

2024

APOSTILA DE SOLOS

Zootecnia

Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP)

Professora Dra. Fernanda de Fátima da Silva Deveschio



Sumário

1.	DEFINIÇÕES	6
2.	COMPOSIÇÃO GERAL DO SOLO: SISTEMA TRIFÁSICO	7
2.1.	Fase gasosa.....	8
2.2.	Fase líquida	10
	<i>Solução do solo</i>	10
	<i>Solução do solo e absorção de nutrientes</i>	11
2.3.	Fase sólida.....	12
	<i>Fração mineral</i>	12
	<i>Fração orgânica</i>	12
3.	FATORES DE FORMAÇÃO DO SOLO	14
3.1.	Introdução	14
3.2.	Material de origem	15
a)	<i>Rochas ígneas ou magmáticas</i>	15
b)	<i>Rochas sedimentares</i>	17
c)	<i>Rochas metamórficas</i>	18
3.3.	Clima.....	18
3.4.	Organismos	19
3.5.	Relevo	20
3.6.	Tempo	21
4.	INTEMPERISMO.....	22
4.1.	Intemperismo físico.....	23
4.2.	Intemperismo químico.....	26
5.	PETROLOGIA E MINERAIS DO SOLO	28
5.1.	Minerais primários	29
5.2.	Minerais secundários.....	32
5.3.	Propriedades das rochas	37
5.4.	Leitura complementar: Propriedades Macroscópicas de Minerais.....	38
6.	POROSIDADE DO SOLO	44
6.1.	Tamanho dos poros	45
6.2.	Movimento da água nos poros	46
6.3.	Determinação da porosidade do solo	48

7.	DENSIDADE DE PARTÍCULAS (Dp).....	51
8.	DENSIDADE DO SOLO (Ds).....	52
8.1.	Fatores que afetam a densidade e a porosidade do solo	52
8.2.	Determinação da densidade do solo	54
9.	TEXTURA DO SOLO	55
9.1.	Definição	55
9.2.	Determinação da textura do solo	57
9.2.1.	<i>Análise granulométrica no laboratório</i>	57
	Método	57
	Classificação textural	58
9.2.2.	<i>Determinação da textura do solo a campo</i>	60
9.3.	Propriedades das frações granulométricas e implicações de manejo	61
9.4.	Propriedades coloidais.....	64
9.5.	Modificações das classes texturais	66
10.	ESTRUTURA DO SOLO	67
10.1.	Tipos de estrutura	67
10.2.	Feições da superfície dos agregados	71
10.3.	Organização hierárquica dos agregados	72
10.4.	Formação e estabilidade dos agregados	73
a)	Etapas da formação dos agregados.....	73
b)	Agentes cimentantes.....	73
c)	Atividade dos Organismos do solo na agregação.....	74
d)	Influência da Matéria orgânica na agregação.....	74
e)	Condicionadores de solo	74
8.5.	Sistemas de manejo do solo e manutenção de sua estrutura	75
a)	Sistema de Preparo convencional.....	75
b)	Sistema de Preparo conservacionista	76
11.	COMPACTAÇÃO DO SOLO	79
11.1.	Definição e implicações	79
11.2.	Problemas causados pela compactação do solo	80
11.3.	Efeitos dos Sistemas de Manejo na compactação do solo:.....	81
11.4.	Medidas para evitar a compactação do solo.....	83
11.5.	Medidas para eliminar camadas compactadas.....	83
11.6.	Identificação da compactação do solo a campo	84

12.	COR DO SOLO	87
13.	CONSISTÊNCIA DO SOLO.....	91
14.	CEROSIDADE DO SOLO	95
15.	ÁGUA NO SOLO	96
15.1.	Introdução	96
15.2.	Estrutura e propriedades da água	98
15.3.	Curvas de retenção de água no solo	101
15.4.	Infiltração e percolação da água.....	101
15.5.	Fatores que Afetam a Quantidade de Água Disponível às Plantas	102
15.6.	Descrição qualitativa da umidade do solo.....	103
	<i>Armazenamento de água no solo (Capacidade máxima de retenção de água) - ARM</i>	<i>103</i>
	<i>Capacidade de campo (CC)</i>	<i>103</i>
	<i>Ponto de murcha permanente (PMP).....</i>	<i>105</i>
	<i>Água disponível (AD) e capacidade de água disponível (CAD)</i>	<i>106</i>
16.	MORFOLOGIA DO SOLO	108
16.1.	Perfil e horizonte do solo	109
16.2.	Principais horizontes do solo.....	111
16.3.	Descrição morfológica do solo.....	117
16.4.	Horizontes diagnósticos	118
16.	SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS	123
16.1.	Sistemas modernos de classificação dos solos	123
16.2.	Sistemas Brasileiros de Classificação dos Solos (SiBCS)	124
	<i>16.2.1. Níveis categóricos do SiBCS</i>	<i>125</i>
	<i>16.2.2. Redação das classes de solos do SiBCS nas publicações</i>	<i>130</i>
16.3.	Ordens de solos no SiBCS	131
a)	LATOSSOLOS:	131
b)	ARGISSOLOS	134
c)	NEOSSOLOS.....	135
d)	PLINTOSSOLOS.....	136
e)	GLEISSOLOS.....	138
f)	LUVISSOLOS	139
g)	CAMBISSOLOS.....	140
h)	VERTISSOLOS	140
i)	ESPODOSSOLOS	141

j) PLANOSSOLOS.....	142
k) NITOSSOLOS	143
l) CHERNOSSOLOS.....	143
m) ORGANOSSOLOS.....	144
17. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	145

1. DEFINIÇÕES

Pedologia (do latim, pedon = solo): estudo da origem, morfologia, distribuição, mapeamento e classificação dos solos. Edafologia (do grego, edaphos = solo): estudo do solo do ponto de vista da sua utilização pelas plantas (Raij, 2011).

Segundo Vieira (1975) solo é *“a superfície inconsolidada que recobre as rochas e mantém a vida animal e vegetal da Terra. É constituído de camadas que se diferem pela natureza física, química, mineralógica e biológica que se desenvolvem com o tempo sob a influência do clima e da própria atividade biológica.”*

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS, EMBRAPA, 2006), pode-se dizer que:

“Solo que classificamos é uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos, que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por ação antrópica.

SOLO: é a camada superficial intemperizada da crosta terrestre, contendo matéria orgânica e organismos vivos; é o meio em que se desenvolvem os vegetais, que dele obtêm água e nutrientes através das raízes. É um recurso fundamental para produção agropecuária, graças a um conjunto de propriedades que lhe permitem sustentar as plantas, fornecendo-lhes as condições necessárias para seu desenvolvimento. Trata-se de um material poroso, que permite a penetração de raízes e o suprimento de água e nutrientes para as plantas (Raij, 2011).

2. COMPOSIÇÃO GERAL DO SOLO: SISTEMA TRIFÁSICO

(Vitti e Domeniconi, 2010)

O solo deve ser entendido como **um sistema heterogêneo TRIFÁSICO, envolvendo 3 fases em equilíbrio: SÓLIDA, GASOSA E LÍQUIDA**, e pode ser representado pela Figura 1:

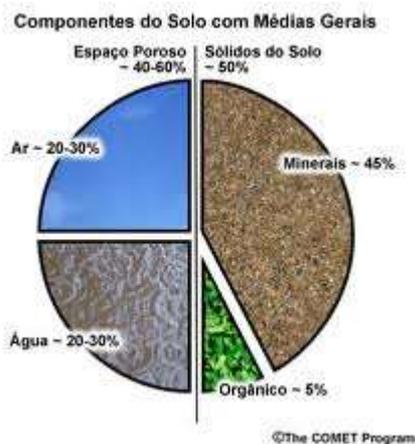


Figura 1. Equilíbrio adequado entre as fases do solo (Vitti e Domeniconi, 2010).

A proporção relativa desses componentes **influencia muito o comportamento e a fertilidade dos solos.**

À primeira vista, apesar de um punhado de terra parecer algo sólido, **apenas cerca de metade do seu volume é composta de resíduos sólidos** (minerais e orgânicos); **a outra metade é constituída por poros preenchidos com ar ou com água**, compondo as fases gasosa e líquida respectivamente.

Os espaços entre as partículas sólidas são tão importantes quanto as próprias partículas sólidas. **É nesses poros que o ar e a água circulam, as raízes crescem e os microrganismos vivem.**

Afinal, as raízes das plantas precisam de ar e água.

Para uma condição de ótimo crescimento para a maioria das plantas, o **espaço poroso deverá ser constituído com metade do seu volume com água e a outra metade com ar.**

Se houver muita água → solo encharcado.

Se houve pouca água → plantas sofrerão restrição hídrica.

As proporções de água e ar de um solo VARIAM MUITO à medida que a água é retirada ou adicionada.

Solos com muito mais de 50% do seu volume constituído por sólidos são considerados **compactados, afetando o bom desenvolvimento das plantas.**

2.1. Fase gasosa

É a **aeração do solo, ou ainda ATMOSFERA do solo.**

A composição do ar do solo é muito variável, mas está próximo do ar atmosférico: Contém principalmente N₂ (79%), O₂ (19,6%) e CO₂ (0,9%).

- na pedosfera o N predomina, como ocorre na atmosfera.
- já o O diminui no solo (em relação à atm) porque boa parte dele é **substituída pelo gás carbônico proveniente da respiração de raízes e microrganismos.**
- **Na fotossíntese:** as plantas aproveitam a energia da Radiação Solar para produzir carboidratos nas folhas → parte desses carboidratos são transportados para as raízes, **onde estas os transformam em energia → liberando CO₂.**

- Raízes das plantas e microrganismos do solo → **captam o oxigênio do ar do solo e expelem CO₂.** → por isso é normal que o ar do solo contenha mais CO₂ que o ar da atmosfera, e geralmente contém também **mais vapor d'água que a atmosfera.**

Portanto a **composição do ar do solo depende da:**

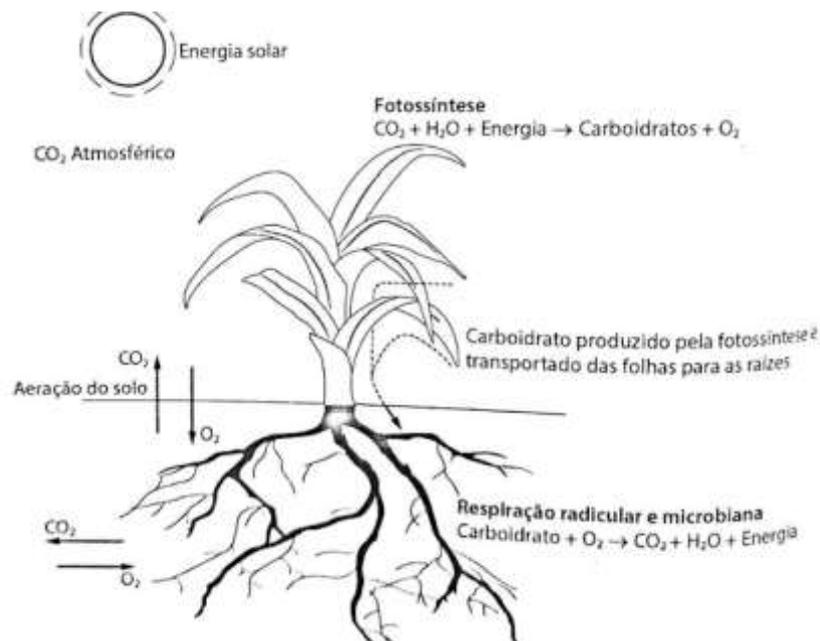
- facilidade com que ele é trocado com o ar da atmosfera;
- intensidade dos processos biológicos.

