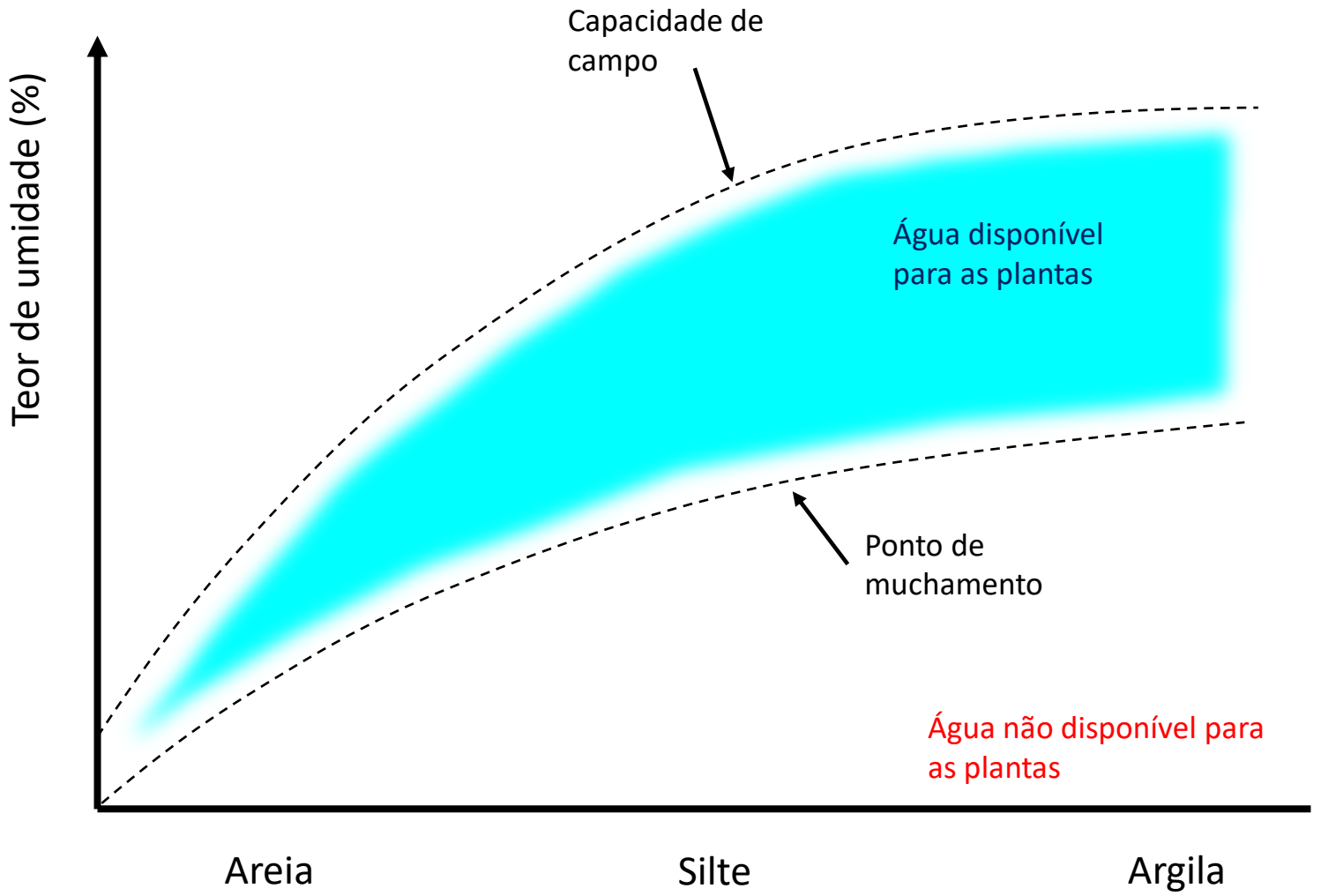


argila	silte	areia fina	areia média	a. grossa	pedregulho



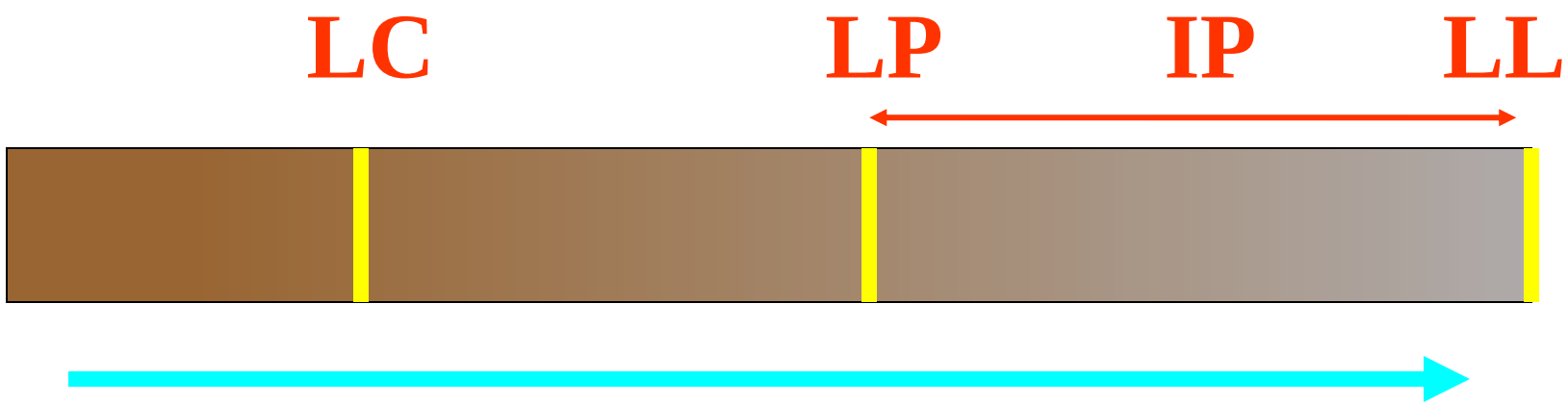
argila	silte	areia fina	areia média	a. grossa	pedregulho

