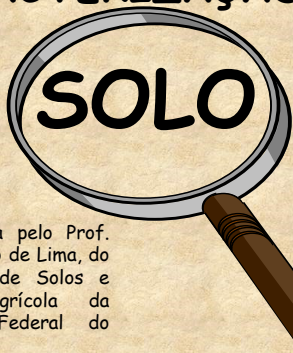


CARACTERIZAÇÃO DO



Aula ministrada pelo Prof. Marcelo Ricardo de Lima, do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Paraná.

BIBLIOGRAFIA OBRIGATÓRIA

CURI, N.; KÄMPF, N. Caracterização do solo. In: KER, J.C.; CURI, N.; SCHAEFER, C.E.G.R.; VIDAL-TORRADO, P. (Eds.). **Pedologia: fundamentos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 147-169.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Capítulo 1.2.2.

LEPSCH, I. **Dezenove lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. p. 251-261.

DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B.; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. (Orgs.). **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).



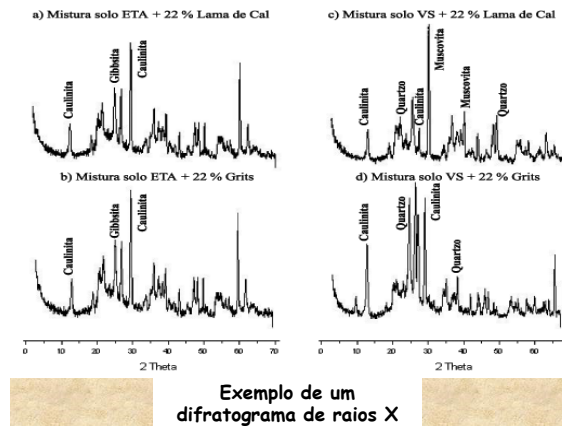
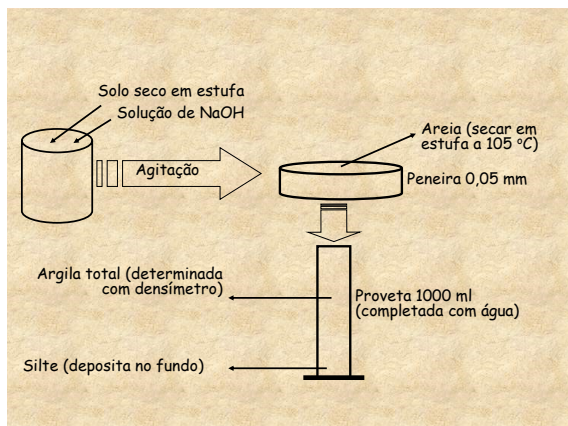
Em geral os levantamentos de solos existentes no Brasil apresentam baixo grau de detalhamento para fins de pesquisa.

Portanto é necessário abrir perfis, separar horizontes, coletar amostras e caracterizar o solo de sua pesquisa.



Separar e descrever horizontes e camadas do solo



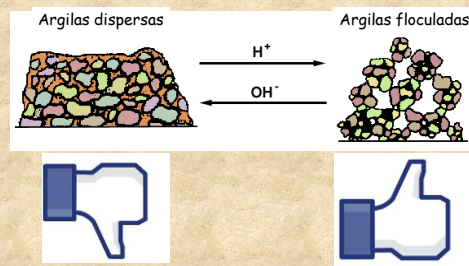


GRAU DE DISPERSÃO

• O grau de dispersão (GD) permite estimar a porcentagem da argila do solo que não está agregada (dispersa)



DISPERSÃO X FLOCULAÇÃO



GRAU DE DISPERSÃO

• O grau de dispersão (GD) permite estimar a porcentagem da argila do solo que não está agregada (dispersa)

$$GD (\%) = \frac{(\text{argila dispersa em água}) \times 100}{(\text{argila total})}$$