Importância:

- essencial para a respiração das raízes, da fauna e flora aeróbica do solo
- processo de oxidação de resíduos vegetais
- formação de óxidos e hidróxidos do solo.
- Além de fornecer N₂ para fixação biológica de nitrogênio (FBN).
- **-Ar do solo é tão importante quanto a água;**

Renovação do ar do solo:

- **é feita principalmente pela difusão de gases entre o ar que está dentro do solo e o que está imediatamente acima deste.**
- vários fatores meteorológicos influenciam esse processo: **chuva, umidade e ventos.**
- uma forma de renovação é pela **infiltração de água da chuva ou irrigação.**
 - quando cai a chuva, **a água vai deslocando o ar contido nos poros → esse ar sai do solo para dar lugar à água →** podemos percebê-lo na atmosfera quando respiramos e sentimos o **característico “cheiro de chuva” ou “cheiro de terra molhada”.**
- com a continuidade dessa infiltração → o ar é renovado pelo da atm.



Esquema da movimentação dos vários gases da atm e do ar do solo (Adaptado de Reichardt, 1985).

Quando suprimento de ar do solo é reduzido, em condições de encharcamento ou compactação:

- algumas atividades das plantas são afetadas;
- ocorre redução do crescimento de raízes;
- ocasionando **redução da absorção de nutrientes;**
- condição de anaerobiose também favorece a **perda de N por desnitrificação.**
- **quando o solo está encharcado** → a maior parte dos poros estão ocupados com água.
- **quando solo está com pouca água** → a maior parte dos poros está preenchida com ar.

O conteúdo de água do solo é o principal atributo que influencia a quantidade de ar.

Quando a água permanece em excesso por muito tempo:

- a atividade respiratória das raízes e dos organismos do solo pode consumir em pouco tempo a maior parte do O nele contido, afetando assim o crescimento das plantas.

Outros fatores que podem influenciar a permeabilidade e a capacidade de retenção de ar são **textura, estrutura e matéria orgânica do solo (MOS)** → pois influenciam a **POROSIDADE** do solo.

2.2. Fase líquida

Quando a água está presente no solo, ela pode estar distinguida de várias formas:

- *água sobre o solo*: como em pântanos;
- *água sob o solo*: como no lençol freático
- *água dentro dos poros do solo*: **COMPONDO A FASE LÍQUIDA DO SOLO.**

Sob o ponto de vista quantitativo, é a quantidade de água existente no solo, seu movimento em função dos gradientes de energia e permeabilidade no solo.

Sob o ponto de vista qualitativo, é também chamada de **SOLUÇÃO DO SOLO**, constituída por água, íons e sais dissolvidos, substâncias orgânicas e inorgânicas, nela dissolvidas, sendo o **principal meio em que ocorre a maioria dos processos químicos e biológicos e o movimento de minerais no solo e fornecimento de nutrientes para as plantas.**

Solução do solo

Em química, uma **solução é definida como uma mistura homogênea de 2 componentes: SOLUTO E SOLVENTE.**

SOLUTO: conjunto de substâncias dissolvidas e que estão frequentemente nas formas iônicas.

SOLVENTE: no solo, o solvente é a **água pura (H₂O)**, um dos principais componentes do solo.

Grande parte dos solutos dessa água tem **cargas elétrica negativas (ânions) ou positivas (cátions)**, e boa parte desses solutos são nutrientes de plantas.

À medida que a água da chuva infiltra no solo, ela vai expulsando o ar dos poros → tornando-se o centro de muitas atividades químicas e biológicas (ou biogeoquímicas).

Quase todas as reações biogeoquímicas ocorrem em sua fase líquida. Entre elas: **hidratação, hidrólise, oxidação, redução, ácido-base e complexação.**

Desta forma, a solução do solo situa-se na interface dos sólidos do solo com a biosfera, e atua como mediadora dos fenômenos que controlam a retenção pela fase sólida de muitas substâncias por meio de importantes fenômenos, tais como troca iônica, adsorção-dessorção e precipitação-dissolução.

Por meio de inúmeras reações biogeoquímicas, os **íons e outras substâncias armazenadas nos minerais primários e nas superfícies dos colóides são dissolvidos para que as plantas e os microrganismos possam nutrir-se.**

Solução do solo e absorção de nutrientes

A água é um **fator fundamental para produção vegetal**.

Sua falta ou excesso afeta de maneira decisiva o crescimento das plantas.

As culturas durante seu ciclo vegetativo e reprodutivo, consomem enorme volume de água, entretanto **cerca de 98% deste volume atravessa a planta, perdendo-se para a atmosfera por transpiração**.

A água é provavelmente o **fator que mais influencia no processo de absorção de nutrientes**.

Já que a absorção do nutriente ocorre a partir do seu contato com a superfície da raiz e está diretamente relacionado com sua concentração na solução do solo.

AS PLANTAS ABSORVEM OS NUTRIENTES JUNTO COM A ÁGUA DIRETAMENTE DA SOLUÇÃO DO SOLO.

É da solução do solo que as plantas absorvem os nutrientes.

No entanto, a quantidade desses nutrientes na solução do solo em um dado momento é suficiente para suprir suas necessidades de crescimento por apenas alguns dias ou horas. **O nível de nutrientes da solução tem que ser constantemente reabastecido.**

Os sólidos do solo, principalmente diminutas partículas coloidais orgânicas e inorgânicas (argila e húmus), **liberam nutrientes para a solução do solo, a partir da qual eles são absorvidos pelas raízes das plantas.**

Nutrientes de planta são todos elementos químicos essenciais para o desenvolvimento das plantas, sem os quais as plantas não sobrevivem.

São obtidos pelas plantas a partir do ar, da água e do solo. Os nutrientes obtidos do ar e da água são carbono, hidrogênio e oxigênio. Os demais, chamados de nutrientes minerais, são absorvidos do solo.

Os nutrientes minerais dividem-se em:

Macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg e S.

Micronutrientes: B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn e Ni.

2.3. Fase sólida

A fase sólida controla em grande parte a composição da solução do solo, e é **a principal fonte natural de nutrientes para as plantas**. Mesmo quando os nutrientes são adicionados ao solo através de práticas corretivas e de adubação, a fase sólida se comporta como um RESERVATÓRIO de nutrientes.

É **constituída por partículas sólidas (minerais e orgânicas)** em geral com predominância inorgânica, representados por minerais primários e secundários, além da matéria orgânica.

Fração mineral

O tipo e os teores de elementos minerais no solo são resultado do material de origem e de sua intemperização.

Assim a **composição mineralógica determina a maior ou menor disponibilidade de nutrientes para as plantas e de elementos que podem ser fitotóxicos**.

A **fração mineral do solo** pode ser considerado um material contendo **partículas unitárias de vários tamanhos**. Nos solos com aptidão agrícola, as partículas do solo concentram-se nas frações AREIA, SILTE E ARGILA. A mistura de partículas sólidas de diferentes tamanhos condiciona a existência de um volume de poros no solo.

São vários os aspectos a serem considerados com a fração mineral do solo e que serão abordados ao longo dos tópicos futuros.

Fração orgânica

A matéria orgânica do solo (MOS) é **produzida a partir da decomposição dos resíduos de plantas e animais**. É formada **por diversos compostos de C** (biomoléculas, ácidos fúlvicos, ácidos húmicos) em **vários graus de alteração e interação com as outras fases do solo** (mineral, gasosa e líquida).

Os restos de plantas, animais e microrganismos são **continuamente decompostos no solo e novas substâncias são sintetizadas por outros microrganismos**.

Ao longo do tempo, a **matéria orgânica é removida do solo na forma de CO₂ produzido pela respiração dos microrganismos**.

Por causa de tal perda, repetidas adições de resíduos de novas plantas e/ou de origem animal são necessárias para manter a MOS.

Sob condições que favorecem mais a produção de plantas do que a decomposição microbiana, grandes quantidades de dióxido de carbono atmosférico utilizados pelas plantas na fotossíntese **SÃO SEQUESTRADOS NOS ABUNDANTES TECIDOS DAS PLANTAS**, que com o tempo tornam-se parte da MOS.

UMA VEZ QUE O CO₂ É UMA DAS PRINCIPAIS CAUSAS DO EFEITO ESTUFA → o equilíbrio entre o acúmulo de MOS e sua perda por meio da respiração microbiana TEM IMPLICAÇÕES GLOBAIS.

Apesar de compor em torno de 5% da fase sólida da maioria dos solos, **apresenta alta capacidade de interagir com os demais componentes do solo, alterando as propriedades FÍSICAS, QUÍMICAS E BIOLÓGICAS DO SOLO** as quais afetam o crescimento das plantas.

Benefícios da MOS:

- **Porosidade →** oferece melhores condições à infiltração de água e melhor troca de gases.
- **aumenta a quantidade de água que um solo pode reter e a água disponível para as plantas.**
- tem efeito sobre a **fertilidade do solo → importante fonte de nutrientes para as plantas** (principalmente N, P e S), **quando mineralizada pelos microrganismos.**
- **regula a disponibilidade de vários micronutrientes** (Cu, Mn, Zn, etc.): À medida que a MOS se decompõe, esses nutrientes que estão presentes nos compostos orgânicos → **são liberados como íons solúveis para a solução do solo, que podem ser absorvidos pelas plantas.**
- também **afeta a mobilidade, volatilização, biodegradação e consequente fitotoxidez de outras moléculas orgânicas e inorgânicas** adicionadas ao solo: herbicidas, inseticidas, resíduos de indústrias ou de sistemas de produção animal, etc.
- **é o principal alimento para abastecer de carbono e energia os organismos do solo.**
- **capacidade de gerar cargas eletronegativas na superfície do húmus →** aumentando a CTC do solo → é de extrema importância principalmente em solos em que predomina a caulinita (arenosos).
- Compostos orgânicos da MOS → **participam de ligações entre as partículas individuais do solo, atuando como agente cimentante das unidades estruturais do solo** (agregados).
- **Formação e estabilização dos agregados →** influenciam a aeração, permeabilidade e a capacidade de retenção de água do solo.

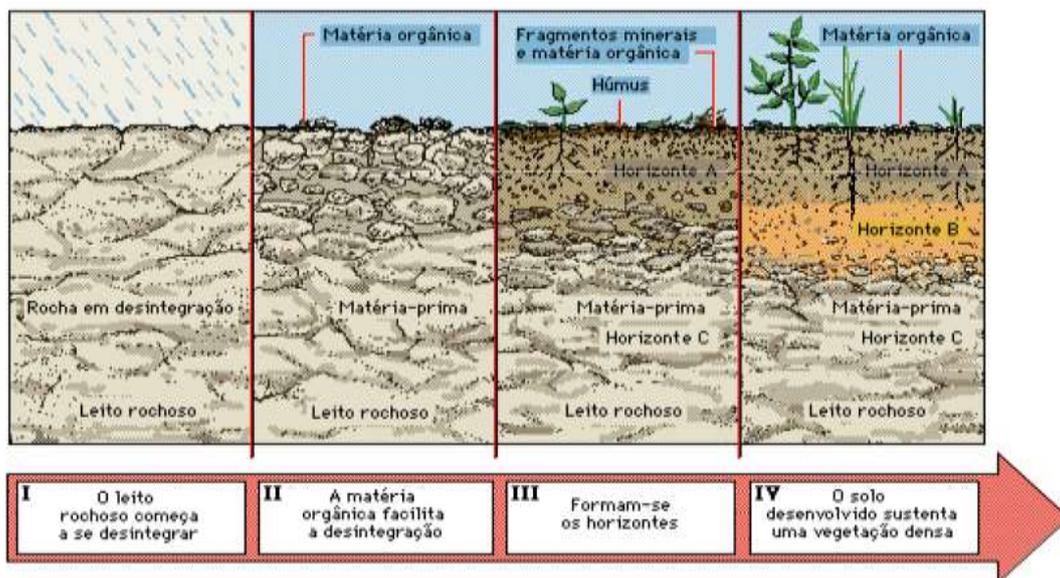
3. FATORES DE FORMAÇÃO DO SOLO

(Lepsch, 2011)

3.1. Introdução

O material de origem dos solos são as rochas, que ao sofrerem exposição a condições da atmosfera (calor, umidade, chuvas, vento, etc.), passam por processos que levam a modificações na composição física e química dos minerais que as compõem. Esses processos são chamados Intemperismo (tema de aula subsequente). A rocha alterada, forma o regolito (ou manto de intemperização) e posteriormente o solo.