A água nos solos e a característica mineralógica

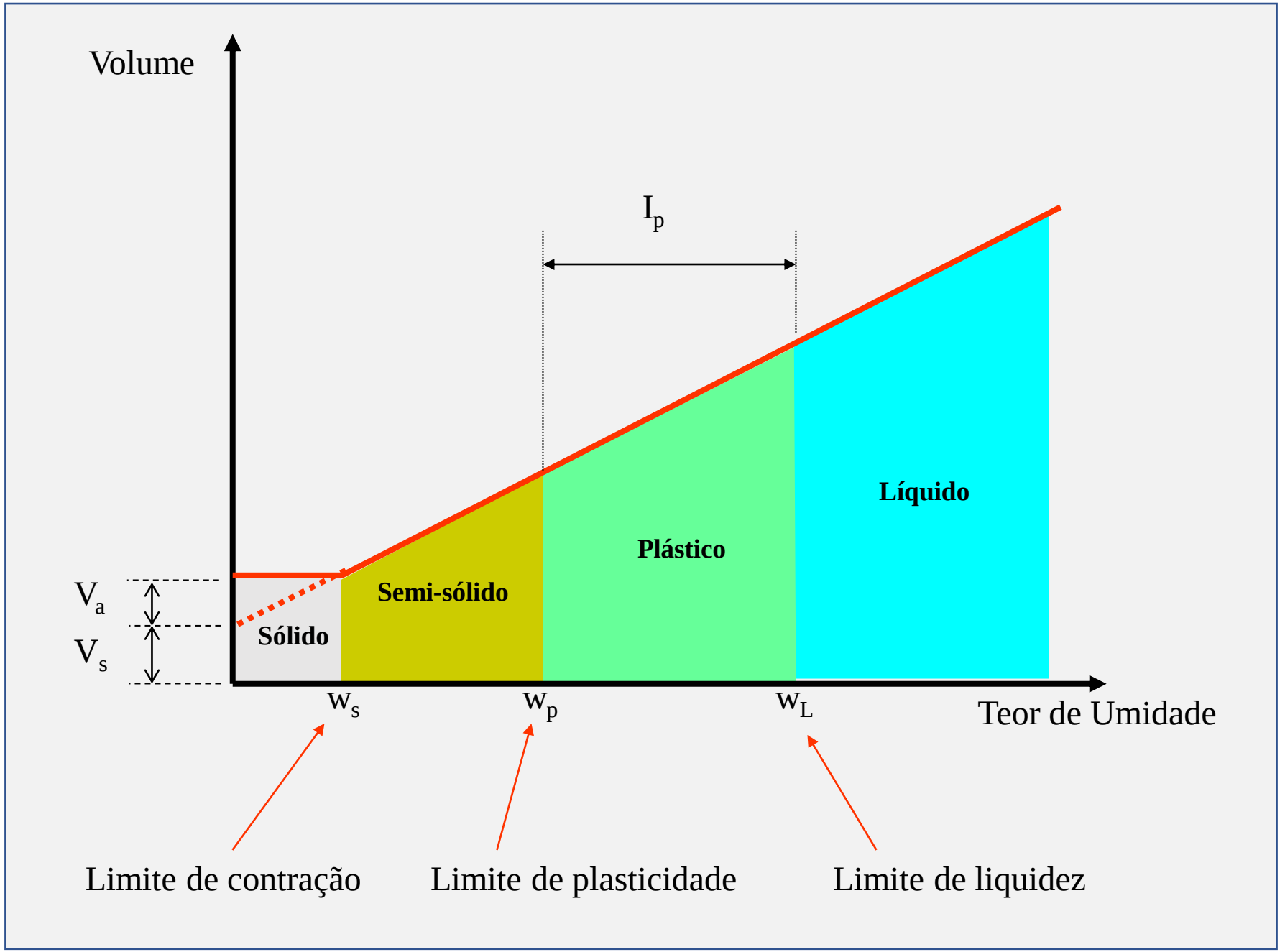


Limites de Consistência
(Limites de Atterberg)

Limites de Consistências



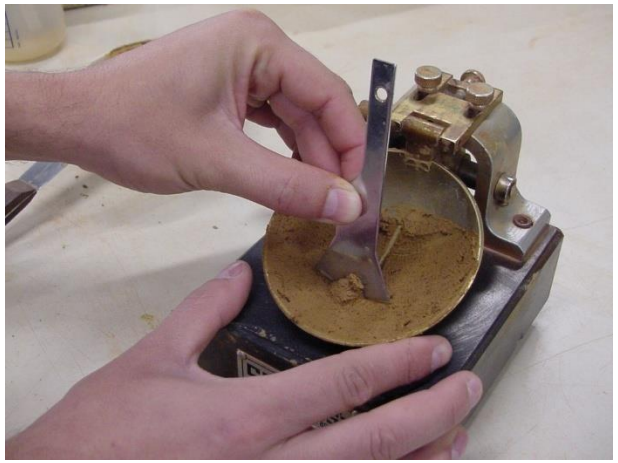
LL – limite de liquidez
LP – Limite de plasticidade
LC – Limite de contração
IP – Índice de Plasticidade


Volume
I_p
Líquido
Plástico
Semi-sólido
Sólido
V_a
V_s
w_s
w_p
w_L
Teor de Umidade
Limite de contração
Limite de plasticidade
Limite de liquidez