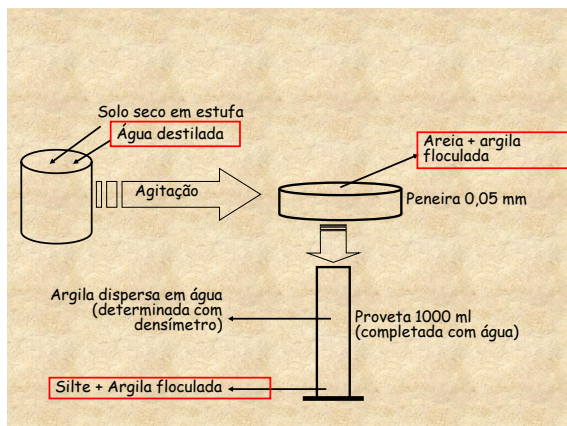
Atenção: esta fórmula não está em CURI e KAMPF (2012)

GRAU DE DISPERSÃO

• O grau de dispersão (GD) permite estimar a porcentagem da argila do solo que não está agregada (dispersa)

$$GD (\%) = \frac{(\text{argila dispersa em água}) \times 100}{(\text{argila total})}$$

Obtida na análise granulométrica, porém sem adicionar a solução de NaOH



GRAU DE FLOCULAÇÃO

• O grau de flocculação (GF) permite estimar a porcentagem da argila do solo que está agregada (floculada)



GRAU DE FLOCULAÇÃO

• O grau de flocculação (GF) permite estimar a porcentagem da argila do solo que está agregada (floculada)

$$GF (\%) = 100 - GD$$

Atenção: esta fórmula não está em CURI e KAMPF (2012)

RELAÇÃO SILTE/ARGILA

• A relação silte/argila é um índice de intemperização do solo.

$$\text{Relação silte/argila} = \text{silte (g/kg)} / \text{argila total (g/kg)}$$

Atenção: esta fórmula não está em CURI e KAMPF (2012)

RELAÇÃO SILTE/ARGILA

• A relação silte/argila é um índice de intemperização do solo.

$$\text{Relação silte/argila} = \text{silte (g/kg)} / \text{argila total (g/kg)}$$

• Solos com menor relação silte/argila normalmente são mais velhos (intemperizados)

pH DO SOLO

pH

$$\text{pH} = -\log(\text{H}^+) = \log 1/(\text{H}^+)$$

A escala do pH é logarítmica e negativa

pH

pH 7,0 = 0,0000001 g $[\text{H}^+]$ por litro de solução do solo

pH 3,0 = 0,001 g $[\text{H}^+]$ por litro de solução do solo **TÓXICO**

No pH 3,0 a atividade do $[\text{H}^+]$ é 10.000 vezes maior do que no pH 7,0

MEDIÇÃO DO pH DO SOLO

10 g solo seco

25 ml H_2O ou KCl 1N



AGITAÇÃO

REPOUSO 1 h

DETERMINAÇÃO DO pH NO POTENCIÔMETRO



A leitura do pH destes equipamentos varia conforme a umidade do solo

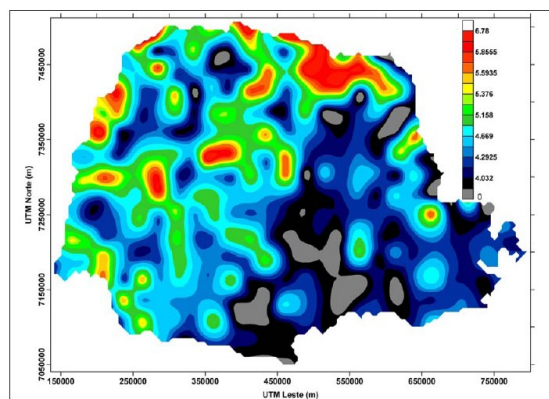


Figure 30a - Mapa de distribuição do pH em 306 amostras de solo no Estado do Paraná

ΔpH

$$\Delta\text{pH} = (\text{pH KCl}) - (\text{pH H}_2\text{O})$$

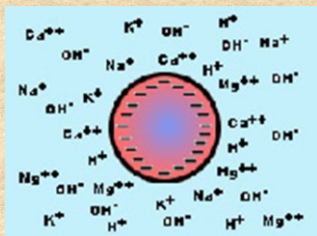
$\Delta\text{pH} > 0 \rightarrow$ predominam cargas positivas no solo (gibálticos)

