

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
DEPARTAMENTO DE SOLOS
SOL 250 – CONSTITUIÇÃO, PROPRIEDADES E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS**

APOSTILA

SOLO COMO SISTEMA TRIFÁSICO

**ELPÍDIO INÁCIO FERNANDES FILHO
MÁRCIO ROCHA FRANCELINO**

**VIÇOSA-MG
DEZEMBRO 2001**

O QUE É SOLO?

O seu conceito se ajusta conforme a área de conhecimento e de aplicação. Para um engenheiro de minas trata-se do detrito que cobre as rochas ou minerais a serem explorados, portanto deve ser eliminado. Para o engenheiro civil que irá construir uma estrada, será o material que irá ser compactado. Já para o agricultor, que depende dele, sua importância está relacionada com sua capacidade produtiva.

Em geral, para a Ciência do Solo, é a superfície inconsolidada que recobre as rochas e mantêm a vida animal e vegetal na Terra, sendo resultante da ação conjugada de agentes intempéricos¹ sobre os materiais preexistentes de natureza mineral e orgânica. É constituído de camadas que diferem entre si pela natureza física, química, mineralógica e biológica, que se desenvolvem no tempo, sob influência do clima e da própria atividade biológica.

1. O SOLO COMO UM SISTEMA TRIFÁSICO

1.2. Constituintes do solo

A Figura 2 apresenta uma distribuição aproximada dos constituintes de um solo superficial de textura média, em ótimas condições para o crescimento das plantas. Cerca de 50% é ocupado pela fase sólida, que é formada pelos minerais (45%) e pela matéria orgânica (5%) e a outra metade é ocupada pela fase líquida (25%) e pela fase gasosa (25%). A proporção de água e ar varia dependendo das condições às quais os solos estão submetidos. De qualquer maneira, a porosidade quando não ocupada pelo ar, o é pela água (Figura 3).

1.2.1. Fase sólida

É constituída pela matéria mineral (inorgânica) acrescida da matéria orgânica na parte mais superficial do solo.

a) Fase sólida orgânica

¹ Intemperismo: desintegração e decomposição de rochas e minerais na superfície da terra ou próxima dela, resultado de ações combinadas de uma série de forças naturais sobre os materiais sólidos da litosfera. Os processos intempéricos podem ser de origem química, física e biológica, este último após o aparecimento da vida (não há estritamente um intemperismo biológico e sim ações químicas e físicas dos seres vivos).

Os componentes orgânicos são representados pelos restos de animais e vegetais em estágios diversos de decomposição e materiais sintetizados no solo. Apesar na sua menor participação quantitativa, exercem grande influência nas características e propriedades dos solos como meio de crescimento de plantas.

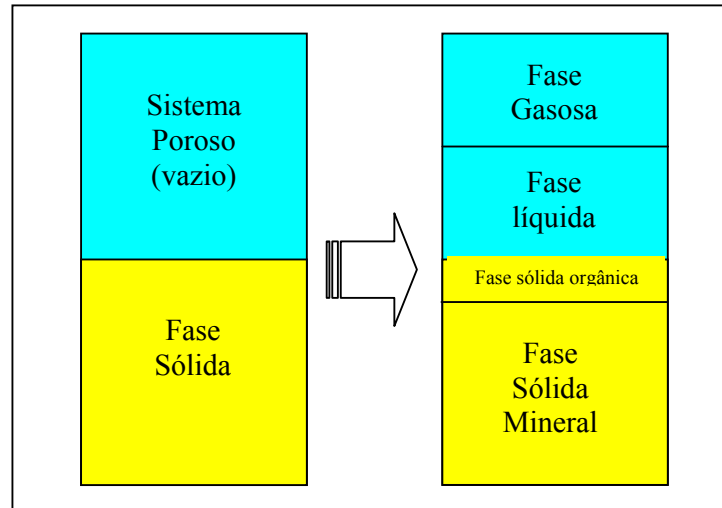


FIGURA 2: Esquema da composição volumétrica de um solo textura média, quando apresenta boas condições para o crescimento das plantas.

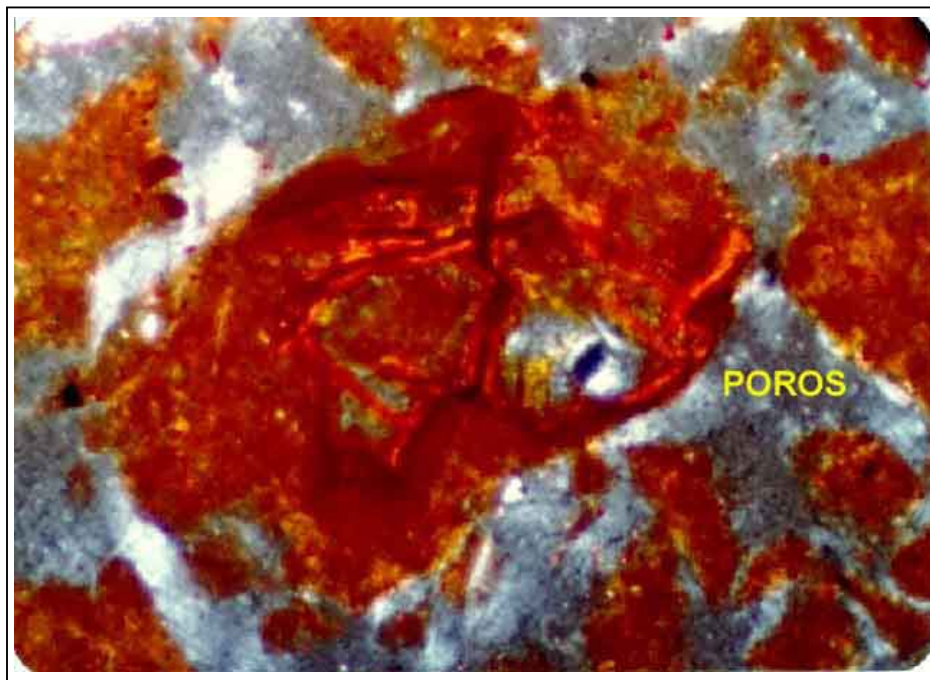


FIGURA 3 – Fotomicrografia de solo apresentando suas diversas fases. Pode-se observar agregados em diversos tamanhos como os espaços vazios entre eles (poros)

A matéria orgânica além de proporcionar nutrientes às plantas, atua também como condicionador do solo, melhorando suas propriedades físicas: aumenta a capacidade de retenção de umidade; além de ser fonte de energia para microrganismos do solo.

A matéria orgânica do solo pode ser dividida em duas partes:

- material original parcialmente decomposto: restos de folhas, raízes, animais, excreções, etc.
- material original completamente decomposto, rico em fósforo, cálcio e nitrogênio, chamado húmus.

Na maioria dos solos o seu teor varia de 0,4 a 5%, porém, em áreas alagadas, onde a condição anaeróbica impede a decomposição da matéria orgânica, fazendo com que esta se acumule, dando origem aos solos orgânicos, seu teor pode chegar a 95% (Figura 4).



Figura 4 – Solo Orgânico (Organossolo²) na região de Barbacena – MG.

b) Fase sólida mineral

Os componentes inorgânicos variam bastante em tamanho e exercem grande influência nas propriedades dos solos. É constituída de pequenos fragmentos de rocha e minerais de várias naturezas. Estes fragmentos são remanescentes de rochas maciças da

² Compreende solos pouco evoluídos, constituídos por material orgânico proveniente de acumulações de restos vegetais em grau variável de decomposição, acumulado em ambientes mal drenados, ou em ambientes úmidos de grande altitude, de coloração escura e de elevados teores de carbono orgânico

qual se formou os *regolitos*³ e por sua vez o solo, mediante intemperismo. Os minerais são muito variáveis em termos de tamanho (Tabela 1), sendo alguns grandes como os fragmentos rochosos e outros tão pequenos, como as partículas coloidais da argila, que só podem ser vistos com auxílio de microscopia eletrônica (Figura 5). Os minerais encontrados podem ser primários ou secundários. O primeiro apresenta composição similar à composição da rocha matriz e constituem principalmente as frações mais grosseiras do solo (areia e silte). O conhecimento dos minerais primários existentes no solo é muito importante para a pedologia⁴ e edafologia⁵, já que a sua presença fornecerá indicações úteis para determinar o grau de evolução do solo e sobre a sua reserva mineral, fonte de nutrientes essenciais para o crescimento das plantas.

Já os secundários foram formados mediante o intemperismo de materiais menos resistentes e ocupam as frações finas do solo, como a argila e os óxidos de Fe e Al⁶. Estes apresentam, normalmente, composições totalmente distintas da rocha matriz. Devido a este fato, o solo formado não apresenta uma composição mineral semelhante à rocha matriz, da qual se originou.

TABELA 1 – Caracterização das partículas comuns no solo

Partícula	Diâmetro (mm)	Caracterização
Matações	> 200	Fragmentos grosseiros
Calhaus	200-20	
Cascalhos	20-2	
Areia grossa	2-0,20	Fração fina
Areia fina	0,20-0,05	
Silte	0,05-0,002	
Argila	< 0,002	

³ Manto não consolidado de rocha decomposta e de material de solo na superfície da terra; materiais soltos de terra acima rocha sólida. Horizontes A, B e C.

⁴ Pedologia (do grego *pedon* = solo ou terra): parte da Ciência do Solo que trata da origem, morfologia, distribuição, mapeamento, taxonomia e classificação quanto ao uso dos solos.

⁵ Edafologia (da palavra grega *edaphos* que também significa solo. Ciência que trata da influência do solo em organismos vivos, particularmente nas plantas, incluindo o uso da terra com a finalidade de cultivo.

⁶ Denominação genérica para óxidos, hidróxidos e oxihidróxidos presentes principalmente na fração argila da maioria dos solo brasileiros.