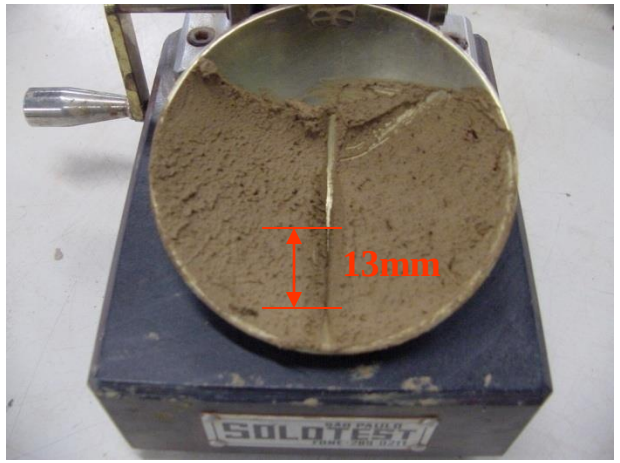








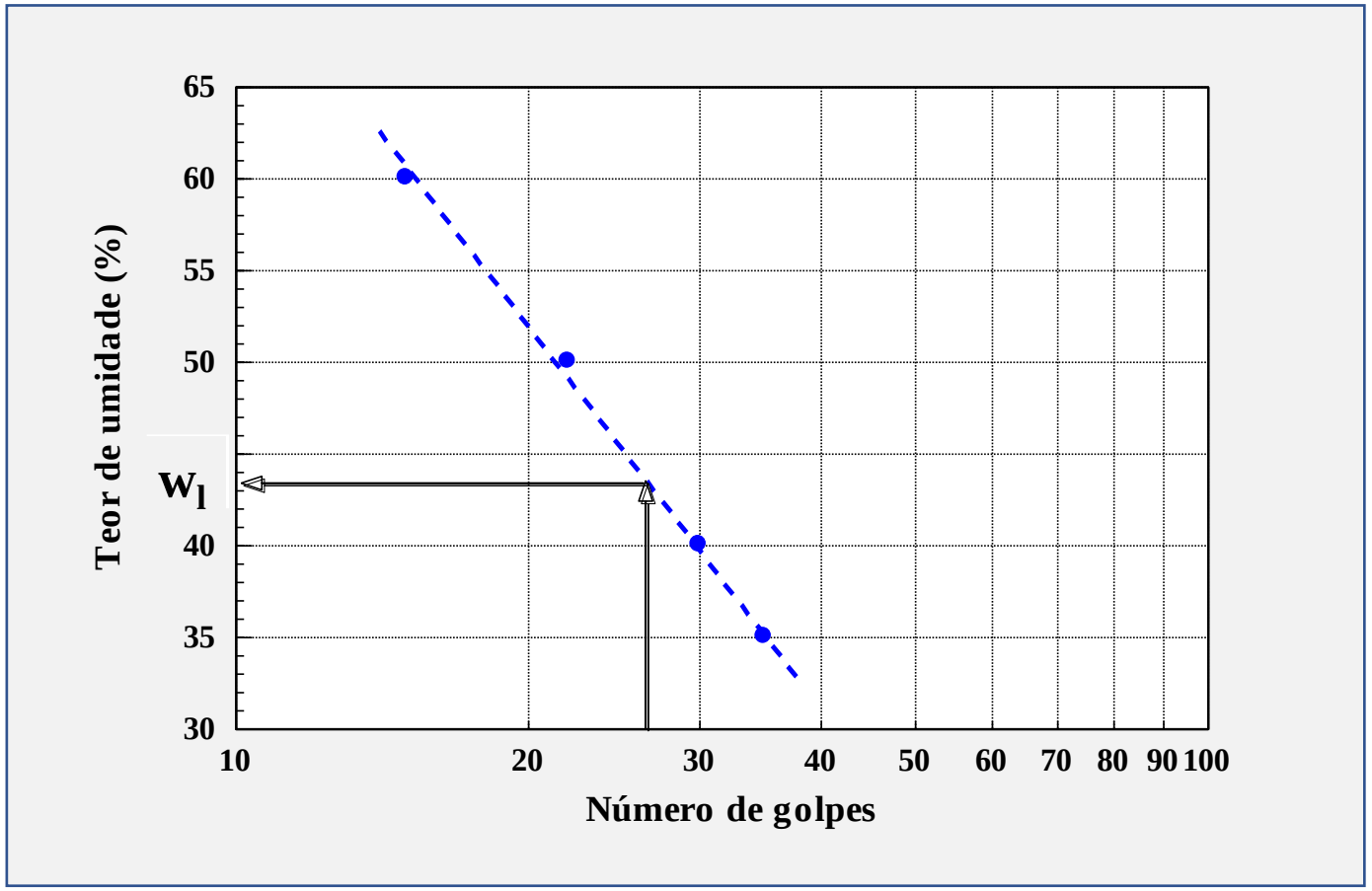




Ensaio de Limite de Liquidez
(Aparelho de Casagrande)