$\Delta\text{pH} < 0 \rightarrow$ predominam cargas negativas no solo

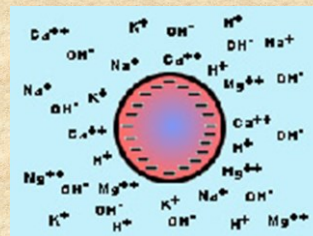
CÁTIONS ÁCIDOS E BÁSICOS



Os "kits de análise do solo" servem para pesquisa ??



Em solos alcalinos ($\text{pH} > 7$) os cátions que predominam na CTC são Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Na^+ , sendo denominados cátions básicos



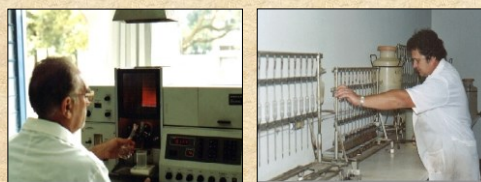
À medida que aumenta a acidez do solo, reduz a predominância dos cátions básicos, e aumenta a proporção de H^+ e Al^{+3} .

Soma de bases (Valor S)

$$\text{Valor S} = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na}$$

Onde: Valor S, Ca, Mg, K, Na estão em cmolc/kg

ATENÇÃO: estas concentrações são trocáveis e não totais



A determinação dos cátions trocáveis é realizada em laboratório

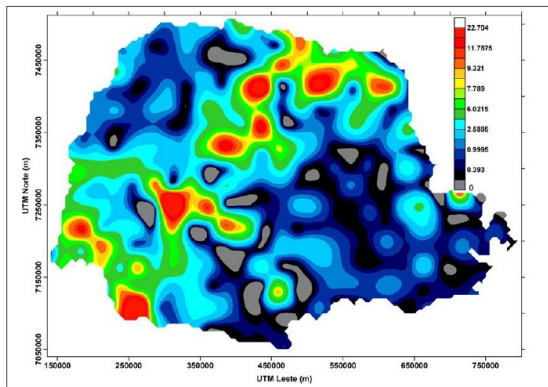


Figura 107a - Mapa de distribuição da Soma de Bases Trocáveis S ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) em 306 amostras de solo no Estado do Paraná

CTC efetiva (CTC ef.)

$$\text{CTC ef.} = \text{Valor S} + \text{Al}$$

Onde: CTC ef, Valor S e Al estão em cmol_c/kg

CTC ou Valor T

$$\text{Valor T} = \text{Valor S} + (\text{H} + \text{Al})$$

Onde: Valor T, Valor S, H, Al estão em cmol_c/kg

Valor T

Valor T de alguns minerais e da M.O. do solo

- Gipsita - 1 cmol_c/kg
- Quartzo - 1 a 2 cmol_c/kg
- Caulinita - 3 a 15 cmol_c/kg
- Mica - 20 a 50 cmol_c/kg
- Esmectitas - 50 a 160 cmol_c/kg
- Vermiculita - 100 a 200 cmol_c/kg
- Matéria orgânica - 200 a 300 cmol_c/kg

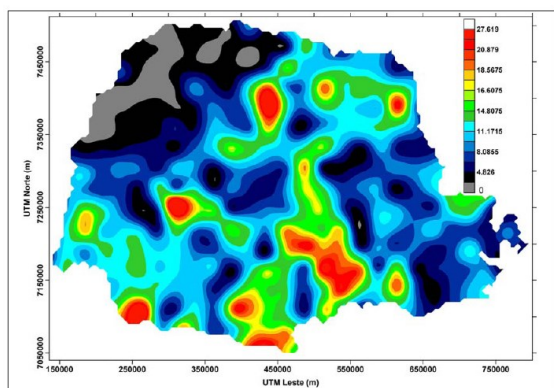


Figura 108a - Mapa de distribuição de T (Soma das cargas trocáveis) ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) em 306 amostras de solo no Estado do Paraná