Etapas de Formação do Solo



A existência de diferentes tipos de solos é controlada por cinco fatores principais: (a) *Material de origem*; (b) *clima*; (c) *relevo (ou topografia)*; (d) *organismos* e (e) *tempo*.

Desta forma, Dokouchaev em 1941, sugeriu uma equação, segundo a qual a formação de um determinado solo pode ser representada da seguinte forma:

$$SOLO = f(\text{material de origem, clima, relevo, organismos, tempo})$$

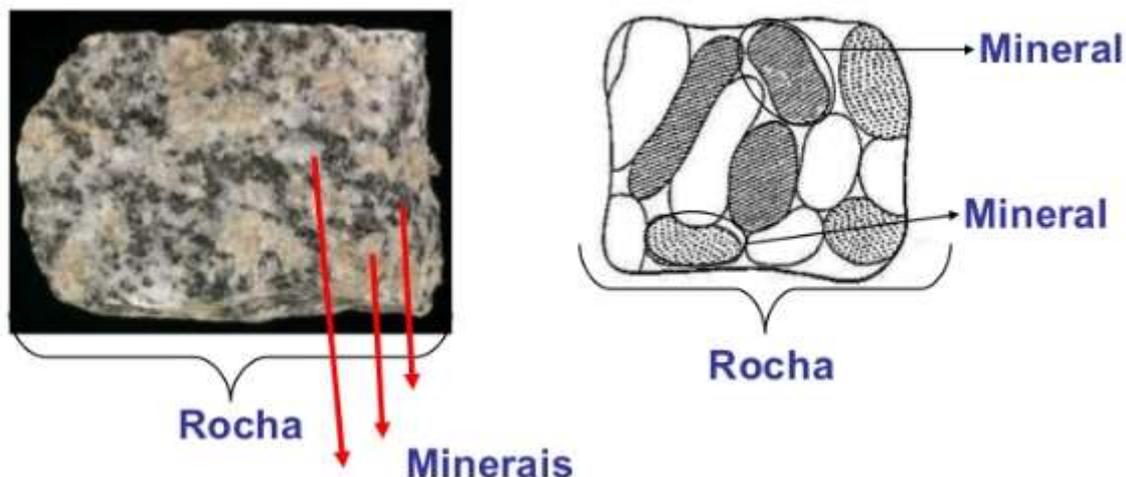
Segundo essa equação é possível verificar a ação de cada um desses fatores, desde que se mantenham os demais constantes.

3.2. Material de origem

É o material geológico que dá origem ao solo.

Pode ser considerado um “fator passivo”.

As rochas são compostas por minerais e, portanto, podem ser definidas como “um corpo sólido contendo minerais”. Uma determinada rocha é sempre composta de um agregado de minerais com padrão definido (Lepsh, 2011).



Existem 3 grandes grupos de rochas: magmáticas (ou ígneas), sedimentares e metamórficas:

a) *Rochas ígneas ou magmáticas*

As rochas magmáticas ou ígneas são aquelas formadas a partir do resfriamento e cristalização de material quente e derretido, originado no interior da Terra.

O magma pode se resfriar em profundidade, isto é, nas profundezas da crosta, abaixo de grande quantidade de rochas. Ele se solidifica vagarosamente porque a perda de calor é lenta. Além disso, o resfriamento se dá sob a presença de substâncias voláteis aprisionadas, o que leva a uma cristalização mais perfeita dos minerais. Tem-se dessa forma, o aparecimento de cristais maiores.

Quando o magma se resfria na superfície da crosta através do extravasamento, a temperatura e a pressão caem rapidamente, não são aprisionadas substâncias voláteis e não existem então condições favoráveis à cristalização total dos minerais, originam-se assim as rochas de granulação muito pequena.

De acordo com o local em que se dá a consolidação do magma, há dois tipos básicos de atividade magmática:

- **Plutônicas ou intrusivas:** a consolidação ocorre no interior da crosta, originando as rochas plutônicas ou intrusivas. Exemplo: granito.

- **Vulcânicas ou extrusivas:** o magma derrama-se sobre a superfície para formar rochas vulcânicas ou extrusivas. Exemplo: basalto.

Para o pedólogo é importante a sua classificação de acordo com a sílica (teor de silício):

- **rochas ácidas:** de 65 a 80% de sílica;
- rochas sub-ácidas: de 60 a 65% de sílica;
- rochas sub-básicas: de 55 a 60% de sílica;
- **rochas básicas:** de 45 a 55% de sílica;
- rochas ultra-básicas: sílica menor do que 45%.

Implicações na formação dos solos:

Rochas ácidas (granitos/arenitos):

- *Dão origem a solos arenosos em sua maioria;*
- *Tem coloração clara;*
- *Tendem a originar solos mais ácidos.*

- ***Rochas básicas (basalto):***

- *Dão origem a solos argilosos;*
- *Coloração que variam do bruno ao vermelho(mais escuras);*
- *Tendem a originar solos menos ácidos.*

Outra característica que pode diferenciar as rochas magmáticas é a **cor**. As rochas *mais escuras* são as que contêm *menos sílica* (SiO_2) e são chamadas rochas *básicas*. As rochas *mais claras* são as que contêm *mais sílica* e por serem derivadas da junção de moléculas do ácido silícico, antes existentes no magma, são chamadas rochas *ácidas*.

Os basaltos, quando comparados com o granito, contém mais minerais ferromagnesianos escuros e bem menos quartzo. Por isso os minerais que contem ferro e magnésio se decompõem muito mais rapidamente, desintegrando a rocha e formando óxidos de ferro. Esse fato tem uma grande importância para definir a qualidade dos solos derivados desses minerais.

b) *Rochas sedimentares*

São originadas a partir de detritos de outras rochas e acumulam-se na superfície da terra em condições normais de temperatura e pressão. Sua formação tem origem no momento em que os fragmentos das rochas primitivas são desalojados (erodidos) por algum processo de desagregação, depositados no fundo ou ao longo dos mares e rios, onde se solidificam.

Portanto, rochas sedimentares são formadas quando sedimentos que foram depositados são agrupados (cimentados ou litificados), formando assim outras rochas. Quando as areias transportadas por enxurradas são depositadas e litificadas, o resultado é o arenito. Quando as partículas finas de argila e silte são litificadas, o resultado é o siltito ou argilito.

Etapas da sedimentação:

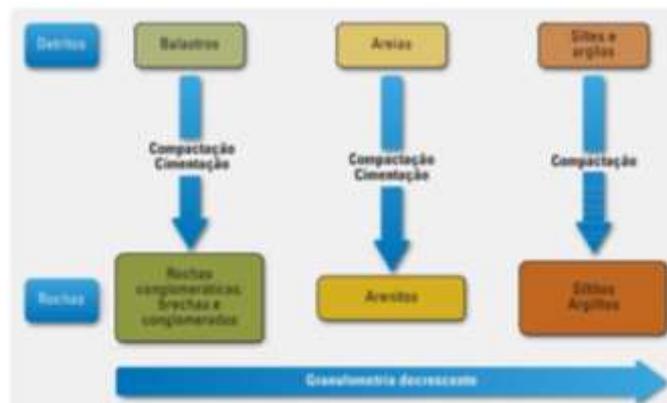
- Desintegração de rochas (intemperismo);
- Remoção e transporte dos produtos do intemperismo;
- Deposição dos sedimentos;
- Consolidação dos sedimentos (LITIFICAÇÃO: compactação e cimentação dos sedimentos).

Litificação ou Diagenese: **PROCESSOS FÍSICOS e QUÍMICOS:**

- **Físico:** compactação: pressão exercida pelas partículas.
- **Químico:** cimentação dos sedimentos: agentes agregantes sílica, CaCO_3 , FeO .



Exemplos de tipos de detritos e rochas sedimentares formadas:



c) *Rochas metamórficas*

São aquelas originadas a partir de rochas magmáticas ou sedimentares que sofreram fundamentais modificações devido à ação de grandes pressões e/ou altas temperaturas.

Os principais efeitos do metamorfismo são recombinação química e crescimento de novos minerais com ou sem adição de elementos fluídos; deformação dos minerais constituintes; recristalização dos minerais em grãos maiores.

O resultado final é uma rocha de maior cristalinidade e dureza, adquirindo novas feições estruturais. Uma importante rocha metamórfica é o quartzito, que se origina da metamorfose de grãos de quartzo de arenitos, usados para fazer “pedras portuguesas” em calçadas.

Exemplos: ardósia (formada a partir do xisto), quartzito (formado a partir do arenito), gnaiss (formado a partir do granito), mármore (formado a partir do calcário).

Características do material de origem e implicações agronômicas

As características do material de origem: grau de consolidação, granulação ou textura material de origem condicionam características do solo: fertilidade do solo, cor do solo, textura, porosidade, composição química e mineralógica.

Pergunta-se:

Dois locais com mesmo material de origem, vai ter o mesmo tipo de solo?

Dois locais com material de origem diferente pode ter solos semelhantes?

3.3. Clima

O Clima isoladamente é o fator que mais influencia no intemperismo (fator mais ativo).

Atua na formação do solo pela ação **das precipitações pluviométricas (chuvas), da temperatura e dos ventos.**

A temperatura aumenta a taxa de reações químicas: a cada aumento de 10°C, dobra-se a taxa das reações químicas).

A água é importante solvente e veículo de transporte de materiais, através do solo ou fora dele. Portanto, a precipitação pluviométrica interfere na disponibilidade de água para as reações químicas e remoção dos constituintes solúveis do sistema solo. Quanto

maior a PRECIPITAÇÃO, maior será também: lixiviação das bases (Ca, Mg, K), atividade biológica, alteração minerais, conteúdo de argila e maior será a acidificação dos solos.

Em regiões Quentes e úmidas: mais rápido e intenso é o intemperismo, dando origem a solos bastante espessos contendo muitos minerais secundários (argilominerais 1:1 e óxidos de Fe e Al), ácidos e pobres em cátions básicos.

Em regiões áridas e/ou frias: dá origem a solos pouco espessos contendo mais minerais primário (argilominerais 2:1), bem como maiores quantidades de cátions básicos trocáveis.

3.4. Organismos

Os organismos que vivem no solo são também de grande importância para a diferenciação dos perfis. E compreendem:

- colônias de microorganismos: no estágio inicial do intemperismo, iniciando condições para fixação de vegetais superiores;
- vegetais: a penetração de raízes de plantas em fendas de rochas aceleram o intemperismo;
- cobertura vegetal: proteção da superfície do solo das agressões do clima (variações de temperatura, impacto gotas chuva ...) e é fonte de matéria orgânica. A cobertura vegetal diminui a agressividade ocasionada pelos elementos climáticos (precipitação e temperatura).
- animais: formigas, cupins, minhocas: trituram os restos vegetais, cavam galerias e misturam materiais dos horizontes;
- homem: atua na remoção da vegetação natural, revolvimento da camada superficial do solo para adição de corretivos e fertilizantes; irrigação.