Limite de Liquidez

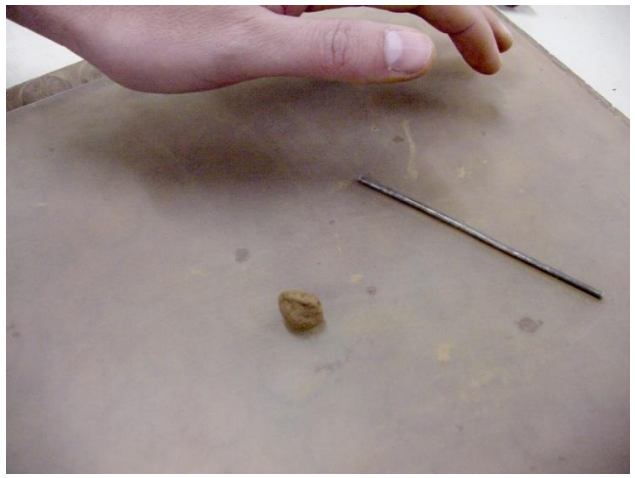


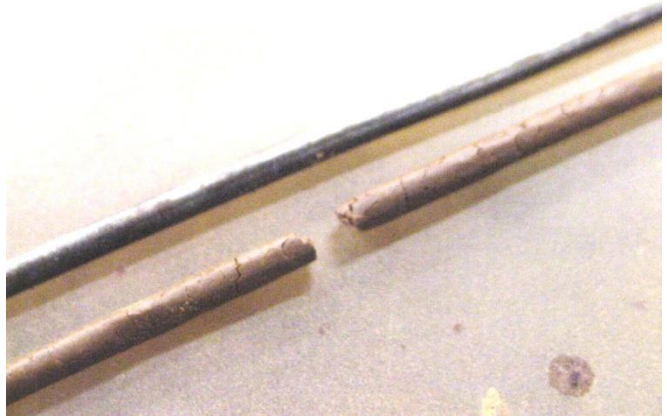
W_l = Limite de liquidez = LL

Limite de Liquidez (cone)