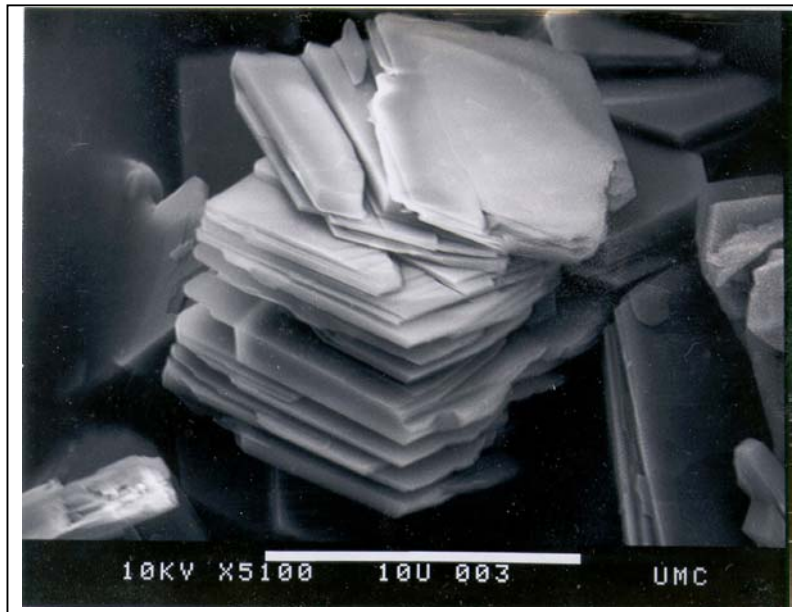


FIGURA 5 – Cristais de caulinita⁷.

A fração do solo que mais determina seu comportamento físico é a fração argila. Ela possui a maior área específica (área por unidade de massa) e por isso é a mais ativa em processos físico-químicos que ocorrem no solo. A areia e o silte apresentam menor superfície específica e conseqüentemente não mostram grande atividade físico-química. Entretanto, são importantes na macroporosidade do solo.

Para fins de análise físicas e químicas é utilizada a fração do solo que passa através de peneira de 2 mm de abertura e inclui componentes minerais e matéria orgânica, denominada de *terra fina*.

1.2.2. Fase líquida

Esta fase é representada pela água ou solução do solo, que contém diversos íons importantes para a nutrição das plantas e que ocupa parte dos espaços porosos do solo, onde é retida em diferentes níveis, dependendo da quantidade existente deste líquido e do tamanho dos poros (Figura 6). Por exemplo, quando o teor de umidade no solo é ótimo para o crescimento vegetal, as plantas podem assimilar prontamente a água do solo devido ao fato de grande quantidade de dela encontrar-se nos poros de tamanho intermediário. À

⁷ Caulinita, do monte Kaoling (*kao*, alto; *ling*, monte), perto de Jauchu Fa, na China, de onde se extraiu o primeiro caulim; o principal constituinte do caulim (HURLBUT, 1971; WEBSTER, 1989). Argila 1:1 de grande importância para os solos de regiões de clima tropical. Há indicações (RESENDE et al., 1988) de que nos solos brasileiros a superfície específica da caulinita atinge maiores valores.

medida que parte desta umidade é removida, a remanescente é encontrada apenas nos poros menores ou como apenas uma película delgada ao redor das partículas do solo, que passa a competir com a própria planta pela posse da água, ou seja, nem todo o montante de água retido no solo pode ser utilizado pelas plantas.

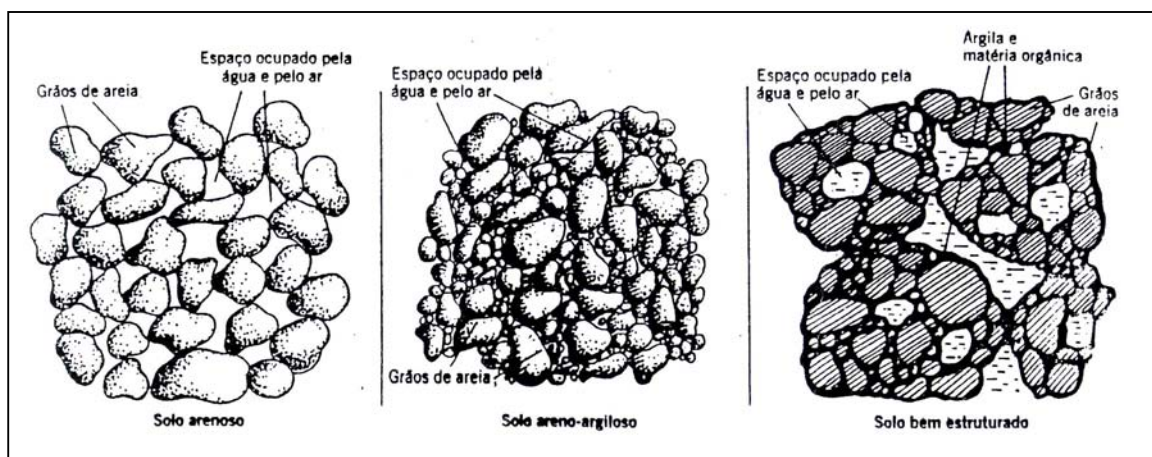


FIGURA 6 – Diferentes níveis de retenção de água no solo.

Ocorre uma constante troca de nutrientes entre os sólidos e a solução do solo e, por outro lado, entre os solutos do solo e as plantas. Quando as plantas retiram íons da solução do solo, sua concentração pode variar com o tempo de maneira diferente para cada nutriente e cada condição ambiental. Existe uma constante e complexa interação entre a fração sólida (reservatório de íons) e a fração líquida, regidas por produtos de solubilidade, constante de equilíbrio, etc. Devido a isto, a descrição da concentração da solução do solo torna-se difícil.

A fase líquida pode estar presente completa ou parcialmente no solo. No primeiro caso, todos os poros do sistema estarão preenchidos por água e o solo é dito saturado; no segundo caso, somente parte do sistema poroso total apresenta água e o solo é dito não saturado. Este tipo de condição é o que caracteriza os solos agrícolas ideais. Numerosas propriedades dos solos dependem do seu teor de umidade, que por sua vez, determina também o seu conteúdo de ar e seu intercâmbio gasoso, afetando, assim, a respiração das raízes e o status químico do solo (reações de redução e oxidação⁸).

⁸ Ao se decompor, a matéria orgânica libera elétrons. Esses elétrons são recepcionados pelo oxigênio, o grande oxidante da natureza, que se reduz ao receber os elétrons. Nos solos de drenagem deficiente, encharcados, o oxigênio disponível esgota-se logo. Os próximos

1.2.3. Fase Gasosa

É o ar do solo, que ocupa o espaço poroso não ocupado pela fase líquida. A presença de um solo bem arejado é muito importante para a sua produtividade, pois as raízes das plantas necessitam do oxigênio para realizarem de seus processos metabólicos. Os organismos do solo também precisam respirar e, sob condições inadequadas de aeração, podem competir por oxigênio com as plantas. Através da fase gasosa realiza-se o transporte do nitrogênio, do oxigênio, que são elementos indispensáveis para o desenvolvimento das plantas.


A composição do ar do solo depende das condições de aeração, que pode ser definida como o processo pelo qual se faz a troca de gases entre o ar do solo e o ar atmosférico. Isto é, a renovação da composição do ar do solo tende a igualar a composição do ar atmosférico. Em solo com boa aeração ele não difere muito do ar atmosférico, exceto por unidade relativa que, quase sempre, possui concentração mais alta de CO₂ (Tabela 2). Ou seja, qualitativamente a composição do ar do solo é semelhante à composição do ar atmosférico, porém, quantitativamente a composição das duas atmosferas pode ser bastante diferente.

Tabela 2: Composição do ar do solo e do ar atmosférico

Atmosfera	O₂	CO₂	N₂	H₂O (Umidade relativa)
	%			
Livre	20,9	0,03	78,9	Variável
do solo	19,6	0,9	79,5	≈ 100

A respiração das raízes das plantas e dos microorganismos, que consomem o oxigênio e elimina CO₂ e possíveis dificuldades de troca gasosa entre a atmosfera do solo e a atmosfera livre, são os motivos desta diferença quantitativa. A composição da atmosfera do solo pode ser também influenciada pela textura, profundidade, conteúdo de água e estado de agregação.

oxidantes, substituindo o oxigênio na recepção de elétrons, são nitratos e alguns compostos de manganês; quando esses se esgotam, e fazem-no rapidamente, pois existem em pequena quantidade, o ferro de valência 3 na goethita e hematita passa a ser o receptor de elétrons, passando de Fe(III) para Fe(II), dando a cor cinzenta das tabatingas. A quantidade de elétrons disponíveis expressa em Eh ou pe (à semelhança do pH para quantificar os átomos de hidrogênio) indica o potencial de oxirredução.

 Medidas de consumo de oxigênio por raízes de plantas mostram que são necessários aproximadamente 10 litros de O₂ por m² de cultura por dia.

PROBLEMAS

- 1) Sugira algumas situações onde ocorram somente duas fases das três fases do solo.
- 2) É possível um solo apresentar somente uma fase?

2. PROPRIEDADES FÍSICAS E MORFOLÓGICAS DO SOLO

2.1. Suspensões e soluções

O solo é essencialmente um sistema disperso. Esta caracterização é dada pela presença da fração argila. Porém as suspensões podem ser de duas naturezas, diferenciadas pelo tamanho das partículas presentes (Tabela 3).

2.1.1. Suspensão grosseira

Sistema bifásico com partículas sólidas de dimensões que permitem sua sedimentação sob ação da gravidade.

2.1.2. Suspensão coloidal

Sistema que contém duas fases, uma das quais, a fase dispersa, está extremamente subdividida e imersa em outra, a fase dispersora. As partículas da fase dispersa denominam-se **micelas**.

2.1.3. Solução

Sistema homogêneo com mais de um componente.