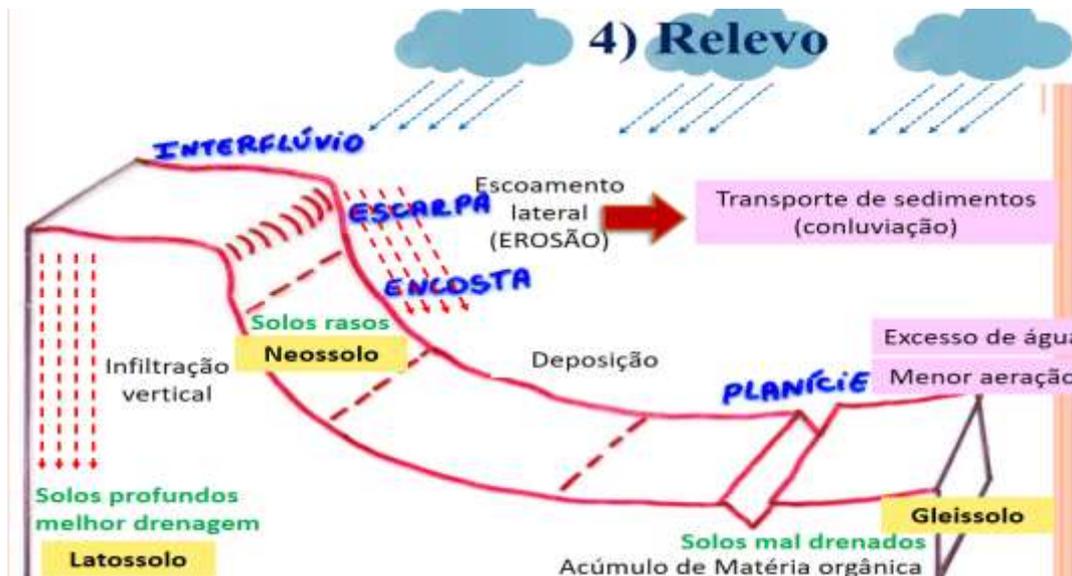
Regiões TEMPERADAS com menores temperaturas, há menor atividade de microorganismos e conseqüentemente menor decomposição.

Nos TRÓPICOS úmidos e subtropicais, maiores temperaturas e umidades propiciam maior atividade microbiana, atuando em maior volume de matéria orgânica.

3.5. Relevo

A ação do relevo na formação do solo está relacionada com a dinâmica da água.

Toda água que cai na parte alta do terreno infiltra. Parte da água escoava lateralmente, provocando erosão. Por influência do terreno e consequente desigualdade de distribuição de água:



A saturação de água no solo interfere no intemperismo químico, por isso os solos evoluem de forma distinta nas porções mais úmidas ou mais secas do relevo:

Solos mais profundos: na parte mais alta do relevo.

Solos mais rasos: na encosta..

O relevo promove diferenças na coloração do solo, resultado da desigualdade de distribuição de água no terreno.

Em solos com permanente saturação com água (ou mal drenados) a formação do solo influenciada pela solubilização de óxidos de Fe e acúmulo de matéria orgânica provocado pelo excesso de água e menor aeração por isso os solos serão mais escuros e em profundidade, são mais cinzentos com pequenas manchas cor ferrugem, em contraste com os solos amarelados ou avermelhados das partes mais elevadas e bem drenadas do relevo.

3.6. Tempo

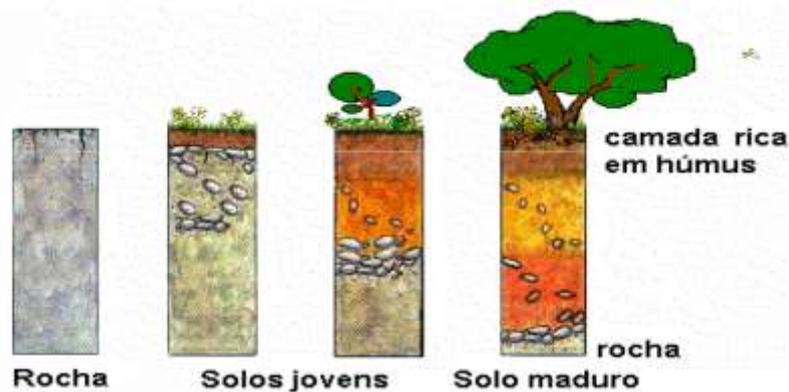
É a duração da ação dos processos pedogenéticos.

É o fator mais passivo: não adiciona material e nem libera energia.

É a estimativa da idade do solo em termos relativos, usando o grau de desenvolvimento do solo (diferenciação dos horizontes, composição química e mineralógica) para avaliar um solo como sendo:

JOVEM (imaturo): pouco intemperizado.

VELHO (senil): muito intemperizado.



REGIÕES TEMPERADAS: solos locais com idades máximas de 10.000 – 15.000 anos.

REGIÕES TROPICAIS E SUBTROPICAIS: solos com algumas centenas de milhares até 5 milhões de anos (Brasil Central), com elevada acidez e baixo teor de nutrientes.

O tempo é variável dependente do clima, do relevo, da atividade biológica e da natureza do material de origem.

Calcula-se que cada centímetro do solo se forma num intervalo de tempo de 100 a 400 anos! Os solos usados na agricultura demoram entre 3000 a 12000 anos para tornarem-se produtivos.

A ação dos fatores de formação do solo dará origem ao solo, através de processos denominados **processos de formação do solo**, que estão relacionados à **adição, remoção, translocação e transformação** de materiais orgânicos e minerais do solo.

A combinação dos fatores e processos resultam na **formação dos solos ou PEDOGÊNESE**.

Se:

(PEDOGÊNESE) – (EROSÃO) = CAMADA DE SOLO FORMADA

PEDOGÊNESE > EROSÃO = FORMAÇÃO DE SOLO

PEDOGÊNESE < EROSÃO = REMOÇÃO DE SOLO

4. INTEMPERISMO

(Lepsch, 2011)

O intemperismo é um conjunto de processos físicos e químicos que desgasta as rochas, modificando suas características físicas e químicas, transformando-as em fragmentos pequenos e solubilizando alguns de seus constituintes. Nesses processos, alguns dos elementos minerais permanecem como resíduo alterado, enquanto outros são removidos, transportados principalmente pela água. O intemperismo também sintetiza novos minerais que tem grande importância para o solo e para a vida que ele sustenta.

A maior parte das rochas origina-se em grandes profundidades e sob condições de altas temperaturas, pressão, pouca água e pouco oxigênio. Por isso, quando expostas à atmosfera, elas tornam-se instáveis em razão da mudança dessas condições, provocando o início de várias alterações físicas e químicas.

Alguns processos de intemperismo agem mais no sentido de *desagregar as rochas*, alterando o tamanho e o formato dos minerais, mas sem afetar suas composições químicas: é o *intemperismo físico*.

Outros processos modificam grandemente a composição química: é o *intemperismo químico*. Como no solo tais processos ocorrem sempre sob ação de organismos, o termo *biogeoquímico* é muitas vezes utilizado.

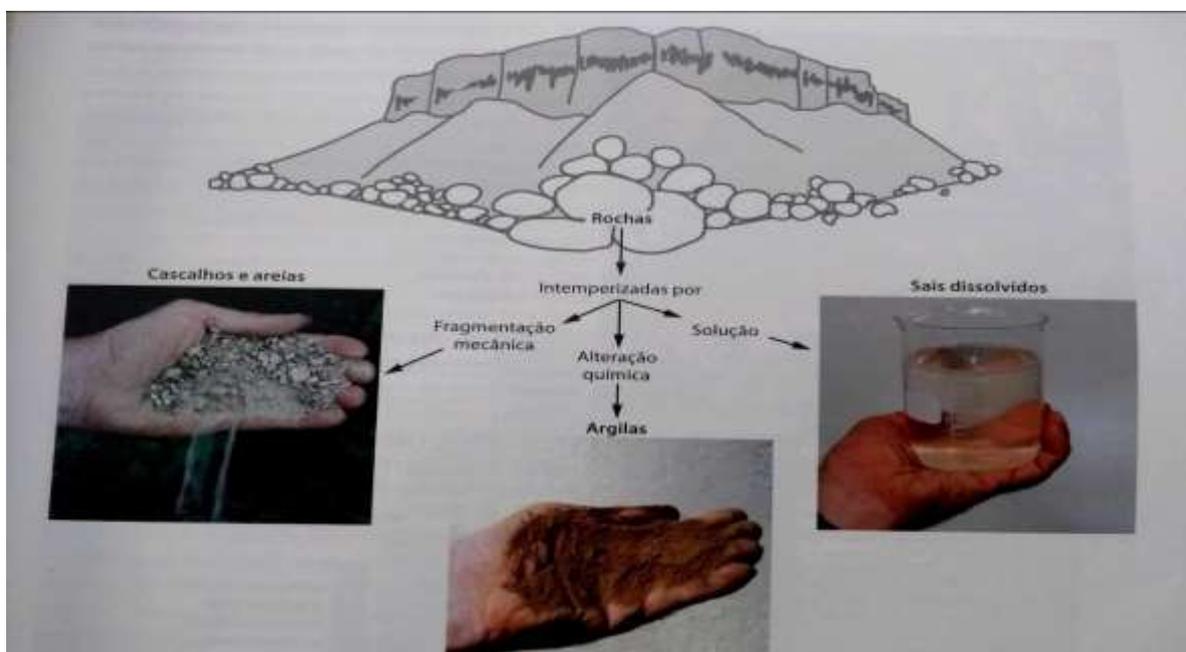


Figura 1. As rochas se intemperizam física (por fragmentação mecânica) ou quimicamente (por dissolução e alteração química). (Fotos: Marston H.D. Franceschini).

As fragmentações mecânicas alteram o tamanho dos minerais (sobretudo produzindo as areias). As dissoluções e/ou alterações químicas modificam a constituição dos minerais, produzindo argilas e sais. Parte dos cátions e ânions desses sais pode ser retida ao redor das argilas, enquanto o restante é dissolvido e levado primeiro para o lençol freático e depois para os cursos d'água que deságuam no mar onde se acumulam (Fonte: adaptado de Press e Siever, 1978).

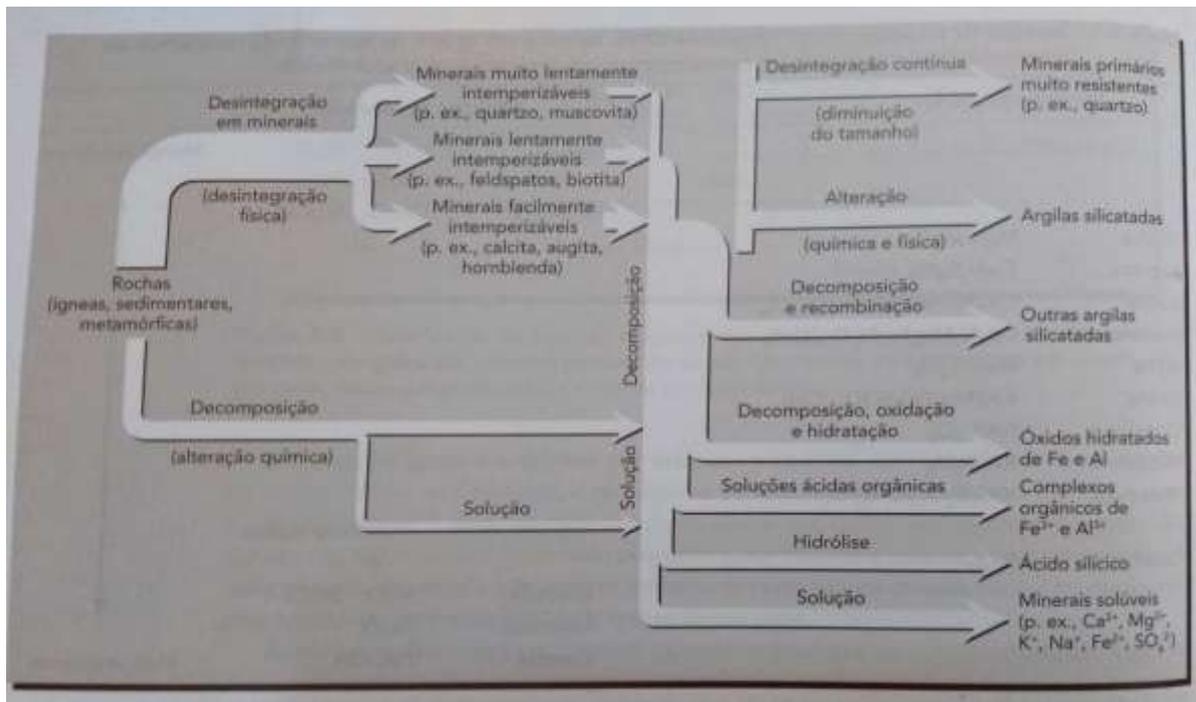


Figura 2. Sequência mostrando as vias do intemperismo (Brady e Weil, 2013).