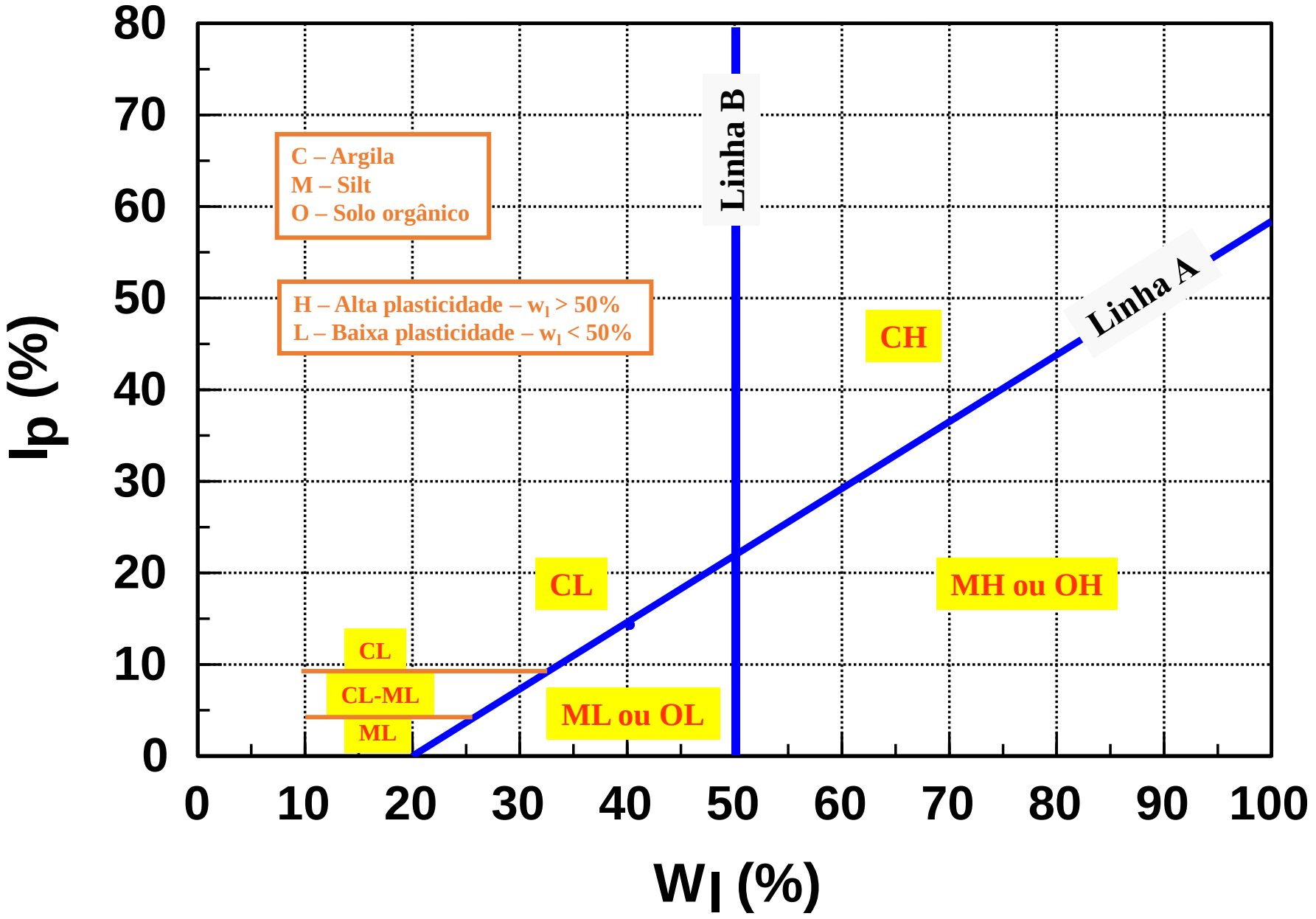
Limite de Plasticidade



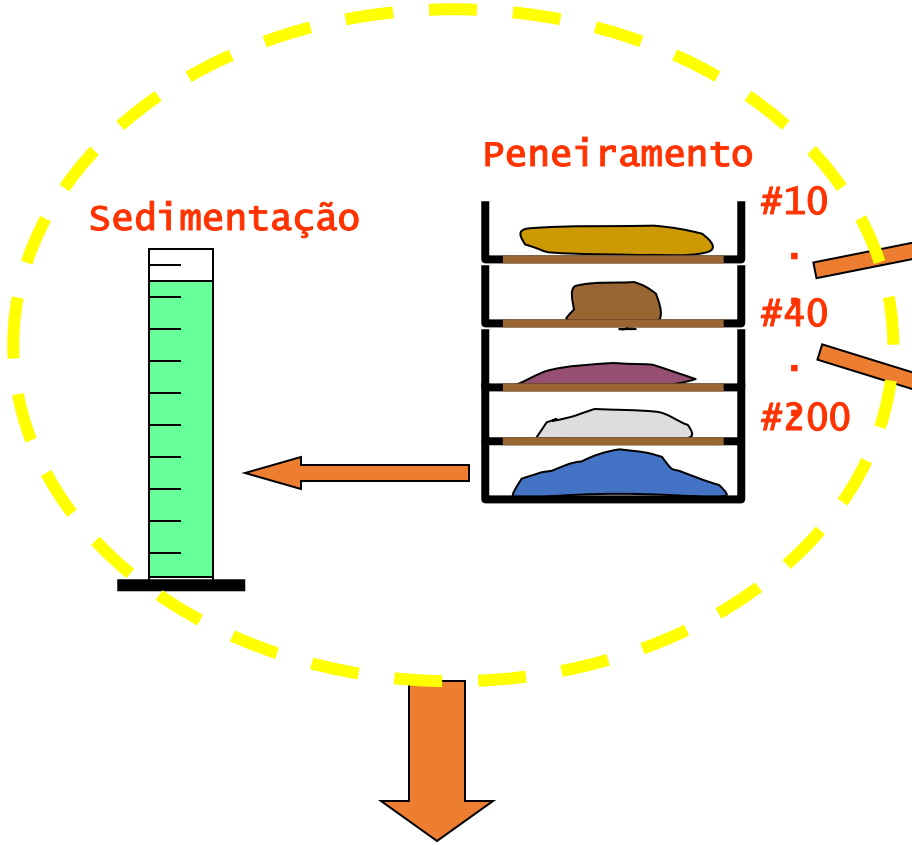




LP = média de três teores de umidades

Carta de Plasticidade



Ensaios de Caracterização



Densidade dos grãos



Aparelho de Casagrande (limite de liquidez)



Limite de plasticidade