Tabela 3 – Diferenças genéricas entre dois tipos de suspensões com a solução

Suspensão grosseira	⇔	Suspensão coloidal	⇔	Solução
> Heterogeneidade	⇔	Sistema disperso	⇔	> Homogeneidade
		100 nm		1 nm
-Areia, silte e argila-				-Argila-

2.2. Propriedade dos colóides

Os colóides são partículas entre 10^{-6} e 10^{-9} m de diâmetro equivalente e são os principais componentes dos sistemas coloidais, que são sistemas que contém duas fases, uma das quais, a fase dispersa, é formada por material em estado de extrema subdivisão e imersa em outra, a fase dispersora. As partículas da fase dispersa (colóides ou micelas) apresentam como características principais à presença de superfície específica elevada; carga elétrica de superfície; movimento browniano e dispersão da luz (ou efeito Tyndall).

As parcelas mais ativas do solo são aquelas em estado coloidal e existem dois tipos distintos de matéria coloidal: orgânico e inorgânico. O primeiro está representado sob a forma de húmus e o segundo acha-se presente quase que exclusivamente sob a forma de minerais argilosos de diversas formas.

2.2.1. Superfície específica (S)

Muitas das propriedades dos solos são atribuídas a fenômenos de adsorção, adesão e tensão superficial, que tomam lugar às interfaces entre as fases sólidas e líquidas. A superfície de um sistema disperso se expressa em termos de superfície específica, que é definida como sendo a relação entre a superfície exposta e o seu volume ou massa.

Assim, para um meio poroso homogêneo, a superfície específica é calculada pela sua massa ou volume e pelas suas características geométricas. As formas das partículas têm forte influência nos valores da superfície específica; como exemplo pode-se citar que um cubo apresenta uma superfície específica 1,239 vezes maior que uma esfera de mesmo volume. Ou seja, a esfera apresenta a menor relação de área superficial por unidade de massa ou volume, aumentando para a forma de tubo, até chegar na forma laminar (disco), que exhibe a maior área superficial.

A superfície específica da argila é muito maior que a do silte e da areia e, por isso, praticamente toda a superfície específica do solo pode ser atribuída à contribuição da fração argila. As argilas 2:1 (expansíveis) e os compostos orgânicos são os componentes

do solo de maior superfície específica, estando os valores comumente encontrados entre 500 e 800 $\text{mg}^2.\text{g}^{-1}$. A caulinita apresenta superfície específica em torno de 20 $\text{mg}^2.\text{g}^{-1}$ (Tabela 4).

Tabela 4 – Superfície específica de alguns componentes da fase sólida do solo

Mineral de argila	Superfície específica (m^2/g)
Matéria orgânica humificada	700
Minerais da fração argila	
Silicatos de alumínio não cristalino	
Alofanos	400 – 700
Argilominerais	
Caulinita	10 – 30
Clorita	100 – 175
Ilita	100 – 200
Vermiculita	300 – 500
Montmorilonita	700 – 800
Óxido de ferro	
Hematita	300 – 500
Goethita	50 - 200
Óxido de alumínio	
Gibbsita	2 – 5

À medida que o tamanho da partícula diminui, a superfície específica aumenta, como pode ser verificado na Tabela 5.

Tabela 5 – Relação de superfície específica e tamanho das partículas

Cubo (aresta em cm)	Área (cm^2)
1	6
0,1	60
0,01	600
...	
0,0001 (argila)	60.000

Verifica-se que a superfície específica aumenta de 6 a 60.000 cm^2/cm^3 , quando o tamanho do cubo é reduzido de 1 cm de lado (aproximadamente o tamanho do cascalho) a

0,0001 cm (aproximadamente o tamanho de uma argila). Essas grandes diferenças de superfície específica entre os diferentes tamanhos de partículas explicam as diferenças no seu comportamento físico.

💡 O estudo da estrutura dos minerais de argilas mostra que todos os grupos, com exceção das argilas amorfas, têm superfícies planas.

2.2.1.1. Cálculo teórico da superfície específica

A equação geral para determinar a superfície específica é dada pela seguinte expressão:

$$(1) \quad s = \frac{S}{M} = \frac{S}{D_p V}$$

onde: S = superfície total

M = área exposta, por unidade de massa

D_p = densidade das partículas

V = Volume das partículas

São conhecidos muitos métodos para estimar a superfície específica dos materiais porosos. As considerações que se seguem, dizem respeito ao método geométrico, considerando as duas seguintes formas de base: massa e volume. No primeiro caso, a unidade resultante é m²/kg e, no segundo, m²/m³.

Para um meio poroso constituído de partículas granulares homogêneas, a superfície específica pode ser calculada pela sua massa ou volume e pelas características geométricas, ou seja, pelo tamanho e forma das partículas. Se o material é heterogêneo, a contribuição de cada componente deve ser avaliada separadamente. A superfície específica total, então, será a superfície específica ponderada das componentes.

a) Partículas cúbicas

Considerando um cubo de lado *l*, sua área superficial total (S) será de 6 *l*² e seu volume (V) igual a *l*³ e a sua massa D_p *l*³. Assim, sua superfície específica é:

$$(2) \quad s = \frac{S}{D_p V} = \frac{6l^2}{D_p l^3} = \frac{6}{D_p l} \quad (\text{com base na massa})$$

$$(3) \quad s = \frac{6l^2}{l^3} = \frac{6}{l} \quad (\text{com base no volume})$$

l = lado do cubo

b) Partículas esféricas

Para uma esfera de diâmetro d , a área superficial (S) e o volume (V) são:

$$S = 4\pi r^2 = 4\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi d^2$$

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{d}{2}\right)^3 = \frac{\pi d^3}{6}$$

Obs.: r = raio da esfera

Sua massa é $\frac{Dp\pi d^3}{6}$, com isso:

$$(4) \quad s = \frac{\pi d^2}{\left(\frac{Dp\pi d^3}{6}\right)} = \frac{6}{Dpd} \quad (\text{com base na massa})$$

$$(5) \quad s = \frac{6\pi d^2}{\pi d^3} = \frac{6}{d} \quad (\text{com base no volume})$$

Esses resultados são idênticos aos das equações (2) e (3), exceto que o L é substituído pelo d . Em ambos os casos, quanto menor o tamanho das partículas, maior a sua superfície específica.

c) Partículas laminares

As formas de partículas consideradas nos dois casos anteriores não ocorrem na natureza, exceto nas areias, as quais apresentam partículas mais ou menos esféricas.

Como via de regra, as partículas minerais coloidais no solo apresentam-se na forma de placas (ver Figura 4). Considerando uma partícula nessa forma, com espessura ϵ ,

comprimento C e a largura L , seu volume (V) então é, $CL\varepsilon$ e sua massa é $D_p CL\varepsilon$ e sua área superficial total (S) é $2(CL + \varepsilon C + \varepsilon L)$. Com isso, a superfície específica é:

$$(6) \quad s = \frac{S}{D_p V} = \frac{2(CL + \varepsilon C + \varepsilon L)}{D_p CL\varepsilon} = \frac{2}{D_p \varepsilon} \left[1 + \frac{\varepsilon}{L} + \frac{\varepsilon}{C} \right]$$

Como trata-se de lâminas extremamente finas, a condição encontrada é a seguinte: $\varepsilon \ll C$ e $\varepsilon \ll L$. Então a equação (6) reduz-se a:

$$(7) \quad s \approx \frac{2}{D_p \varepsilon}$$

PROBLEMAS

- 3) Calcule S para partículas cúbicas com $D_p = 2650 \text{ kg/m}^3$ e lado de 2 mm , $200 \mu\text{m}$ e $2 \mu\text{m}$, respectivamente.
- 4) a) Quais das equações apresentadas são mais apropriadas para estimar s de partículas de areia, silte e argila?; b) estime, com base na massa, a máxima superfície específica da areia e silte; e c) que valor de s você espera como mínimo para as argilas?
- 5) Se as partículas de argila tivessem base circular, de raio r , quais seriam as implicações na equação (6)?
- 6) Calcular a superfície específica de partículas de areia e silte nos limites superior e inferior de cada fração. Para $D_p = 2,6 \text{ g/cm}^3$.
- 7) Calcular a superfície específica de lâminas de 1 nm de espessura e $D_p = 2,6 \text{ g/cm}^3$.
- 8) Calcular a superfície específica de lâminas de 1 nm de espessura. $D_p = 2,6 \text{ g/cm}^3$.
- 9) Calcular o número de unidades de caulinita, de $0,7 \text{ nm}$ de espessura, superpostas numa lâmina do mineral, sendo $s = 20 \text{ m}^2/\text{g}$ e $D_p = 2,6 \text{ g/cm}^3$.
- 10) Calcular o diâmetro de partículas de hematita com $s = 500 \text{ m}^2/\text{g}$ e $D_p = 5,0 \text{ g/cm}^3$.
- 11) Indicar se as partículas de goethita, com superfícies específicas extremas de 50 e $200 \text{ m}^2/\text{g}$ e $D_p = 4,2 \text{ g/cm}^3$ são coloidais ou não.

2.3. Textura do solo

O termo *textura*⁹ se refere à proporção das frações areia, silte e argila no solo. Cada solo recebe uma designação quanto à sua textura, designação esta que nos dá idéia do tamanho das partículas mais freqüentes.

Conhecida as quantidades relativas destas frações através de uma análise textural, o solo recebe uma designação, sendo encaixado em uma classe, determinada com auxílio de um triângulo.

A textura é uma característica de grande importância para os solos, já que grande parte das reações que ocorrem no sistema solo-água-planta, são fenômenos de superfície, que tem sua magnitude dependente do tamanho das partículas envolvidas.

Diversas propriedades dos solos estão, diretas ou indiretamente, associadas à textura, como, por exemplo, o movimento e a retenção de umidade, a aeração do solo, entre outras, condicionando de forma sistemática, o manejo do solo (Tabela 6).

Trata-se de uma característica estável, pois os tamanhos das partículas de um solo mineral não está sujeito a mudanças rápidas, além do fato que a proporção de cada grupo de fração, não pode ser alterado. É de grande auxílio na classificação do solo.