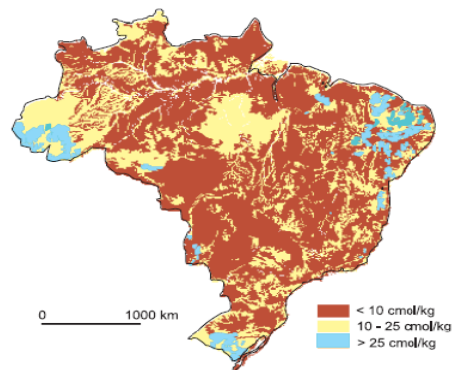


Fig. 2 - Distribution of cation exchange capacity (CEC in cmol_c/kg) values in Brazil.

Atividade da argila

$$CTC(\text{argila}) = \text{Valor T} \times 1000 / \text{argila}$$

Onde: Valor T está em cmol_c/kg solo;
CTC (argila) está em cmol_c/kg argila; e
argila está em g/kg

Atenção: esta fórmula não está em
CURI e KAMPF (2012)

Atividade da argila

- Se Atividade da argila $\geq 27 \text{cmol}_c/\text{kg}$ de argila, indica **Argila de atividade alta (Ta)**, ou seja, devem predominar minerais com alta CTC, como os argilominerais 2:1
- Se a Atividade da argila $< 27 \text{cmol}_c/\text{kg}$ de argila, indica **Argila de atividade baixa (Tb)**, ou seja, devem predominar minerais com baixa CTC, como os argilominerais 1:1 e os oxihidróxidos de Fe e Al

Atividade da argila

Valor T de alguns minerais do solo

- Gipsita - $1 \text{cmol}_c/\text{kg}$
- Quartzo - 1 a $2 \text{cmol}_c/\text{kg}$
- Caulinita - 3 a $15 \text{cmol}_c/\text{kg}$

Predominam em
solos Tb

- Mica - 20 a $50 \text{cmol}_c/\text{kg}$
- Esmectitas - 50 a $160 \text{cmol}_c/\text{kg}$
- Vermiculita - 100 a $200 \text{cmol}_c/\text{kg}$

Predominam em
solos Ta

Atividade da argila

Solo com argila
de atividade
alta (Ta)



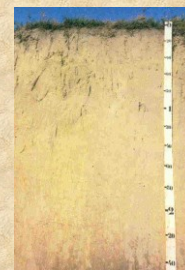
Atividade da argila

Solo com argila
de atividade
baixa (Tb)



Atividade da argila

Não se calcula a
atividade de argila
de solos com
elevado teor de
areia (classe
textural areia ou
areia franca)



Saturação de bases (V)

$$V = 100 \times (\text{Valor S} / \text{Valor T})$$

Onde: Valor T e Valor S estão em cmolc/kg e V está em %

Saturação de bases (V)

- Se $V \geq 50\%$ indica **Saturação de bases alta (eutrófico)**, ou seja, solos usualmente com melhor fertilidade química.
- Se $V < 50\%$ indica **Saturação de bases baixa (distrófico)**, ou seja, solos usualmente com menor fertilidade química.

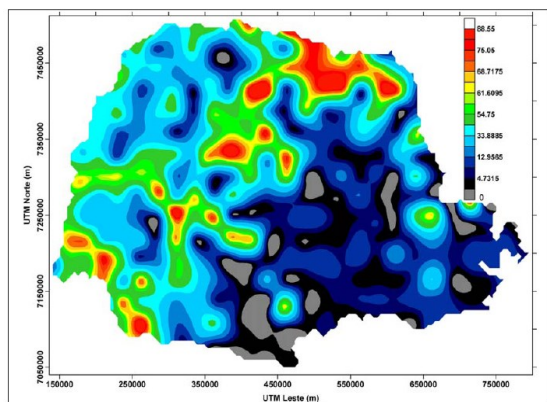


Figura 103a - Mapa de distribuição da Saturação de Bases (V%) em 306 amostras de solo no Estado do Paraná