4.1. Intemperismo físico

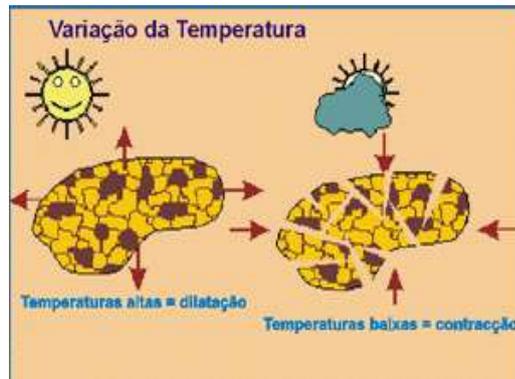
O intemperismo físico promove a fragmentação das rochas, aumentando a superfície exposta às intempéries e produzindo condutos por onde a água pode penetrar. Esses processos são mais atuantes nas zonas naturais de fraqueza das rochas, tal como fraturas que ficam expostas à atividade de organismos (como bactérias e raízes de árvores que em conjunto atuam para desintegrá-la).

De acordo com Brady e Weil (2013), pode-se elencar alguns fatores principais que contribuem para esse tipo de intemperismo:

a.1) Temperatura

A oscilação da temperatura das rochas, provocado por incêndios ou variação durante o dia e a noite, provocam dilatações com o calor e contrações com o frio. Como

alguns minerais expandem/contraem mais que outros, várias mudanças de temperatura criam diferentes tensões, que induzem a mais fraturas.



a.2) Água, gelo e vento

A água tem um enorme poder de abrasão entre os minerais das rochas, além disso, penetrando nas fendas, pode fazê-las alargar, desintegrando as rochas, tanto pelo aumento do volume (ao se congelar) ou pelo crescimento de cristais nela dissolvidos (ao se evaporar).

As poeiras e areias transportadas pelo vento também podem desgastar as rochas por abrasão.

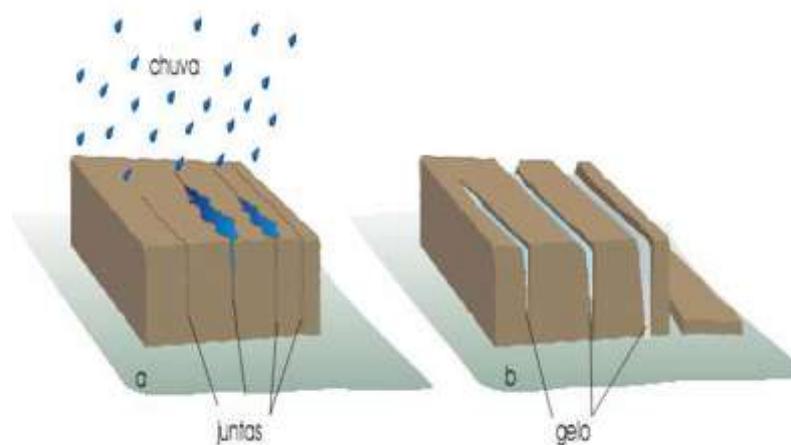


Fig. 8.2 Fragmentação por ação do gelo. A água líquida ocupa as fissuras da rocha (a), que posteriormente congelada, expande e exerce pressão nas paredes (b).

Fonte: Decifrando a Terra / TEIXEIRA, TOLEDO, FAIRCHILD e TAIOLI - São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

a.3) Plantas e animais

Em alguns casos, as raízes das plantas penetram nas fendas das rochas, forçando-as a se abrirem, o que resulta em sua parcial desintegração. No entanto, essas influências são de pouca importância na produção de solo, quando comparadas aos efeitos físicos provocados pela água, gelo, vento e mudanças de temperatura.

O intemperismo físico quebra as rochas em fragmentos menores, eventualmente no tamanho de areias ou silte, que quase sempre são compostos de um só mineral.

Boxe 3.2 O QUE PROVOCA A FRAGMENTAÇÃO DAS ROCHAS?

As rochas podem se rachar (ou se fragmentar) por várias razões, entre as quais estão os estresses em pontos naturais (planos de clivagem etc.) e de fraqueza (fraturas, p.ex.) ativados por atividade biológica e processos químicos.

As rochas têm zonas naturais de fraqueza e, por isso, tendem a se partir. Nas rochas sedimentares e metamórficas, essas zonas naturais estão entre as camadas formadas por deposições sucessivas. Granitos e outras rochas ígneas são maciças e tendem a se quebrar em fraturas regulares chamadas de *juntas*, as quais se formam quando as rochas estão muito abaixo da superfície. Quando elas são expostas à atmosfera, ficam livres de toneladas de peso acima delas, fazendo as juntas abrir-se um pouco, propiciando o intemperismo químico.

A atividade de organismos também aumenta o intemperismo físico e químico. As bactérias e algas invadem as fendas das rochas, produzindo microfraturas. A acidez produzida por esses micro-organismos promove a hidrólise dos minerais. Muitas vezes, a fenda de uma rocha aumenta por causa das raízes que nela penetram, provocando a rachadura da rocha (tal como as raízes das árvores fazem com as calçadas).

O congelamento da água nas regiões frias e a cristalização dos minerais nas regiões áridas provocam o alargamento das fendas. Um tipo comum de alteração em rochas ígneas é a alteração esferoidal, a qual ocorre quando as arestas e os vértices dos blocos rochosos são mais expostos ao intemperismo químico do que as faces, resultando na formação de blocos arredondados (com formato acebolado a partir de formas angulosas).

Outras forças contribuem para o intemperismo físico: a corrente de rios que correm sobre as rochas e a ação das geleiras, que quebram e pulverizam as rochas.

Adaptado de Press et al. (2006)

4.2. Intemperismo químico

O intemperismo químico é provocado principalmente pela ação da água e das substâncias nela dissolvidas, como ácido carbônico, oxigênio e compostos orgânicos que ajudam a decompor minerais, transformando os menos resistentes em sais solúveis e em novos minerais (ou neominerais).

Em um longo período de tempo e em condições de calor e chuva abundantes, a maior parte dos minerais primários se intemperiza, deixando um resíduo rico em minerais muitíssimos resistentes (como o quartzo e os neominerais do grupo dos óxidos de ferro e alumínio).

Entre as várias reações químicas do intemperismo, destacam-se: (a) *dissolução*, (b) *hidrólise* e (c) *oxidação*.

b.1) Dissolução

Na dissolução, os minerais se “desfazem” ou se dissociam na água. Os íons antes organizados em cristais sólidos se desorganizam quando em contato direto com a água para formar uma solução salina aquosa. Um exemplo é a dissolução da halita (NaCl) que, em contato com a água, se dissocia nos cátions de sódio (Na^+) e ânions de cloro (Cl^-).

Contudo são raros os minerais que se dissolvem tão facilmente.

b.2) Hidrólise

Na hidrólise os minerais reagem com a água. É uma reação química na qual os elementos ionizados da água (H^+ e OH^-) substituem, de modo equivante, outros íons de um mineral, fazendo sua estrutura cristalina desfazer-se e/ou modificar-se.

Este é o mais importante processo de transformação dos minerais primários em argilas e de liberação de cátions. Tais cátions são tanto aqueles responsáveis pela nutrição de plantas (como cálcio e potássio) como outros que causam acidez e/ou toxicidade às plantas (como o alumínio).

b.3) Oxidação

Na oxidação os minerais reagem com o oxigênio. No caso dos minerais que contem ferro, a hidrólise promoverá a remoção do ferro ferroso (Fe^{2+}), que liga os tetraedros que contem silício substituído por alumínio. Isso causa o desmantelamento (destruição) completo desses tetraedros.

Depois de o ferro ferroso (Fe^{2+}) ser removido, ele pode passar pelo processo de oxidação, transformando-o em ferro férrico (Fe^{3+}), que facilmente se combina com o oxigênio e com a água, formando óxidos de ferro (hematita) e oxi-hidróxidos de ferro (goethita). No solo, é comum tais óxidos recobrirem as partículas de caulinita, fazendo com que o solo tenha cor avermelhada (no caso da hematita) ou amarelada (no caso da goethita).

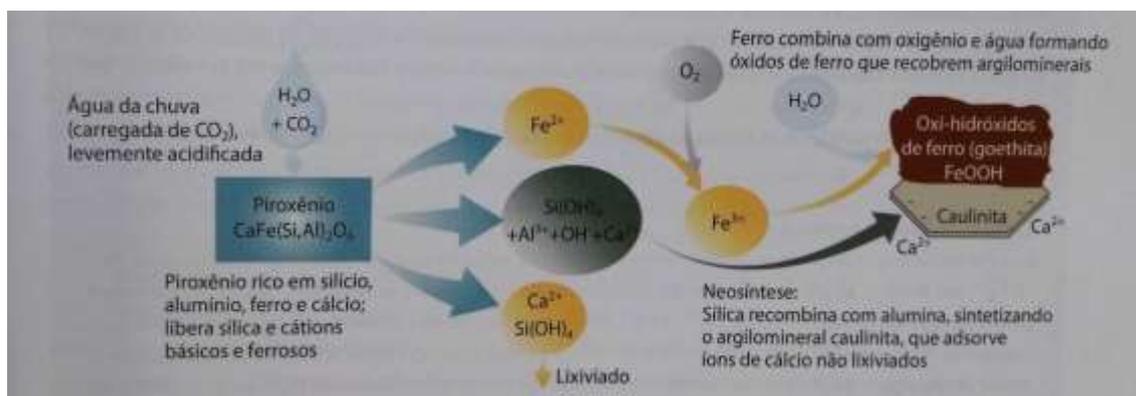


Figura 3. Esquema de alteração do material piroxênio, rico em oxigênio, ferro, sílica e cálcio (Lepsh, 2010).

Explique a relação entre os dois principais tipos de intemperismo.

Os dois tipos reconhecidos são o físico e o químico. O intemperismo físico está relacionado à fragmentação física dos componentes das rochas por ação mecânica da água e do vento, ou das próprias variações de temperatura e do estado físico da água sobre as rochas (congelamento e descongelamento, p.ex.). Seu efeito é fundamental para que o segundo tipo (químico) atue com mais eficiência, já que promove o aumento da área superficial dos minerais (redução das dimensões dos cristais) e a formação de fendas em grandes corpos rochosos. O intemperismo químico refere-se ao conjunto de reações químicas, capazes de alterar a estrutura molecular dos minerais, que ocorrem por ação da água que entra em contato com as rochas. Ele solubiliza parte dos íons que compõem a estrutura química dos minerais, que poderão permanecer no sistema ou se perder com a água que percola do sistema de alteração. Além disso, o intemperismo químico permite que os produtos residuais menos solúveis se organizem em novos minerais (minerais de argila, óxidos de Fe e Al), que se concentrarão nas frações mais finas dos solos, fundamentais para o funcionamento destes.