A análise e a determinação da distribuição das partículas de uma amostra de solo quanto ao seu tamanho é denominada análise granulométrica ou textural. As partículas minerais do solo apresentam grande variabilidade em tamanho, desde blocos de rochas, pedras e cascalhos diversos, até as argilas coloidais, como já apresentado na Tabela 1. Para que possam ser estudadas convenientemente, estas partículas são agrupadas em classes de tamanhos, geralmente denominadas frações do solo. Diversos sistemas de classificação já foram propostos, baseados em limites arbitrários de separação entre as frações diversas (Figura 7). Em geral, as partículas menores de 2,0 mm são agrupadas em três classes de frações principais: AREIA, SILTE e ARGILA.

Apesar da classificação dos grupos de partículas ser arbitrária, ela segue determinados princípios básicos, especialmente quanto à capacidade de retenção de água, condutividade hidráulica, movimento capilar, mineralogia, além de propriedades químicas, como por exemplo, capacidade de troca catiônica. Com base nisto estabeleceu-se o limite principal de separação das partículas como sendo 0,002mm ou 2 μ . Este ponto separa,

⁹ Textura, do latim *textura*, teia, tecido; em solos refere-se às proporções relativas de areias, argila e silte; nas rochas, tamanho, forma e arranjo dos grãos da rocha sedimentar, cristalinidade, granularidade e trama dos elementos nas rochas ígneas. É aplicado a superfícies pequenas de uma rocha homogênea. O termo estrutura é usado para aspectos maiores. Em francês, *textura* e *estrutura* têm sentidos opostos aos mencionados (BATES & JACKSON, 1987; WEBSTER, 1989 citados por RESENDE et.al, 1997).

aparentemente, física e quimicamente o material de maior atividade (argilas) do material grosseiro, considerado inerte. Existe uma grande correlação entre quantidade de partículas com diâmetro inferior a 2π e a capacidade de troca catiônica, a água não disponível e a superfície específica, respeitadas as variações na mineralogia e no teor de matéria orgânica do solo. A Figura 8 mostra uma comparação entre a forma e o tamanho das três classes principais de frações do solo.

Americana	mm	Brasileira	mm	Internacional (Atterberg)
Areia muito grossa	2,0	Areia grossa	2,0	Areia grossa
Areia Grossa	1,0		Areia Fina	
Areia média	0,5			0,2
Areia Fina	0,25			
Areia muito fina	0,10		0,02	
Silte	0,05	Silte	0,02	Silte
	Argila			

FIGURA 7 – Três classificações texturais do solo

Os resultados da análise textural são, geralmente, utilizados na classificação textural do solo, uma vez que estes são formados por diferentes combinações das frações areia, silte e argila (Tabela 7). Estas diferentes combinações são agrupadas e denominadas classes texturais, seguindo, em geral, um diagrama triangular. No Brasil, utiliza-se

normalmente a classificação adaptada (do USDA) elaborada pela SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (SBCS), a partir do triângulo eqüilátero, a partir das frações areia (2,0 – 0,05 mm), silte (0,05 – 0,002 mm) e argila (< 0,002 mm), distribuindo os solos em treze classes texturais, ao invés de doze classes proposta pelo USDA. A Figura 9 mostra o triângulo adotado pela SBCS.

Tabela 6: Algumas características do solo associadas à textura

Característica	Textura				
	Arenosa	Sedosa	Média	Argilosa	
				Ta	Tb
Sensação do tato	Atrito	Sedoso	Atrito	Plástico/pegasoso	Plástico/pegasoso
Execução de tratos culturais	Fácil	Dificuldade média	Fácil	Difícil	Fácil
Água disponível	Baixa	Alta	Média	Alta	Alta
Drenagem interna	Excessiva	Moderada	Boa	Moderada/imperfeita	Boa
Escorrimento superficial	Baixo	Alto	Baixo/médio	Médio/alto	Baixo
Erosão hídrica: - tendência ao fracionamento - tendência ao transporte	Alta	Média	Média	Baixa	Baixa
Erosão eólica	Alta	Baixa	Média	Baixa	Baixa

Ta = Argila de atividade alta

Tb = Argila de atividade baixa

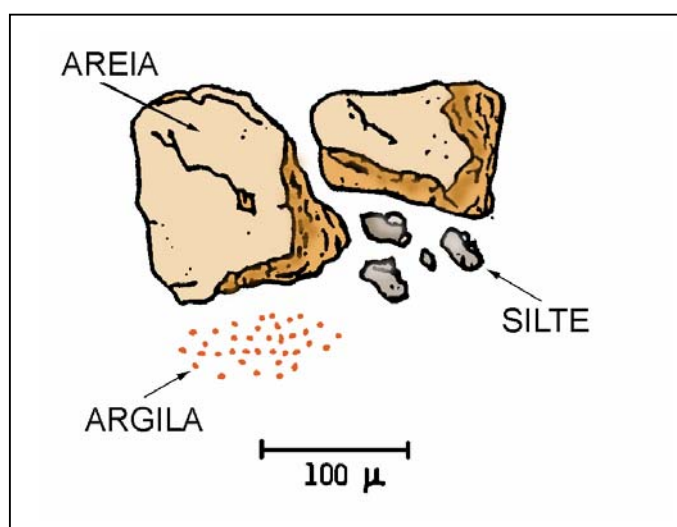


FIGURA 8 – Diferenças proporcionais das diferentes frações do solo

TABELA 7 – Descrição das características de alguns tipos de texturas

Textura	Descrição
Arenosa	Compreende as classes texturais areia e areia franca.
Siltosa	Compreende parte das classes texturais que tenham menos de 35% de argila e menos de 15% de areia.
Média	Compreende classes texturais ou parte delas, tendo na composição granulométrica menos de 35% de argila e mais de 15% de areia, excluídas as classes texturais areia e areia franca.
Argilosa	Compreende as classes texturais ou parte delas, tendo na composição granulométrica 35 a 60% de argila
Muito argilosa	Compreende classe textural com mais de 60% de argila

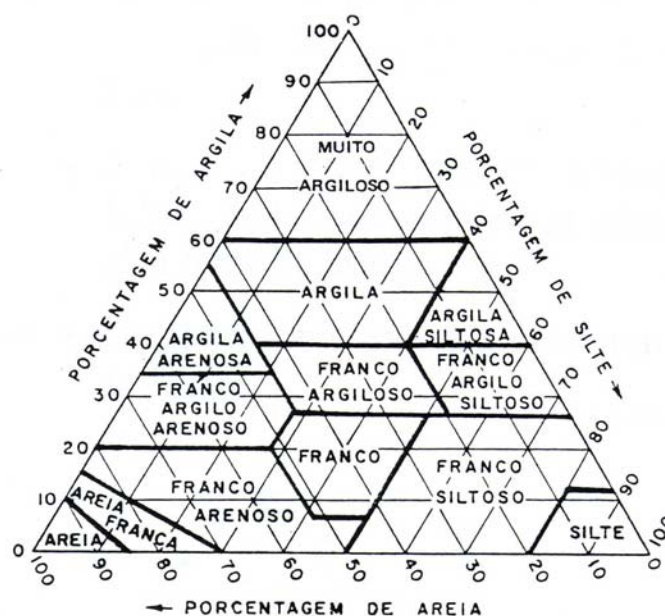


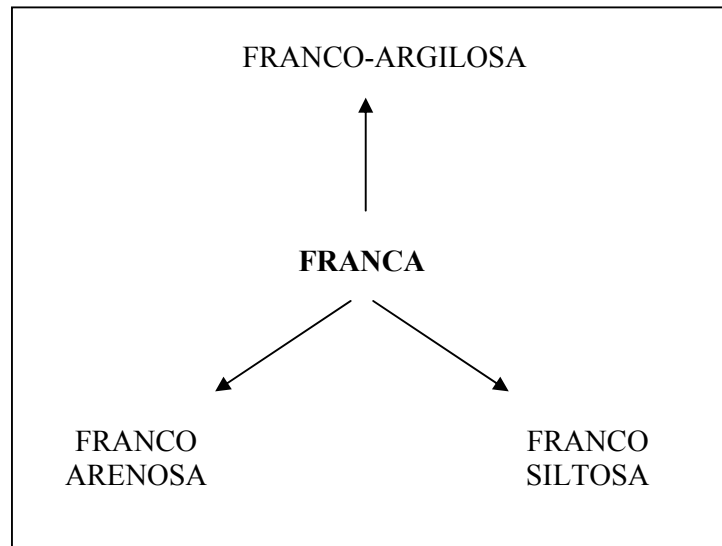
FIGURA 9 – Representação da textura pelo triângulo

Nos vértices do triângulo estão representados 100% da fração correspondente, que decresce paralelamente à base que lhe é oposta. Analisando a representação das classes estruturais pelo triângulo, observa-se que:

- 1- nos vértices estão as classes texturais identificadas pelo nome da fração, com exceção do vértice superior;
- 2- a classe textural franco (barro, em algumas publicações) corresponde à classe textural em que supostamente não há predominância marcante de

nenhuma das frações. Ela se posiciona aproximadamente no meio do polígono pentagonal. As frações argila, silte e areia estão aí presentes em diferentes proporções. A fração argila ocorre em menor quantidade, cerca de 20 %, enquanto que areia e silte correspondem à cerca de 40% cada. Isto porque a argila tem um papel físico-químico muito mais pronunciado do que aquele das outras duas frações;

3- da classe franca para os vértices, tem-se:



4) a fração argila, pela sua atividade, imprime seu nome a várias classes de textura, isto é, das treze classes, sete levam o nome argila ou argilosa na sua denominação. Isto não ocorre com outra fração, a não ser com a palavra franca (seis vezes), a qual não representa uma fração.

A textura de um solo depende de diversos fatores, tais como da rocha de origem e do seu grau de intemperização (idade). O quartzo sendo um mineral muito resistente, quando de tamanho maior do que de 0,05 mm de diâmetro é, no entanto, pouco resistente se ocorre nas frações argila e silte.