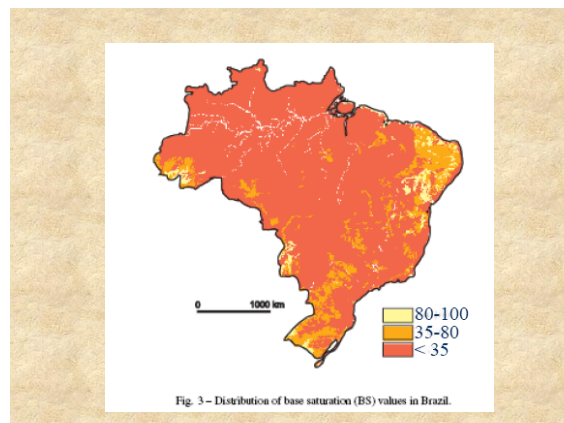


Fig. 3 - Distribution of base saturation (BS) values in Brazil.

Saturação de alumínio (m)

$$\text{Valor m} = 100 \times (\text{Al} / \text{CTC ef.})$$

Onde: Al e CTC ef. estão em cmolc/kg e Valor m está em %

Saturação de alumínio (m)

- Se $\text{Al} \geq 4$ cmolc/kg, e $\text{CTC}(\text{argila}) \geq 20$ cmolc/kg, e $\text{Valor m} \geq 50\%$ e/ou $V < 50\%$ indica **Caráter alítico**.
- Se $\text{Al} \geq 4$ cmolc/kg, e $\text{CTC}(\text{argila}) < 20$ cmolc/kg, e $\text{Valor m} \geq 50\%$ e/ou $V < 50\%$ indica **Caráter aluminico**.
- Se $\text{Al} \geq 0,5$ cmolc/kg, e $\text{Valor m} \geq 50\%$ indica **Caráter álico**.

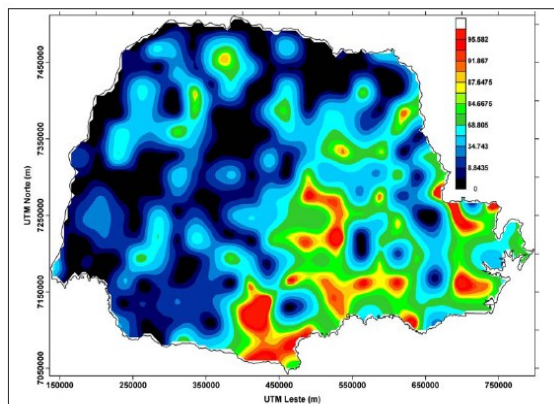


Figura 33a - Mapa de distribuição de Al (%) em 306 amostras de solo no Estado do Paraná

ALCALINIDADE DO SOLO

Alcalinidade no solo

Solo **alcalino** é um solo que apresenta pH acima de 7,0

Alcalinidade no solo

Em pH alcalino é reduzida a disponibilidade de alguns nutrientes para a planta, como o P, Cu, Zn, Fe e Mn.

SALINIDADE E SODICIDADE

Salinidade e alcalinidade no solo

São encontradas em:

- Regiões semiáridas e áridas
- Regiões costeiras de influência marinha (apicum, marisma, manguezal)

Salinidade no Solo



A forma usual de medir a salinidade é pela condutividade elétrica (CE) da solução do solo.

Salinidade no Solo

Quando $7 > CE \geq 4$ dS/m
o solo tem caráter salino

Quando $CE \geq 7$ dS/m
o solo tem caráter sálico

Atenção: caráter sálico não está em CURI e KAMPF (2012)



Efeito da salinidade



Efeito da salinidade



Solo com salinidade

Porcentagem de Sódio Trocável (PST)

$$PST = 100 \times (Na / \text{Valor T})$$

Onde: Na e Valor T estão em cmolc/kg e PST está em %

Porcentagem de Sódio Trocável (PST)

- Se $PST \geq 15\%$ indica **Caráter sódico**.
- Se PST entre 6 e 15% indica **Caráter solódico**.