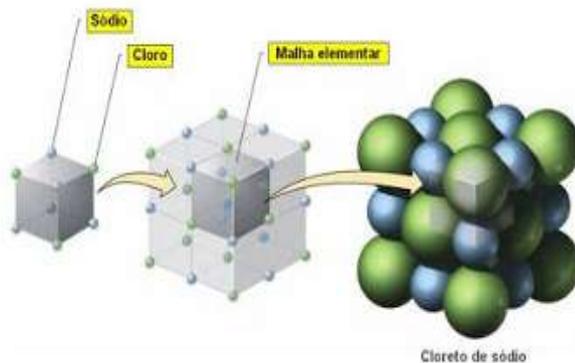
5. PETROLOGIA E MINERAIS DO SOLO

Rocha: é um agregado natural, coerente, multigranular de uma ou mais espécies de *minerais*.

Como as rochas são formadas por minerais, é indispensável o conhecimento das propriedades minerais que entram na composição das principais rochas. Da análise desses minerais obtém-se muitas informações como a capacidade potencial do solo de fornecer nutrientes às plantas, apesar disso a simples presença do elemento na composição do mineral não será um indicativo da sua presença no solo. Isso dependerá da maior ou menor facilidade com que esse elemento é liberado para o solo, o que é em função de sua maior ou menor susceptibilidade à decomposição química.

Minerais são elementos ou compostos químicos formados por processos inorgânicos, de composição química definidas e ocorrência natural na crosta terrestre. Os minerais presentes no solo refletem não só o material de origem como também os processos de intemperismo.

Os minerais possuem uma estrutura cristalina com arranjo ordenado de cátions e ânions, que podem formar faces planas regulares na forma de poliedros (cubos, exágonos, prismas, lâminas, etc.);



Apenas 9 elementos químicos constituem a maior parte das rochas ígneas: oxigênio, silício, alumínio, ferro, cálcio, sódio, potássio, magnésio e titânio.

A parcela inorgânica da fase sólida do solo é variável em tamanho e composição, sendo composta geralmente por pequenos fragmentos de rocha e de minerais de várias espécies.

A composição mineralógica do solo é bastante variável e depende da composição do MATERIAL DE ORIGEM, ou seja, da rocha matriz.

Os minerais do material de origem que persistem no solo são chamados *minerais primários*. Os *minerais secundários* são aqueles que se formam no solo a partir dos produtos de decomposição do material de origem.

5.1. Minerais primários

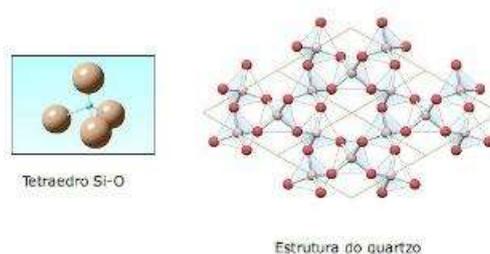
São os minerais que permanecem no solo com a estrutura original ou pouco alterada do material de origem. São os minerais herdados da rocha.

As partículas mais grosseiras do solo são ricas em minerais primários. Destaca-se o quartzo que, por sua resistência, é o mineral mais abundante das areias de quase todos os solos. Outros minerais primários que podem ocorrer nas frações grosseiras do solo são principalmente feldspatos, micas, magnetita e ilmenita; sendo os dois primeiros ocorrem em solos menos intemperizados e os dois últimos em solos de rochas básicas.

a) *Quartzo* SiO_2

É o mineral mais abundante da crosta terrestre. O quartzo existe em grande parte das rochas e somente aquelas que não o contém dão origem a solos pobres neste mineral. Composto por íons de silício (Si^{4+}) e de oxigênio (O^{2-}), os quais se ordenam na proporção de um silício para dois oxigênios na forma de tetraedros, o que lhe confere **pequena capacidade de fornecer nutrientes e grande resistência ao intemperismo**.

Todos os silicatos são formados a partir do tetraedro silício-oxigênio (SiO_4)



Ele é muito resistente ao intemperismo ou alterações nas condições normais dos solos. Devido a isso é encontrado principalmente nas frações grosseiras dos solos, como na areia.

Sua importância está mais associada à parte física do solo, influenciando sua **textura (quanto mais quartzo, mais arenoso tende a ser o solo)**, do que propriamente como reservatório de nutrientes, já que possui muito poucos cátions diferentes do silício em sua estrutura, apenas na forma de contaminantes, e que mesmo assim praticamente não são liberados devido à grande estabilidade do mineral.

Outros minerais primários podem ocorrer nas frações mais grosseiras do solo (areia e silte), principalmente **feldspatos, micas, magnetita, piroxênios e anfibólios**.

b) Feldspatos

Formam um grupo de minerais muito comum em rochas. São os silicatos mais abundantes e importantes da crosta terrestre, **são importantes minerais primários da composição do solo**.

Constituem também uma fonte potencial de nutrientes (K e Ca) para as plantas.

Desse grupo participam:

- *feldspatos plagioclásios* – $(\text{Na}, \text{Ca}) \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$: fontes de Cálcio para o solo;
- *feldspatos potássicos* – $\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{O}_8$: são importante fonte de potássio para o solo, juntamente com as micas potássicas, que podem ocorrer associadas; são de intemperização mais difícil que os plagioclásios.

Os feldspatos geralmente são muito importantes para a formação do solo tanto por sua abundância em vários tipos de rochas quanto pelos elementos químicos que são liberados quando se decompõem. Estes elementos químicos podem ser nutrientes para vegetais (como o K e o Ca) ou formar outros minerais, os minerais secundários do solo. Um dos mais importantes formados a partir dos feldspatos é a **caulinita**.

c) Mica

São importantes minerais constituintes de rochas. Cerca de 4% da crosta terrestre é formada por mica. Por intemperismo das micas são originados diversos minerais de argila, tais como vermiculita e montmorilonita, importantes nos solos agrícolas.

As micas podem ser divididas em dois grupos principais: a Muscovita e a Biotita:

- Mica Muscovita: $(\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$: mica clara ou potássica, mais resistente a alterações do que a biotita e os feldspatos. É uma fonte de potássio para o solo.
- Mica Biotita: é um silicato contendo K, Mg, Fe e Al, mica escura ou ferromagnésiana, é facilmente alterada no solo.

d) Piroxênios e anfibólios

São grupos bastante parecidos. São de **coloração escura, ricos em cátions facilmente intemperizáveis**.

Devido a sua rápida intemperização, **contribuem para os que os solos derivados desses minerais possuam alta fertilidade**, durante a fase inicial de desenvolvimento.

e) *Magnetita* – Fe_3O_4

É um óxido de Fe (72% de Fe). Outros minerais não-silicatados também são encontrados na fração areia, porém em quantidades menores. Destes, a **magnetita é importante por encontrar-se na fração areia** de solos derivados de rochas máficas (ricas em Ferro e Magnésio, como o Basalto); e por possuir em sua constituição **vários micronutrientes, como cobre, zinco, ferro e manganês**.

Além de ser **facilmente identificável por sua atração magnética**: basta aproximar um ímã de bolso a uma amostra de solo que a magnetita da fração areia fique atraída pelo ímã.

5.2. Minerais secundários

Na fração sólida do solo, são encontrados minerais secundários, destacando-se os chamados *minerais de argila (ou silicatos)* e os *óxidos de ferro e alumínio*.

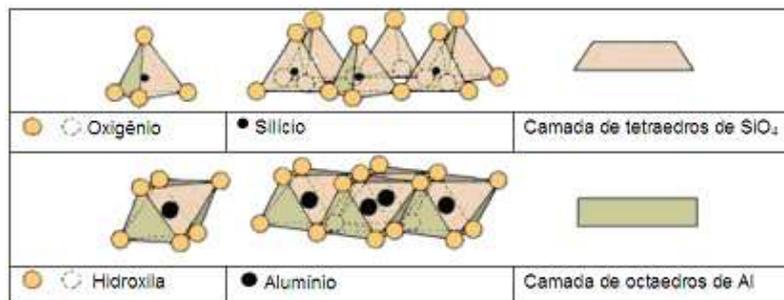
a) *Minerais de argila*

Os minerais de argila são silicatos de alumínio hidratados que apresentam estruturas laminares.

As estruturas básicas dos minerais de argila são representadas por duas unidades estruturais:

1) Lâminas de tetraedros de dióxido de silício: consiste no arranjo de um átomo de silício (Si) envolto por 4 átomos de oxigênio (O), resultando em uma **lâmina de sílica**.

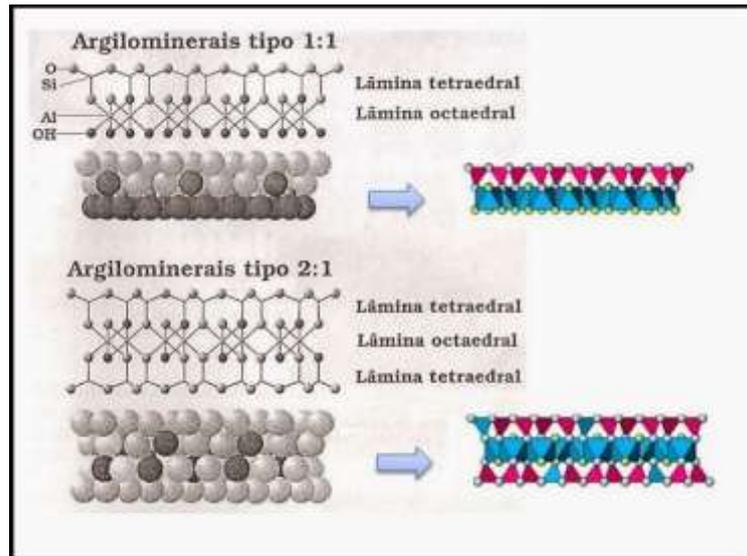
2) Lâminas de octaedros de trióxido de alumínio: consiste no arranjo de um átomo de alumínio (Al) envolto por 6 átomos de oxigênio em forma de octaedro, constituindo uma **lâmina de alumina**.



De acordo com o número de lâminas tetraédricas de sílica e octaédricas de alumina, os minerais são classificados em Argilas tipo 2:1, Argilas tipo 1:1:

A) **Argilas tipo 2:1** – são formadas por uma lâmina de alumina e duas lâminas de sílica, ligados por átomos de oxigênio das lâminas de sílica. Os átomos de oxigênio externos das camadas formadas oferecem ligações fracas, permitindo a expansão da argila pela entrada de água. Ao contrário durante a seca, o déficit hídrico provoca a contração dessas argilas que manifestam fendilhamento. Exemplo: MONTMORILONITA E VERMILULITA.