Há uma tendência de os solos originários de rochas psamíticas¹⁰ apresentarem altos teores de areia e baixos teores de argila.

¹⁰ Psammos (do grego) quer dizer areia

2.4. Densidade

2.4.1. Densidade da partícula

Corresponde à massa por unidade de volume de partículas de solo seco. Considera-se somente o espaço ocupado pela matéria sólida do solo.

É invariável e independe da estrutura e compactação do solo. Outra denominação encontrada na literatura é densidade real.

$$Dp = \frac{M_s}{V_s}$$

Dp = Densidade da partícula

Ms = massa do solo

Vs = volume de sólidos

A tabela 8 apresenta valores típicos de densidade das partículas de alguns constituintes do solo.

TABELA 8 – Valores de densidade das partículas para diferentes constituintes do solo

Material	Densidade das partículas (g/cm ³)
Húmus	1,3 – 1,5
Argila	2,2 – 2,5
Quartzo	2,5 -2,8
Feldspato	2,5 – 2,6
Calcita	2,6 – 2,7
Hematita, pirita e magnetita	4,9 – 5,3

Considerando-se a proporção em que esses materiais se encontram no solo e a pouca variação existente entre solo, a Sociedade Internacional de Ciência de Solos adota como padrão uma densidade de partículas igual a 2,65 g/cm³.

2.4.2. Densidade do solo

Corresponde à massa de solo seco por unidade de volume, ou seja, o volume do solo ao natural, incluindo os espaços porosos. Possui também outras designações, tais como densidade aparente (obsoleto) e densidade global (uso regional).

$$D_s = \frac{M_s}{V_t}$$

D_s = densidade do solo

M_s = massa do solo

V_t = volume total

Observa-se que tanto para D_p como para D_s, não se considera a massa da água, por ser variável e não caracterizar o solo.

A Tabela 9 apresenta os valores médios de densidade do solo para as diferentes classes texturais de solo. Quanto mais fino o material, maior a porosidade total, menor a massa específica da fração sólida e, conseqüentemente, menor densidade do solo.

TABELA 9 – Valores médios de densidade do solo para as principais classes texturais do solo

Classe textural	Densidade do solo (g/cm ³)
Areia	1,3 – 1,6
Silte	1,1 – 1,5
Argila	0,9 – 1,1

São vários os fatores que afetam a densidade do solo, destacando-se a estrutura e o teor de matéria orgânica. Quando um solo, por manejo incorreto por exemplo, tende a perder sua estrutura e compactar-se, os valores de sua densidade do solo irão aumentar. Quando o teor de matéria orgânica é elevado, a sua densidade do solo tende a diminuir.

O conhecimento do seu valor nos diferentes horizontes do solo, permite determinar importantes relações com diversas outras características do solo. Propriedade como a drenagem, porosidade, condutividade hidráulica, permeabilidade, arejamento e capacidade de retenção de água, podem ser avaliadas a partir da densidade do solo.

2.4.2.1. Determinação

Existem diversos métodos de determinação da densidade do solo, quase todos baseados na obtenção de dois valores: a massa de uma determinada amostra de solo e o seu volume, incluindo sólidos e poros. Como a massa é facilmente determinada em balança, a obtenção do volume é que é diferencia os métodos.

- a) método do anel volumétrico: o anel de volume conhecido é introduzido no solo e a amostra é recolhida. Em seguida o material é levado à estufa para eliminação da água e pesado. A massa obtida é dividida pelo volume;
- b) Método do torrão parafinado: baseado no princípio de Arquimedes. Cobre-se uma amostra não deformada do solo já com seu peso (massa) já determinado, com parafina (quente), tendo o cuidado de prendê-la a um cordão. Introduz a amostra já parafinada em uma proveta com volume de água conhecida e verifica o volume deslocado;
- c) Método da proveta: faz-se o enchimento de uma proveta de 100 cm³ com solo destorroado, promovendo batimentos sucessivos de seu fundo em uma superfície plana para acomodação das partículas. Pesa-se a amostra de solo, determinando-se sua massa. A relação da massa com o volume por ela ocupada dá a densidade da amostra (Figura 10). A seguir serão demonstrados cálculos para se determinar a densidade do solo e da partícula.

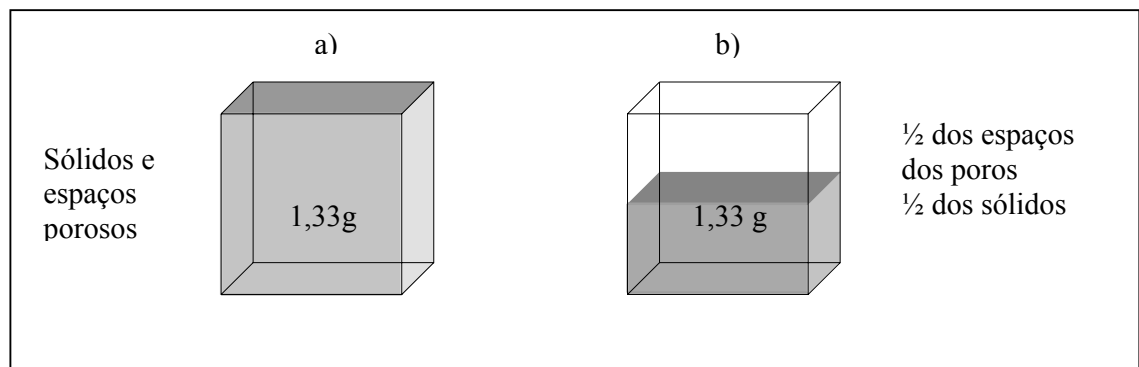


FIGURA 10 – Esquema representativo de um centímetro cúbico de solo (a) e se todos os sólidos fossem comprimidos ao máximo (b).

<u>Para se calcular a densidade do solo</u>	<u>Para se calcular a densidade da partícula</u>
<p>Volume = 1 m³ Peso = 1,33Mg (sólidos e poros) (apenas sólidos)</p>	<p>Volume = 0,5 m³ Peso = 1,33Mg (apenas sólidos) (apenas sólidos)</p>
$D_s = \frac{M_s}{V_t}$	$D_p = \frac{M_s}{V_s}$
$D_s = \frac{1,33}{1} = 1,33 \text{ Mg/m}^3$	$D_p = \frac{1,33}{0,5} = 2,66 \text{ Mg/m}^3$

2.5. Porosidade

Pode ser definida como sendo a porção do volume do solo não ocupada por partículas sólidas, incluindo todo espaço poroso ocupado por água e ar. Todo solo possui poros, mas sua quantidade, tamanho, distribuição e continuidade são variáveis conforme o solo.

Pode ser feitas algumas observações da presença dos poros, seja através de uma lupa, seja adicionando água e observar como esta se infiltra (com maior ou menor rapidez).

Existe uma grande variação nos valores encontrados na porosidade diferentes solos. Ela é função, principalmente, da textura e da estrutura do solo. Também a matéria orgânica afeta a porosidade, contribuindo para valores mais elevados.

Solos arenosos apresentam menor porosidade total, uma vez que suas partículas, grosseiras, tendem a se arranjar numa disposição piramidal, que apresenta menor espaço entre as partículas. Já os solos argilosos apresentam, em geral, maiores porosidades porque suas partículas finas, tendem a assumir um arranjo mais espaçado e, além disto, formam agregados que aumentam sua porosidade.

Os poros são divididos em duas classes: microporos e macroporos, menores e maiores do que 0,05 mm de diâmetro, respectivamente (Tabela 10).

A porosidade do solo está ligada a uma série de características importantes do solo, tais como o movimento e retenção da umidade, arejamento, reações do solo, movimento de água relacionada à erosão, manejo do solo, etc..

TABELA 10 – Classificação mais detalhada do sistema poroso

Denominação	Diâmetro efetivo	função
Poros grandes	μm > 60	Infiltração de água, aeração e crescimento de radículas (100 μm)
Poros médios	60 – 10	Redistribuição de água, crescimento de pêlos radiculares (10 μm)
Poros pequenos	10 – 0,2	Armazenamento de água disponível
Superfícies higroscópicas	colóides	Armazenamento de água não disponível

2.5.1. Determinação da porosidade

Existem diversas maneiras de se obter a porosidade total (P):

$$P = \frac{V_p}{V_t} = \frac{V_t - V_s}{V_t}$$

V_p = espaço poroso

V_t = volume total

$$P = 1 - \frac{V_s}{V_t}$$

$$P = 1 - \frac{1/V_t}{1/V_s}$$

$$P = 1 - \frac{1/V_t \cdot M_s}{1/V_s \cdot M_s}$$

$$P = 1 - \frac{M_s/V_t}{M_s/V_s}$$

Outra forma é através da equação de Veihmeyer:

$$P = 1 - \frac{D_s}{D_p}$$

2.5.2. Observações sobre porosidade (RESENDE et al., 1997)

a) todo solo argiloso tem grande microporosidade, contudo pode assumir também grande macroporosidade dada pela agregação (estrutura);

b) as raízes crescem melhor através dos macroporos;

c) os agentes que agregam as partículas primárias como a matéria orgânica, Ca, e óxidos de Fe e de Al, favorecem o arejamento e a infiltração da água; enquanto os agentes desagregantes, como o Na (sódio) e compactação têm efeito inverso, prejudicando sobremaneira o crescimento das raízes;

d) a água é retida com mais força nos poros menores: nos poros maiores, a própria gravidade remove a água; nos menores, a água não é tão disponível para as plantas. Entre esses existem poros intermediários em tamanho e tendência de comportamento. Nos microporos predomina a retenção de água por adsorção;

e) a estrutura granular, quando bem expressa, como no caso do horizonte B dos Latossolos (velho), determina no solo a existência de duas populações de poros mais ou menos distintas: os macroporos, entre os grânulos, e os microporos, no interior dos agregados. Isso tende a classificar a água retidas nestes solos em duas classes bem distintas: a que ocupa os poros maiores do que cerca de 1 μm (3 bars) e a água correspondente a poros com diâmetro equivalente menor que 0,2 μm (15 bars). Isso que dizer que nesses solos não há praticamente poros entre esses dois limites. Tal fato também é válido para solos arenosos. Os solos que não possuem estrutura granular já tendem a apresentar geralmente, maior incidência de poros entre 1 e 0,2 μm de diâmetro equivalente.