Atenção: caráter solódico não está em CURI e KAMPF (2012)



Solo sódico

Deterioração da estrutura em solos com alta PST

- Aumento da plasticidade e pegajosidade;
- Decréscimo da condutividade hidráulica;
- Saturação da superfície do solo com formação de condições anaeróbias;
- Encrostamento superficial e redução da infiltração de água.

MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

A matéria orgânica do solo tem, em média, 58% de carbono, então:

$$M.O. = C \times 1,724$$

Onde M.O. e C estão em g/kg

M.O. = matéria orgânica do solo

C = carbono orgânico do solo

Relação carbono/nitrogênio = C/N

↑ C/N: mais difícil a mineralização

↓ C/N: mineralização mais rápida.

AGREGADOS E VAZIOS

Densidade Volumétrica (Dv) (ou densidade do solo ou densidade aparente ou densidade global)

$$Dv = Ms / Vs$$

Onde:

Dv = densidade volumétrica (g/cm³)

Ms = massa do solo (g)

Vs = volume do solo (cm³)

Densidade Volumétrica (Dv)

Anel com volume conhecido (Vs)



Secar em estufa a 105 °C

Massa de solo (Ms)

$$Dv = Ms / Vs$$



Densidade Volumétrica (Dv)



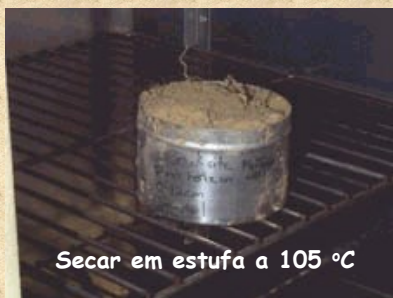
Densidade Volumétrica (Dv)



Densidade Volumétrica (Dv)



Densidade Volumétrica (Dv)



Secar em estufa a 105 °C

Densidade Volumétrica (Dv)



Determinar a
massa de solo
(Ms)

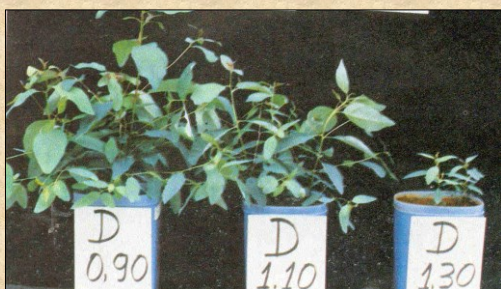
Densidade Volumétrica (Dv)

- Normalmente:
 - Solos arenosos: $Dv = 1,2$ a $1,8 \text{ g/cm}^3$
 - Solos argilosos: $Dv = 1,0$ a $1,6 \text{ g/cm}^3$
 - Matéria orgânica \uparrow $Dv \downarrow$
 - Compactação \uparrow $Dv \uparrow$
 - Horizontes subsuperficiais: $Dv \uparrow$

Solos onde predomina
a matéria orgânica
tem baixa densidade



Efeito da Dv no crescimento das plantas



Densidade de Partículas (Dp)

$$Dp = Mp / Vp$$

Onde:

Dp = densidade de partículas (g/cm^3)

Mp = massa de partículas (g)

Vp = volume de partículas (cm^3)

Densidade de Partículas (Dp)

Vp = 50 ml - álcool adicionado

Bureta (adicionar álcool até completar o balão volumétrico)

20 g (Mp) de de solo seco a 105 °C

Balão volumétrico de 50 ml

$$Dp = Mp / Vp$$

Densidade de Partículas (Ds)

- Normalmente:
 - Solos: $Dp = 2,6$ a $2,7 \text{ g/cm}^3$
 - Minerais pesados $\uparrow Dp \uparrow$
 - Matéria orgânica $\uparrow Dp \downarrow$
- Hipoteticamente, em um solo sem poros: $Dp = Dv$

Espaço Poroso (ou Porosidade Total)

$$Ep = 100 - [(Dv/Dp) \times 100]$$

Onde:

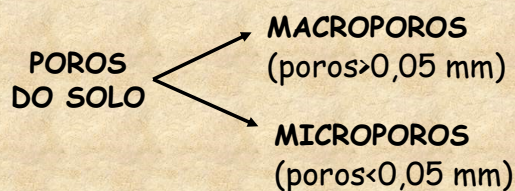
Ep = espaço poroso (cm^3 poros/ cm^3 solo)

Dp = densidade de partículas (g/cm^3)

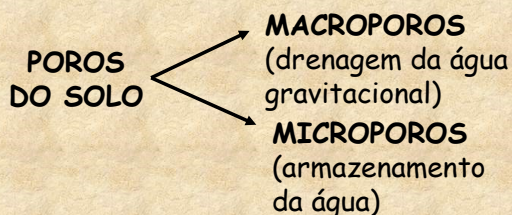
Dv = densidade volumétrica (g/cm^3)

Atenção: a fórmula está errada em CURI e KAMPF (2012)

Espaço Poroso

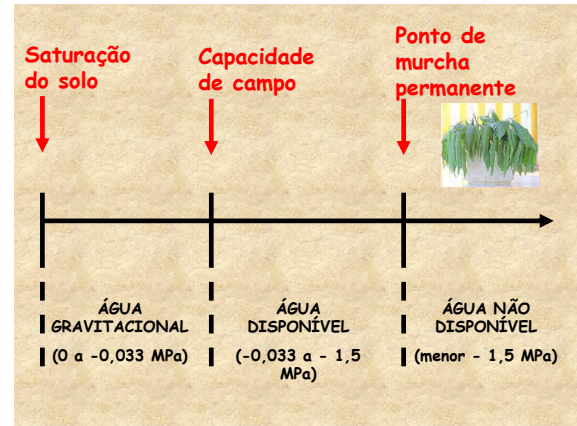
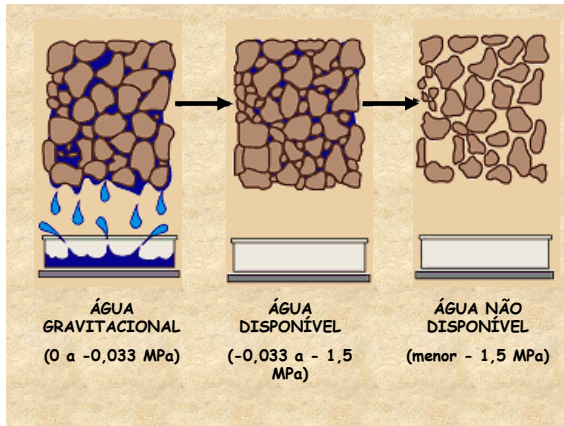


Espaço Poroso



Espaço Poroso

- Ep normalmente varia de $0,3$ a $0,7 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$
- Ep não pode ser igual ou menor que zero ou igual ou maior que 1
- Ep não apresenta boa correlação com a disponibilidade de água no solo



POTENCIAL REDOX

Potencial Redox

Em ambiente anaeróbico os microorganismos do solo passam a utilizar NO_3^- , óxidos de Mn e de Fe, SO_4^- e CO_2 como receptores de elétrons.

O potencial redox (Eh) mede a intensidade deste processo.

Potencial Redox



Solos aeróbicos
Eh em torno de 0,6 V

Solos anaeróbicos
Eh entre 0,4 e -0,3 V

SOLUÇÃO DO SOLO

Especiação química

É a identificação e quantificação dos íons existentes na solução do solo

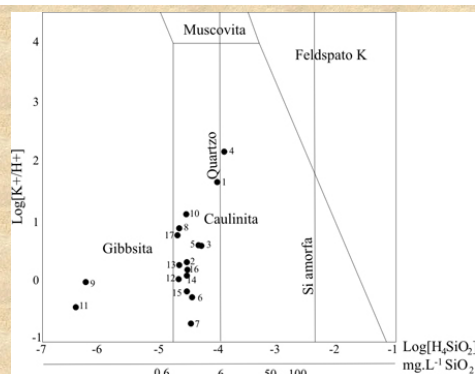


Diagrama de estabilidade de minerais

ANÁLISE QUÍMICA TOTAL

Digestão da terra fina

Uso de ataque triácido (HF + HClO₄ + HNO₃)
ou digestão sulfúrica (H₂SO₄)