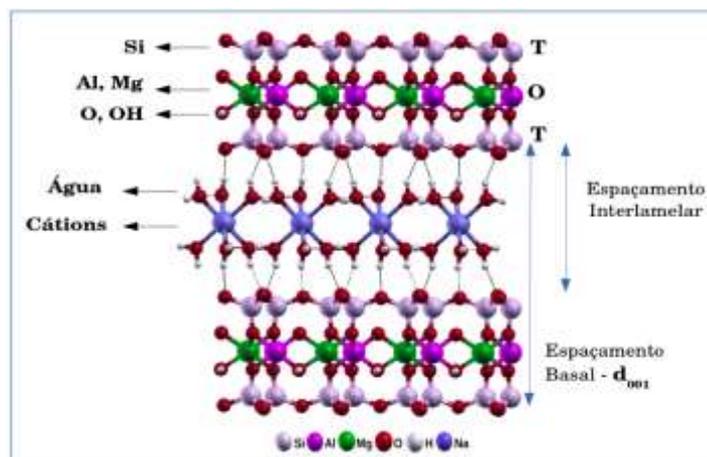
B) **Argilas tipo 1:1** – são constituídas pela combinação entre uma lâmina de sílica e uma lâmina de alumina, unidas por átomos de oxigênio, formando uma camada de argila. Essas camadas, por sua vez, são unidas entre si por pontes de hidrogênio de ligação muito forte, impedindo a separação das mesmas pela penetração de água. O principal mineral de argila 1:1 é a CAULINITA.



MONTMORILONITA

Montmorilonita (também anteriormente denominada de esmectita) é o argilomineral mais abundante do grupo das *esmectitas*, cuja fórmula química geral é dada pela $M_x(Al^{4+} \ xMg) Si_8O_{20}$

Pertence ao grupo dos silicatos 2:1, cujas placas são caracterizadas por estruturas constituídas por duas folhas tetraédricas de sílica com uma folha central octaédrica de alumina, que são unidas entre si por átomos de oxigênio que são comuns a ambas as folhas.



O empilhamento dessas placas é regido por forças polares relativamente fracas, e entre essas placas existem lacunas denominadas de galerias ou camadas intermediárias ou interlamelares nas quais residem cátions trocáveis como Na^+ , Ca^{2+} , Li^+ . Cerca de 80% dos cátions trocáveis na montmorilonita estão presentes nas galerias e 20% se encontram nas superfícies laterais.

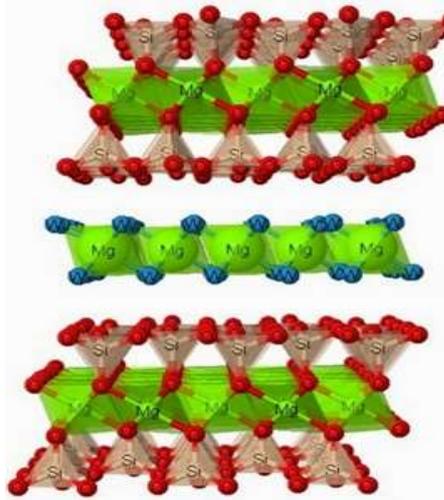
VERMICULITA

A vermiculita ou vermiculite é um mineral formado por hidratação de certos minerais basálticos, com fórmula química $(\text{MgFe,Al})_3(\text{Al,Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

É um mineral do tipo 2:1, **originado de transformação de micas**.

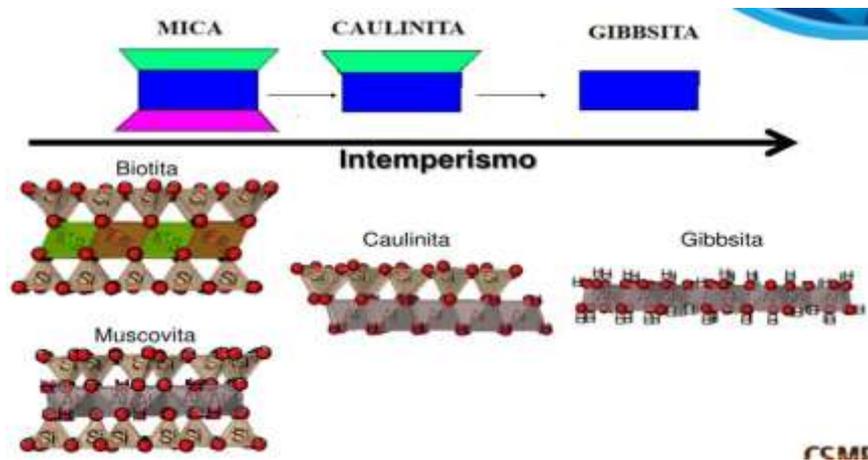
A vermiculita é um mineral semelhante à mica, formado essencialmente por *silicatos hidratados de alumínio e magnésio*. Quando submetida a um aquecimento adequado a água contida entre as suas milhares de lâminas se transforma em vapor fazendo com que as partículas explodam e se transformem em flocos sanfonados. Cada floco expandido aprisiona consigo células de ar inerte, o que confere ao material excepcional capacidade de isolamento.

A Vermiculita expandida é um produto utilizado em larga aplicação no setor agrícola, como: condicionador de solos; veículo e contentor para nutrientes, inseticidas, herbicidas, fungicidas e fumigantes, evitando seu arrasto pela chuva ou irrigação; retentor de água em solos permeáveis (arenosos); isolamento da superfície do solo preparado com sementeiras.



CAULINITA $Al_2(OH)_4Si_2O_5$:

Possui estrutura rígida e espaçamento entre as camadas é pequeno e impede a entrada de água, que fica apenas adsorvida à superfície externa das partículas.



É o principal argilo-mineral do tipo 1:1 que ocorre nos solos.

Juntamente com os óxidos de Fe, constituem as partículas minerais mais abundantes na maioria dos solos tropicais.

Não possui expansividade (devido às pontes de hidrogênio entre as camadas).

b) Óxidos de ferro e alumínio

Por facilidade de comunicação os óxidos, hidróxidos e oxihidróxidos são chamados de maneira geral de **óxidos**.

Os óxidos e hidróxidos constituem uma extensa classe de minerais em que os cátions de um ou mais metais estão combinados com O^{2-} ou OH^- , sendo que um dos cátions pode ser o H^+ , principalmente constituídas de óxidos de ferro e alumínio.

São os minerais mais abundantes nos solos marrom-avermelhados das regiões tropicais.

Quando em alta concentração, **indicam solos bastante intemperizados.**

O ferro existente no solo é originado principalmente pelo **intemperismo de minerais primários (como anfibólios e piroxênios) de rochas magmáticas básicas (Ex.: Basalto).**

A presença de diferentes tipos de óxidos de ferro no solo tem recebido muita atenção porque **possuem grande efeito pigmentante no solo**, afetando sua morfologia.

Os **óxidos de ferro (Fe) juntamente com a matéria orgânica** são responsáveis **pela cor do solo** e participam de uma série de reações químicas **importantes relacionadas à fertilidade do solo**.

Sua **alta área de superfície específica**, associada a sua **capacidade de recobrimento de outros minerais**, em muito afetam o comportamento do solo, especialmente na **dinâmica de nutrientes, agregação, cimentação, ocorrência de mosqueados, plintita, etc.**

Outra característica importante: **sua capacidade de retenção de ânions, importante para nutrientes sob a forma aniônica (como o fósforo)**.

Predominam em solos de regiões tropicais (com alta temperatura e umidade), com alto intemperismo.

Os principais minerais do grupo de óxidos de importância agronômica são: **Hematita, Goethita e Gibbsita**.

GOETHITA - ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) – óxido hidratado de ferro (Fe)

A Goethita, óxido de Fe mais frequente nos solos, porque é mais estável. Ocorre em quase todas as regiões e climas e **confere cor BRUNO (marrom) a AMARELADA** aos solos.

HEMATITA - (Fe_2O_3) – óxido de ferro (Fe)

A Hematita, é o segundo óxido de Fe mais frequente nos solos, principalmente nos mais antigos e/ou intemperizados, isolado ou associado à goethita. É característica de climas quentes e úmidos, com **alto poder pigmentante: confere cor VERMELHA** aos solos, mesmo que a goethita esteja em maior concentração.

GIBBSITA - ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) – óxido hidratado de alumínio (Al),

A Gibbsita é o óxido de alumínio mais frequente nos solos. Desempenha papel importante na **formação de agregados do solo**.

5.3. Propriedades das rochas

As diferenças na composição litológica afetam a resistência ao intemperismo, principalmente porque elas comumente são compostas de diferentes minerais, cada um podendo ser mais ou menos estável, de acordo com o tipo de ligações de suas estruturas cristalinas. Outro fator é a estrutura da rocha, que condiciona sua suscetibilidade de formar rachaduras e se fragmentar; via de regra rochas com cristais menores são mais resistentes do que as granulações mais grosseiras, de mesma composição.

Com base em suas estruturas cristalinas, os principais minerais podem ser ordenados em função da sua estabilidade, ou inversamente, pela sua suscetibilidade ao intemperismo, constituindo esquemas muito úteis para prever o “grau de intemperismo” de determinada rocha ou mesmo solo.

A “série de estabilidade” de Goldich é muito usada para estimar a resistência à alteração química dos minerais primários. Nesta série o quartzo situa-se como o mais resistente ao intemperismo, seguido da muscovita, feldspatos de potássio (ortoclásio), biotita, feldspatos de sódio e cálcio (plagioclásios), anfibólios, piroxênios e olivina (a menos resistente).

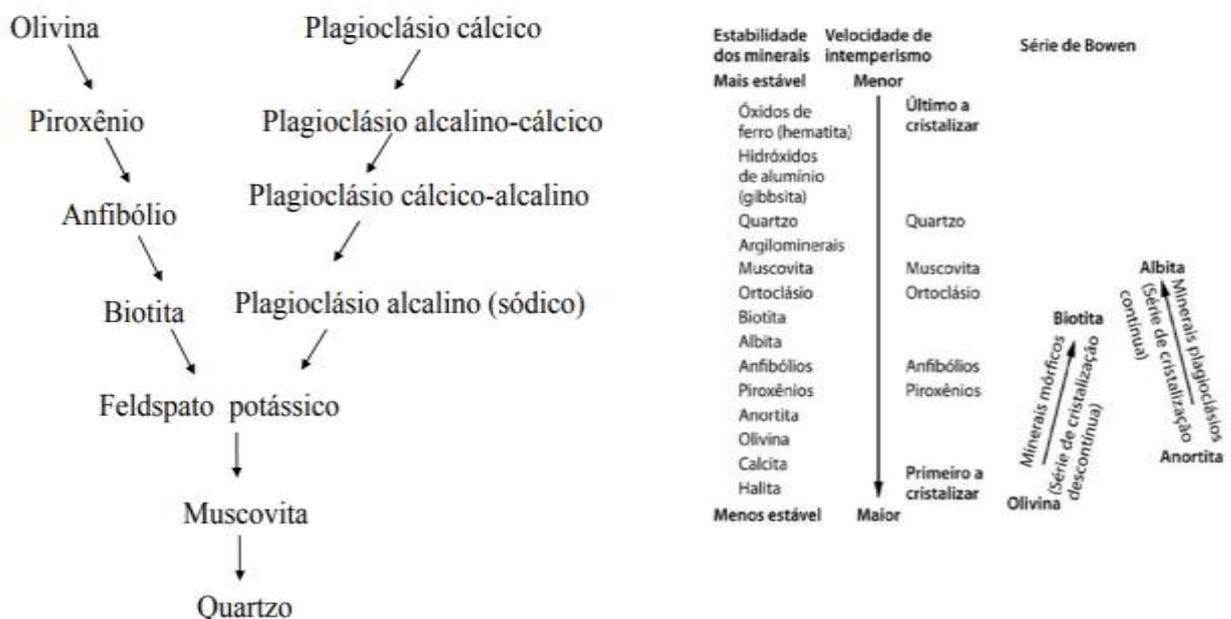


Figura 4. Ordem de intemperismo dos minerais mais comuns segundo a série de Goldich (à esquerda) em comparação com a série de Bowen (à direita). Os primeiros minerais a cristalizar-se em uma lava em resfriamento são os menos estáveis. (Fonte: Teixeira et al., 2000).

5.4. Leitura complementar: Propriedades Macroscópicas de Minerais

(Clemente, 2017).