2.6. Estrutura do solo

Diversos conceitos podem ser apresentados para a estrutura do solo. A seguir são apresentados dois deles: um do ponto de vista descritivo e outro, do ponto de vista funcional (de um físico de solo).

- O termo estrutura refere-se ao agrupamento ou arrumação das partículas primárias do solo em unidades compostas ou agrupamentos secundários denominados *agregados* ou *peds*¹¹, que são separadas de agregados adjacentes por superfícies de fraca resistência.

- Estrutura do solo é o arranjo ou ordenação das partículas primárias (areia, silte e argila) e secundárias (microagregados) em certos modelos e padrões estruturais, incluindo, necessariamente, o espaço poroso acompanhante (Baver et al., 1973; citado por FONTES et al., 1992)

Várias características do solo são consideravelmente influenciadas pela estrutura, tais como a movimentação da água, transferência de calor, aeração, densidade do solo e porosidade. As diferentes modificações físicas impostas pelo agricultor às suas terras, mediante aração, cultivo, drenagem, adubação orgânica e calagem, são mais de natureza estrutural do que textural. Ao contrário da textura, a estrutura é uma característica mais dinâmica, alterando-se em resposta às condições ambientais, biológicas e práticas de manejo. Salienta-se lembrar que a condição estrutural do solo exerce uma grande influência no espaço poroso, através do qual se realizam o movimento da água e a troca gasosa no solo, ambos processos de grande importância no desenvolvimento das plantas.

¹¹ Ped: unidade de estrutura do solo, tal como um agregado, prisma, bloco ou grânulo, formada por processos naturais. Difere do torrão, o qual é formado artificialmente e trata-se de uma massa compacta e coerente de material do solo, usualmente produzida pela atividade humana ao arar, escavar, etc., especialmente quando estas atividades são feitas quando os solos estão ou muito secos ou muito molhados para serem trabalhados.

Um espaço poroso inadequado, por exemplo, num solo compactado, pode prejudicar o desenvolvimento das raízes (Figura 11) e impedir a emergência de sementes.

2.6.1. Classificação da estrutura

A classificação da estrutura do solo é baseada em aspectos morfológicos, podendo-se considerar a existência de uma *macroestrutura* e de uma *microestrutura*. Em geral, os estudos de solo que exigem descrição do perfil, levam em conta a macroestrutura. Os limites de separação entre estes dois grupos são arbitrários, podendo-se considerar, como regra geral, a possibilidade ou não de a estrutura ser vista a olho nu.

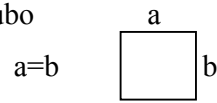


FIGURA 11 – Crescimento excessivamente lateral da raiz do eucalipto devido à compactação do solo, que não permite seu aprofundamento e, conseqüentemente, a planta fica mais sujeita a estresse hídrico e queda por ventos.

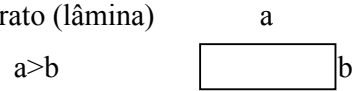
A descrição da estrutura de um solo é obtida quando, a partir de um torrão amostrado do solo, age-se de forma a pressionar as suas superfícies de fraqueza, existente entre os agregado, proporcionando a sua subdivisão.

Em 1927, Zakharov propôs uma classificação da estrutura do solo, com base na forma e nas características da superfície dos agregados, como segue:

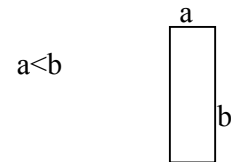
1 – estrutura em forma de cubo



2 – estrutura em forma de prato (lâmina)



3 – estrutura em forma de prisma



Atualmente, a classificação adotada pela SBCS é aquela proposta pela American Survey Association em 1951, que se baseia em três características dos agregados: tipo, classe e grau.

a) Tipos de estrutura do solo

A forma dominante dos agregados em um horizonte, determina o seu tipo estrutural. São quatro os principais tipos de estrutura de solo (Tabela 11).

b) Classes das estruturas do solo

Trata-se de agrupamento, quanto ao tamanho, de unidades estruturais dos solos ou agregados naturais (ped). São diferenciadas cinco classes de estrutura do solo, cujos limites de diâmetro variam com o tipo de estrutura (Tabela 12), podendo ir de 1 mm até 100 mm. A classe de estrutura é obtida pela medição dos agregados individualizados ou pela comparação destes com padrões de referência.

TABELA 11 – Classificação da estrutura do solo baseada na forma dos agregados ou pedis e seu arranjo no perfil.





Tipo (forma)	Características	Ocorrência típica
<p>Laminar</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - As partículas do solo estão arranjadas em torno de um plano horizontal. - As unidades estruturais apresentam aspecto de lâminas de espessura variável, porém a linha horizontal é sempre maior. 	<p>No horizonte E (de eluvial) de muitos Argissolos (Podzólicos). Por efeito de compressão, pisoteio, por exemplo, na camada superficial.</p>
<p>Prismática</p>  <ul style="list-style-type: none"> - Prismática - Colunar 	<ul style="list-style-type: none"> - As partículas do solo estão arranjadas em torno de uma linha vertical dominante. - Os limites entre as superfícies verticais são relativamente planos. - Extremidades superiores com ângulo - Extremidades superiores arredondadas 	<p>Em muitos solos com B textural (Bt). No corte exposto do Latossolo (neste caso, geralmente, não é composta de blocos).</p> <p>Horizonte B solonético (horizonte Bt com alto teor de Na⁺)</p>
<p>Em blocos</p>  <ul style="list-style-type: none"> - Angulares - Subangulares 	<ul style="list-style-type: none"> - As três dimensões da unidade estrutural são aproximadamente iguais. - Faces planas e maioria dos vértices com ângulos vivos - Mistura de faces arredondadas e planas com muitos vértices arredondadas 	<p>Horizonte B dos solos com B textural</p>
<p>Granular</p>  <ul style="list-style-type: none"> - Granular - Em grumos 	<ul style="list-style-type: none"> - Partículas arranjadas em torno de um ponto, como na estrutura em blocos. - Os agregados diferenciam-se por apresentar forma arredondada, sem faces de contato. - Relativamente menos porosas. - Unidades estruturais muito porosas 	<ul style="list-style-type: none"> - No horizonte A, rico em matéria orgânica e nos Latossolos - No horizonte A chernozêmico de alguns solos

TABELA 12 – Limites de diâmetros conforme tipo de estrutura

Classes estruturais	Tipos de estrutura			
	Laminar	Prismática	Blocos	Granular
	mm			
Muito pequena	< 1	< 10	< 5	< 1
Pequena	1 – 2	10 -20	5 – 10	1 – 2
Média	2 – 5	20 – 50	10 – 20	2 -5
Grande	5 – 10	50 – 100	20 – 50	5 -10
Muito grande	> 10	> 100	> 50	> 10

c) Grau de estrutura do solo

Os graus de estrutura do solo são pertinentes aos graus de adesão, coesão ou estabilidade entre e intra-agregados ou estabilidade dentro do perfil. O grau de estrutura varia com a umidade do solo. Pode estar mais fortemente expresso nos solos com menor umidade. No campo, a condição mais favorável para o exame da estrutura é quando o solo se apresenta mais seco do que úmido. São adotados quatro graus (Tabela 13).

2.6.2. Observações sobre estrutura (RESENDE et al., 1997)

- a) Um exemplo de estrutura forte seria os grânulos do Latossolo Vermelho Escuro (antigo Latossolo Roxo), que por vezes formam micro-agregados tão estáveis que dão a aparência de pó de café, e às vezes são descritas como tendo aspecto de maciça, porosa, lembrando material arenoso;
- b) Os óxidos de Fe e Al, a matéria orgânica e o excesso de sais tendem a produzir estrutura granular;
- c) A expansão e contração de todo material, mais ou menos rico em argila, quando exposto a ciclos de umedecimento e secagem¹², quando em meio mais conservador de umidade, tendem a destruir a estrutura granular, dando origem à estrutura em blocos, isto é, ocorre uma deformação plástica dos agregados (EUA, 1967; MONIZ, 1980);

¹² Estes ciclos ocorrem nas áreas de interface do solo com a atmosfera livre, onde o solo fica mais exposto às variações climáticas.

TABELA 13 – Características dos quatro graus de estrutura

Grau de estrutura	Definição
Sem estrutura	Não se observa qualquer agregação entre as partículas dos solos
- Grãos simples*	- Partículas não coerentes, isoladas, como no Neossolo Quartzarênico ¹³
- Maciça**	- Partículas reunidas, formando uma massa, com coesão uniforme, como nos horizontes mais profundos dos Gleissolos ¹⁴
Com estrutura	Constatam-se agregados mais ou menos distintos ao se destorroar o solo
- Fraca	- Agregados indistintos e fracamente formados
- Moderada	- Unidades bem formadas, moderadamente resistentes, mas não muito distintas
- Forte	- Agregados firmes, bem distintos na parede do perfil e que aderem fracamente uns aos outros.