Resultados na forma de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃,
TiO₂, P₂O₅, MnO

Ki

$$K_i = (\text{SiO}_2 \times 1,7) / \text{Al}_2\text{O}_3$$

↓Ki ↑intemperismo

Latossolos: Ki < 2,2

Atenção: esta fórmula não está em
CURI e KAMPF (2012)

Kr

$$K_r = (\text{SiO}_2 / 0,6) / [(\text{Al}_2\text{O}_3 / 1,02) + (\text{Fe}_2\text{O}_3 / 1,6)]$$

↓Kr ↑intemperismo

Kr > 0,75 - predomina caulinita

Kr ≤ 0,75 - predomina gibbsita

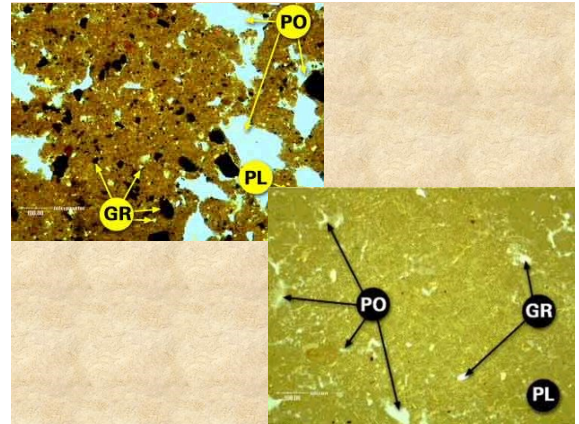
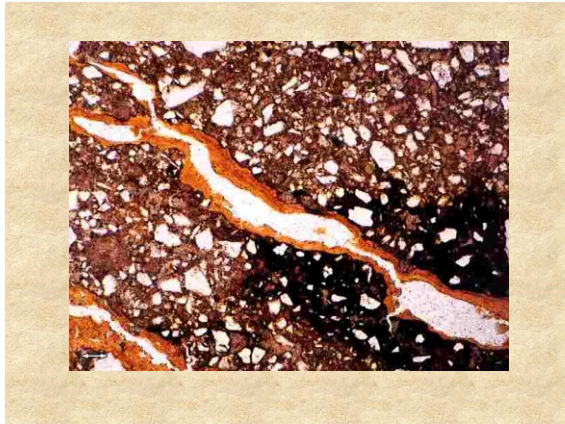
Atenção: esta fórmula não está em
CURI e KAMPF (2012)

MICROMORFOLOGIA DO SOLO

Micromorfologia do solo

Estudo das características
morfológicas do solo com o auxílio de
instrumentos óticos

Apresenta aplicações na gênese,
classificação, relação solo-planta,
conservação do solo, etc.

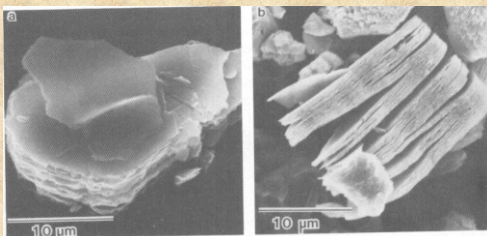


MICROSCOPIA ELETRÔNICA

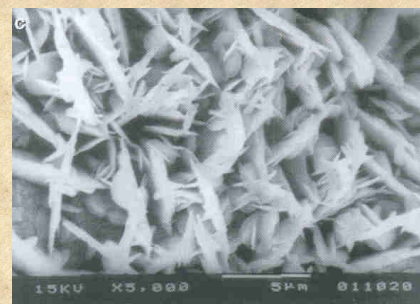


A argila também
pode ser analisada
por outros
métodos como a
microscopia
eletrônica

Caulinita (em microscopia eletrônica)



Goetita (em microscopia eletrônica)



Gibbsite (em microscopia eletrônica)