* Figura 12

** Ver Figura 4 – O Organossolo é outro exemplo de solo que apresenta grau de estrutura maciça nos horizontes mais profundo

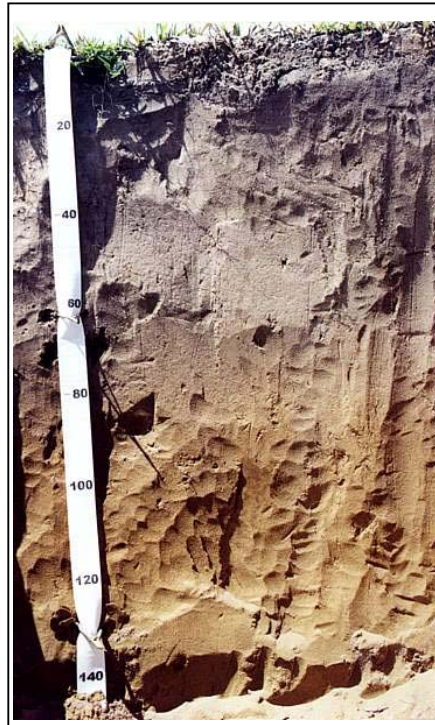


FIGURA 12 – Perfil de Neossolo Quartzarênico (Areia Quartzosa)

¹³ Antigas Areias Quartzosas, apresenta solo com seqüência de horizonte A-C, sem contato com a rocha dentro dos primeiros 50 cm de profundidade, apresentando-se essencialmente quartzoso, com alto teor de areia (cerca de 95%) e praticamente ausência de minerais primários alteráveis (menos resistente ao intemperismo)

¹⁴ compreende solos hidromórficos (alagados), constituído por material mineral, que apresentam horizonte glei dentro dos primeiros 50 cm de profundidade. Apresenta, geralmente, mosqueados abundantes e cores acinzentadas.

- d) Num Latossolo, a taxa de infiltração de água tende a ser maior no horizonte B do que no horizonte A. O oposto ocorre quando o solo apresenta argila é mais ativa (expande-se e contrai-se mais). Então, a matéria orgânica, mais próxima à superfície, reduz a expansão e a contração que chegam a afetar inclusive o horizonte B. nesse caso (solo com argila mais ativa), a proporção de macroporos é maior mais próxima à superfície.
- e) Sendo a esfera a forma que apresenta o mínimo de área exposta por unidade de volume, e como o grânulo é a estrutura que mais se aproxima da esfera, conclui-se: os materiais que apresentam estrutura granular tendem a ter o mínimo de coerência entre os grânulos. Estes, se forem pequenos, podem ser facilmente deslocáveis pela água, daí os Latossolos mais ricos em óxidos de Al e Fe (os Latossolos mais velhos) serem de fácil erodibilidade. Porém tal fato não é comumente observado, pois estes solos tendem a ocorrer em superfície de baixa declividade;
- f) Os solos pobres em óxidos de Al e Fe tendem a apresentar estrutura bastante afastada do tipo granular, exceto próximo à superfície, onde se faz sentir o efeito do teor mais elevado de matéria orgânica e da atividade da pedofauna; e, até certo ponto, também dos ciclos de umedecimento e secagem;
- g) O excesso de sais tende a formar grânulos (como nos Solos Salinos) enquanto o Na^+ tem efeito oposto, tendendo a formar estrutura prismática colunar (como nos Solonéticos¹⁵).

2.6.3. Implicações do manejo do solo na estrutura

O manejo adequado do solo requer que a estrutura do solo seja melhorada ou, pelo menos, conservada. Para isso, deve-se fazer uso de técnicas que promovam a estruturação e evitem a destruição dos agregados existentes. Dentre estas técnicas, destacam-se:

- a) Calagem – esta prática geralmente proporciona um aumento da estabilidade dos agregados, uma vez que os carbonatos são agentes cimentantes de partículas primárias e o cátion Ca^{2+} promove a floculação dos colóides (salvo em algumas situações específicas de solos oxidicos e ácidos, ricos em cátions trivalentes);
- b) Incorporação de resíduos orgânicos – a incorporação de matéria orgânica aos solos favorece a formação e o aumento da estabilidade dos agregados;

¹⁵ Solonetz, do russo *sol*, sal, e *etz*, fortemente expresso; solo com camada delgada e friável sobre camada com estrutura colunar, escura, muito alcalina.

- c) Proteção do solo contra impactos de gotas de chuvas – isto pode ser feito com o uso de cobertura morta ou cobertura vegetal;
- d) Minimizar a movimentação do solo – o uso de técnicas de cultivo, que minimizem o movimento do solo proporciona, a diminuição da quebra mecânica de agregados (ex.: plantio direto, cultivo mínimo, etc.);
- e) Operação de preparo e de cultivo mecânico somente nas condições de umidade ideais (estudo da consistência do solo);
- f) Evitar a entrada de cátions dispersantes no solo (como o Na^+ através de água de irrigação)

2.7. Consistência do solo

A expressão consistência do solo é utilizada para caracterizar determinadas propriedades dinâmicas dos solos relacionados à manifestação de forças físicas, especialmente aquelas ligadas à resistência que o material de solo oferece à deformação. A coesão¹⁶ e a adesão¹⁷, sob várias condições de umidade, dão a consistência ao solo, que é o resultado da atração molecular (coesão) e da tensão superficial (adesão). A consistência é elevada no solo seco devido à coesão e na faixa intermediária do solo molhado, pela maior expressão das forças de adesão e atinge mínimos na faixa de solo úmido e quando o solo está saturado.

Estas características fazem com que consistência tenha implicações diretas no manejo do solo (Figura 13).

Solos muito plásticos e muito pegajosos, como são os Vertissolos, apenas podem ser trabalhados (arados, gradeados, etc.) em amplitude estreita de umidade, pois quando estão secos, são extremamente duros, implicando um maior gasto de potência e de combustível, além de desgaste excessivo de implementos, e quando estão molhados, são fortemente aderentes, afetando, além de outros fatores, a tração do trator e eficiência dos implementos, além de ocasionar problemas de compactação. Já os Latossolos podem ser trabalhados em maior amplitude de umidade.

¹⁶ Força mantendo um sólido ou líquido junto, devido à atração entre moléculas semelhantes.

¹⁷ Força de atração que as partículas do solo exercem sobre as moléculas de água. Seu efeito para manter as partículas de solo ligadas depende da presença de água e ar no sistema (tensão superficial).

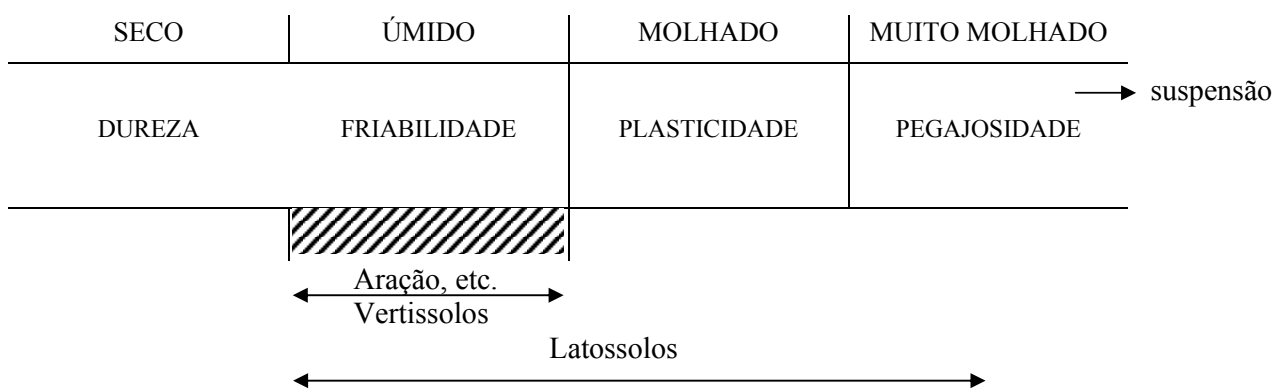


FIGURA 13 – Representação esquemática da consistência do solo conforme o teor de água. Em destaque a faixa de friabilidade, apropriada para aração, etc., estreita nos solos de argila de atividade alta (Vertissolo¹⁸, por exemplo) e bem mais ampla em alguns Latossolos (RESENDE et al., 1997).

Quanto mais argiloso um solo, maior a expressão das forças de coesão e adesão. Para solos como mesmo teor de argila, quanto mais novo ele for, isto é, quanto menos intemperizado e mais rico em argilas mais ativas, maior vai ser a expressão das forças de coesão e adesão.

A consistência do solo é afetada, basicamente, pela textura do solo, pela natureza dos colóides minerais, pelo teor de matéria orgânica, estado de estrutura do solo, pelos cátions presentes (dispersão/floculação), além do teor de umidade, principalmente.

Estes fatores podem atuar na consistência do solo de forma isolada ou em conjunto, na manifestação das forças de coesão e adesão. A adesividade é devida essencialmente a colóides minerais. No caso das areias, não existe praticamente aderência ou plasticidade. Esteja seco ou molhado, a consistência é sempre muito fraca, sendo descrita como solta. Normalmente, a consistência nos estados úmido e seco tende a aumentar com o teor de argila e diminuir com o teor de matéria orgânica.

A avaliação da consistência pode ser feita no campo ou em laboratório. É comum sua realização no campo, durante os trabalhos de descrição de perfis para fins de levantamento e caracterização de solos, sendo complementada com informações de laboratório.

¹⁸ Vertissolo, do latim, *vertere*; dá conotação de inversão da superfície do solo. Tem argila de atividade muito alta, mostrando expansão e contração pronunciadas com umedecimento e secagem, produzindo superfícies de fricção e grande fraturas, respectivamente.

A terminologia utilizada pela SBCS para descrever a consistência no campo inclui termos distintos para a descrição em três estados padronizados de umidade: seco, úmido e molhado (Tabela 14). A consistência do solo seco e úmido deve ser avaliada em material não desagregado (torrão), enquanto a consistência em solo molhado deve ser efetuada em material trabalhado (desagregado) com as mãos.

2.7.1. Observações sobre consistência (RESENDE et al., 1997)

a) o material muito rico em agentes desorganizadores, em geral, não é bom para cerâmica comum. De fato, o barro para uso em cerâmica é amassado, em parte para aumentar a coesão entre partículas. As argilas dos Solos Hidromórficos¹⁹, pobres em Fe, são geralmente mais procurados para isto;

b) o material para enchimento de vasos para mudas que vão ser transportadas não deve ser muito pobre em agentes desorganizadores, pois, neste caso, haveria um grande endurecimento e restrição no crescimento de raízes. Por outro lado, quando os teores desses agentes são muito elevados, por haver pouca coerência entre os grânulos, o torrão se parte com facilidade. Isto é muito comum nos torrões feitos de material de Latossolos das chapadas; tais solos tendem a ser ricos em gibbsita e óxidos de Fe, que são agentes desorganizadores;

c) se o solo for muito argiloso mas se apresentar muito friável, desmanchando-se com facilidade sob qualquer teor de água, então ele deve ter altos teores de agentes desorganizadores, isto é, trata-se de um solo muito velho (Latosolo) com todas as implicações em termos de lixiviação de nutrientes, fixação de P, penetração de raízes, etc. que o Latossolo apresenta;

d) os solos cinzentos, por serem pobres em óxidos de Fe, se forem friáveis, porosos e argilosos, possuem altos teores de gibbsita. Estes ocorrem nos chapadões do Planalto Central.

¹⁹ Em solos formados sob condições de excesso de água, ou seja, falta de oxigênio, há perda de Fe do sistema. O Fe(III) é reduzido a Fe(II), o qual é mais solúvel e removido com facilidade. Com o aquecimento do tijolo, todas as formas de Fe presentes passam à hematita, que, mesmo em pequenas quantidades, dá cor vermelha. Quando os teores de hematita são muito baixos, os tijolos são róseos.

TABELA 14 – Descrição da consistência em diferentes condições

Seca	Úmida	Molhada	
Dureza	Friabilidade	Plasticidade	Pegajosidade
Material não desagregado	Facilidade de desagregação	Capacidade de ser molhado	Qualidade de aderir a outros objetos
<ul style="list-style-type: none"> • Solta • Macia • Ligeiramente dura • Dura • Muito dura • Extremamente dura 	<ul style="list-style-type: none"> • Solta • Muito friável • Friável • Firme • Muito Firme • Extremamente firme 	<ul style="list-style-type: none"> • Não plástica • Ligeiramente plástica • Plástica • Muito plástica 	<ul style="list-style-type: none"> • Não pegajosa • Ligeiramente pegajosa • Pegajosa • Muito pegajosa
<p>Solta Não coerente entre o polegar e indicador</p>	<p>Solta Não coerente</p>	<p>Não plástica Nenhum fio fino ou cilindro se forma</p>	<p>Não pegajosa Após cessar a pressão, praticamente nenhuma aderência</p>
<p>Extremamente dura Extremamente resistente à pressão. Não pode ser quebrado com as mãos.</p>	<p>Extremamente firme Somente se esboroa sob pressão muito forte. Não pode ser esmagado entre o indicador e o polegar.</p>	<p>Muito plástica Forma-se um fio, sendo necessária muita pressão para deformar a forma modelada.</p>	<p>Muito pegajosa Após cessar a compressão, o material de solo adere fortemente a ambos os dedos, alonga-se perceptivelmente quando eles são afastados.</p>

PROBLEMAS

- 12) O que caracteriza cada uma das frações do solo?
- 13) Qual das frações é a mais ativa no solo? Justifique sua resposta.
- 14) E a menos ativa? Justifique.
- 15) Qual é o comportamento de solos arenosos e argilosos quanto à retenção de umidade?
- 16) Dois solos muito argilosos podem ter diferentes capacidades de éter água? Justifique.
- 17) Quais as características das diferentes frações do solo e que servem de base para a determinação de textura no campo? Até que ponto estes resultados são válidos?
- 18) Quais relações podem ser feitas entre textura, erosão e manejo do solo?
- 19) Diferencie textura e estrutura.
- 20) Representar, graficamente, o conceito de estrutura.
- 21) Qual a relação existente entre porosidade e estrutura?
- 22) O que significa estabilidade da estrutura? Qual a sua implicação prática?
- 23) Discutir a importância da matéria orgânica na estruturação do solo.
- 24) Correlacionar a estrutura como máximo de propriedades do solo.
- 25) Qual a importância da estrutura em relação ao manejo do solo?
- 26) Diferenciar densidade do solo e densidade da partícula.
- 27) Discutir a importância da estrutura e da matéria orgânica na densidade do solo.
- 28) A densidade do solo assume quais valores mais comumente? Explicar.
- 29) Comentar sobre a importância da determinação da densidade do solo no manejo correto do mesmo.
- 30) Correlacionar densidade do solo com drenagem, porosidade, estrutura e textura.
- 31) Correlacionar a porosidade do solo com sua textura e estrutura.
- 32) Entre solos arenosos e argilosos, quais tendem a apresentar maior porosidade total? Explicar.
- 33) Comentar a importância prática da determinação da consistência.
- 34) Quais os fatores que influenciam a consistência do solo?
- 35) Qual a seqüência da descrição da consistência do solo?
- 36) Comentar sobre o trabalho mecânico, em função da umidade, em solo que apresenta consistência, no horizonte superficial, ligeiramente duro, friável, plástico e pegajoso.

- 37) A consistência do solo seco nos horizontes superficiais de dois solos é ligeiramente dura e muito dura. Quais as diferenças no preparo destes solos? Explicar.
- 38) Dois solos apresentam porosidade total igual a 55 e 36% respectivamente. Comentar sobre a importância desta informação quanto ao uso destes solos. Qual deles é melhor?

BIBLIOGRAFIA

BRADY, N.C.; **Natureza e propriedades dos solos**. 7ª Ed. Rio de Janeiro: Freitas de Bastos. 1989. 898p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília; Rio de Janeiro: 1999. v.26, 412p.

FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F.; **Glossário de ciência do solo**. Viçosa: DPS/UFV, 1992. 142p.

FONTES, L.E.F.; SANS, L.M.A.; FONTES, M.P.F.; **Física do solo: princípios básicos**; Apostila de disciplina. Viçosa: DPS/UFV, 1992. 130p.

GUERRA, H.O.C.; **Física dos solos**. Campina Grande: DEA/CCT-UFPb. 2000. 175p.

LEMOS, R.C. & SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**., Campinas: SBCS e SNLS, 1984. 46p.

MATOS, A.T.de. **Física do solo**. Campos: CCTA-UENF.

PREVEDELLO, C.L.; **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba: C.L.Prevedello, 1996. 446p.

RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S.B.de; CORRÊA, G.F.; **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 2ª Ed. Viçosa: NEPUT, 1997. 367p.

39) RESPOSTAS DOS PROBLEMAS

1) As únicas combinações possíveis são aquelas que não podem prescindir da fase sólida. São elas: a) as fases sólida e gasosa, que ocorrem quando o solo se encontra absolutamente seco, e b) as fases sólida e líquida, que ocorrem quando o solo estão encharcados, ou seja, os poros do solo estão completamente ocupados pela fase líquida.

2) Não. Isso só ocorre em rochas, as quais não são consideradas solos.

$$3) L = 2\text{mm}; s = \frac{6}{2650 \times 2 \times 10^{-3}} = 1,13\text{m}^2/\text{kg} \text{ ou } s = \frac{6}{2 \times 10^{-3}} = 3 \cdot 10^{-3}\text{m}^2/\text{m}^3$$

$$L = 200\mu\text{m}; s = \frac{6}{2650 \times 2 \times 10^{-4}} = 11,3 \text{ m}^2/\text{kg} \text{ ou } s = \frac{6}{2 \times 10^{-4}} = 3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m}^3$$

$$L = 2 \mu\text{m}; s = \frac{6}{2650 \times 2 \times 10^{-6}} = 1132 \text{ m}^2/\text{kg} \text{ ou } s = \frac{6}{2 \times 10^{-6}} = 3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{m}^3$$

4) a) As equações (2), (3), (4) e (5) podem ser utilizadas para areia e silte, enquanto as equações (6) e (7) para a argila.

b) desde que a areia tenha tamanho de partículas entre 2mm até 20 μm , sua superfície específica varia entre:

$$s = \frac{6}{2650 \times 2 \times 10^{-3}} = 1,13 \text{ m}^2/\text{kg} \quad \text{e} \quad s = \frac{6}{2650 \times 2 \times 10^{-5}} = 113 \text{ m}^2/\text{kg}$$

Assim, a máxima superfície específica da areia é da ordem de 113 m^2/kg .

Partículas de silte variam entre 20 μm até 2 μm . Com isso, similarmente, a sua máxima superfície específica será de 1130 m^2/kg .

c) Desde que as partículas de argila são menores do que as do silte, a superfície específica da argila é sempre maior do que do silte, ou seja, maior do que 1130 m^2/kg .

5) Para partículas de argila, com base circular, tem-se:

$$s = \frac{2\pi r^2 + 2\pi r \varepsilon}{Dp \pi r^2 \varepsilon} = \frac{2}{Dp \varepsilon} + \frac{2}{Dpr} = \frac{2}{Dp} \left[\frac{1}{\varepsilon} + \frac{1}{r} \right]$$

A equação (6) pode ser derivada dessa equação desprezando o termo $\frac{2}{Dpr}$. Isso

implica que a contribuição da área lateral da partícula ($2\pi r \varepsilon$), em s , é desprezada na equação (7)

6)

	> Diâmetro	< Diâmetro	> Diâmetro	< Diâmetro
	cm ² /g		m ² /g	
Areia	12	462	0,0012	0,0462
Silte	462	11.639	0,0462	1,1639

$$7) s = \frac{2}{Dp \varepsilon} \Rightarrow s = \frac{2}{2600000 \text{ g/m}^3 \times 1^{-9} \text{ m}} = 769 \text{ m}^2/\text{g}$$

$$8) s = \frac{2}{Dp \varepsilon} \Rightarrow s = \frac{2}{2600000 \text{ g/m}^3 \times 0,7^{-9} \text{ m}} = 1098,9 \text{ m}^2/\text{g} \Rightarrow \frac{1098,9 \text{ m}^2/\text{g}}{20 \text{ m}^2/\text{g}}$$

≈ 55 unidades

9) 2,4 nm

10) São coloidais, pois a menor superfície específica corresponde a partículas de ≈ 29 nm, diâmetro inferior aos 100 nm fixados como limite superior das partículas coloidais.