BRILHO – O brilho de um mineral é a capacidade de reflexão da luz incidente sobre sua superfície. O brilho de um mineral pode ser dividido em:

Metálico – brilho semelhante a um metal. Ex.: pirita, hematita;

Não Metálico – outros tipos de brilhos observados nos minerais. Exemplos:

vítreo – brilho semelhante ao vidro. Ex.: quartzo (hialino, ametista, fumê, etc.);

sedoso – brilho semelhante à seda. Ex.: gipso

resinoso – brilho semelhante à resina. Ex.: enxofre

perláceo – brilho semelhante à pérola. Ex.: talco lamelar e granular

micáceo – brilho intenso das superfícies das "placas" ou "escamas" dos minerais micáceos. Ex.: muscovita, biotita e lepidolita

DUREZA - A dureza (D) de um mineral é a resistência que sua superfície oferece ao ser riscada. Será adotada a escala de dureza de MOHS, estabelecida em 1824, na qual dez minerais comuns são ordenados em relação à resistência que oferecem ao risco.

A escala de Mohs não é linear. Por exemplo, o diamante é cerca de 40 vezes mais duro que o talco, enquanto o coríndon que está logo abaixo do diamante (dureza 9), é da ordem de 9 vezes mais duro que o talco. A escala de Mohs é adimensional. Diz-se que o mineral tem dureza 5 ou 3, por exemplo, na escala de Mohs.



Para utilizar a escala de Mohs toma-se com limites a dureza da unha (aproximadamente 2,8 - 2,9) e de uma lâmina de canivete (canivetes comuns da ordem de 5,5). Desta forma tem-se:

Dureza Baixa: minerais riscados pela unha. (minerais de dureza 1 e 2);

Dureza Média: minerais não riscados pela unha, mas riscados pelo canivete (minerais com dureza até 5 – 5,5);

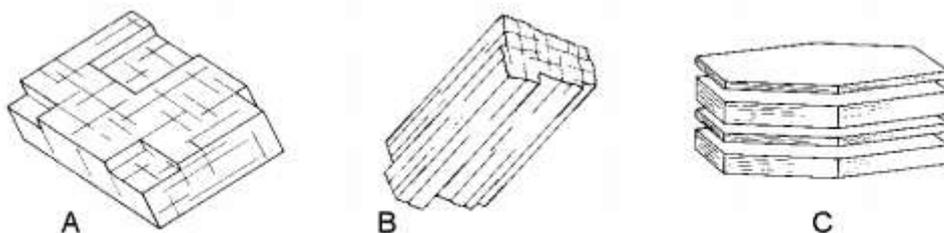
Dureza Alta: não riscado pelo canivete.

A partir da escala de Mohs tem-se que:

- 1- O mineral de maior dureza risca o de menor dureza;
- 2- O mineral de menor dureza é riscado pelo de maior dureza;
- 3- Minerais de igual dureza ou muito próximas não se riscam. Entretanto, quando fortemente atritados podem (não necessariamente) se riscar.

CLIVAGEM - É a propriedade que apresentam muitos minerais de romperem com maior facilidade segundo determinados planos. A clivagem pode ser obtida por simples pressão ou por choque mecânico mais forte. Os minerais podem apresentar superfícies de clivagem em:

- a) 3 direções (Figura A) - Ex.: calcita, galena.
- b) 2 direções (Figura B) - Ex.: feldspato.
- c) 1 direção (Figura C) - Ex.: micas, talco.
- d) ausente - Ex.: quartzo, turmalina..



Diferentes tipos de clivagem dos minerais. (A) clivagem em 3 direções; (B) clivagem em 2 direções; (C) clivagem em 1 direção

HÁBITO - É a forma externa mais frequente de ocorrência de um mineral. O hábito depende da forma e velocidade de crescimento do mineral, que por sua vez são influenciadas pela temperatura, pressão, impurezas, etc.

Pode-se concluir que um mesmo mineral, em condições genéticas distintas, pode apresentar hábitos diferentes. O hábito nem sempre é uma propriedade que diferencia um mineral do outro, mas sem dúvida é de grande importância. A seguir serão apresentados alguns hábitos comuns observados nos minerais. O hábito de um mineral pode ser observado em um cristal isolado ou em agregados de minerais. Quando o mineral apresenta cristais isolados, considera-se as seguintes formas:

A) *Tabular* - devido ao maior desenvolvimento de duas faces paralelas (Figura 8A). Ex.: barita.

B) *Prismático* - devido ao maior desenvolvimento do cristal segundo uma direção (Figura 8B). Ex.: quartzo.

C) *Piramidal* - devido ao maior desenvolvimento das faces que formam pirâmides. Pode ser também bipiramidal (Figura 8C). Ex.: zirconita

D) *Acicular*: cristais finos, como agulhas. Ex.: actinolít.

Quando o mineral não ocorre em cristais bem individualizados, pode assumir as mais variadas formas, das quais citam-se:

E) *Granular* - massa ou agregado constituído por grânulos: elementos cristalinos pequenos e irregulares (Figura 8E). Ex.: olivina, enxofre.

F) *Maciço* - massas homogêneas cristalinidade aparente, isto é, situação em que a individualização dos constituintes não pode ser feita a olho nu (Figura 8F). Ex.: calcedônia.

G) *Fibroso* - massas aciculares finíssimas, onde não é possível distinguir formas geométricas nos indivíduos isolados (Figura 8G). Ex.: asbestos.

H) *Estalactítico* - em forma de concreções mais ou menos cônicas (Figura 8H). Ex.: calcita.

I) *Lamelar ou Placóide* - quando o material é constituído por um conjunto de lamelas ou placas empacotadas (Figura 8I). Ex.: talco, muscovita, sericita, lepdolita.

J) *Escamoso* - quando o material é constituído por um conjunto de cristais empacotadas em forma de pequenas escamas. Diferencia do placóide pelo tamanho reduzido (Figura 8J). Ex.: biotita, fuchsita.

K) *Concrecionário* - na forma de concreções, isto é, agregados mais ou menos estáveis, de forma arredondada e alongada constituídos de material cristalino e/ou amorfo (Figura 8K). Ex.: concreções de hematita, goethita.

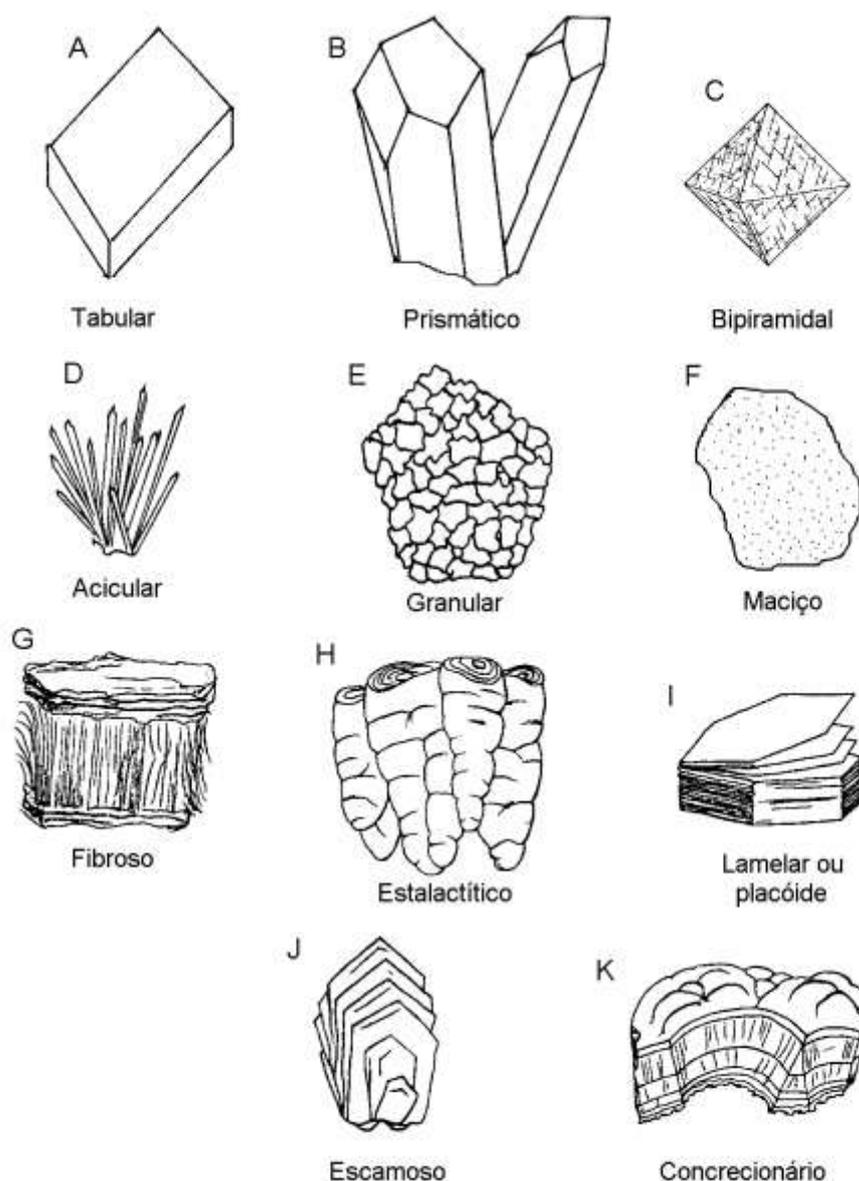


Figura 8. Diferentes tipos de hábito/formas apresentados pelos minerais

COR - A cor do mineral é um caráter importante em sua determinação. A cor de uma substância depende do comprimento de onda da luz que ela absorve. Por exemplo, um mineral que apresenta cor verde absorve todos os comprimentos de onda do espectro exceto aquele associado ao verde. Alguns autores consideram como fundamentais as seguintes cores dos minerais: branco, cinza, preto, azul, verde, amarelo, vermelho e castanho. Deve-se assinalar, entretanto, que podem ocorrer minerais das mais diversas tonalidades.

As cores dos minerais, especialmente dos que apresentam brilho metálico, devem ser observadas na fratura fresca. Em geral a superfície exposta ao ar pode apresentar películas de alteração.

Os minerais de brilho não metálico podem ser divididos em:

Idiocromáticos – são aqueles que apresentam sempre a mesma cor dentro da espécie mineral, cor constante que depende da composição química. Ex.: enxofre (amarelo), malaquita (verde), azurita (azul), etc.

Alocromáticos – são aqueles que apresentam cor variável dentro da mesma espécie mineral em função da presença de impurezas na estrutura cristalina ou por causas de natureza física (ex.: aumento de temperatura, radiação, etc.). Estes minerais são incolores quando puros. Alguns exemplos são:

- FLUORITA - incolor, amarela, rósea, verde ou violeta
- TURMALINA - incolor (acroíta), rósea (rubelita), verde (esmeralda brasileira), azul (indicolita) e preta (afrisita)
- BERILO - incolor, verde (esmeralda), azul-esverdeado ou azul água marinha, amarelo (heliodoro).
- QUARTZO - incolor (crystal de rocha, hialino); amarelo (quartzo citrino), róseo (quartzo róseo), verde (quartzo prase), violeta (quartzo ametista).

A cor é uma propriedade física importante na determinação dos minerais, mas nem sempre é constante. Desta forma, deve-se utilizar esta propriedade com cuidado.

TRAÇO – A cor do pó fino de um mineral é designada de traço. Enquanto as cores dos minerais podem ser muito variáveis, as cores dos traços são normalmente constantes. O traço é obtido riscando-se com o mineral uma placa de porcelana não polida. Exemplos de diferentes cores de traços produzidos por minerais são apresentados a seguir:



Exemplos de diferentes cores de traços produzidos por minerais.

DENSIDADE - Densidade é o número que expressa a proporção entre o peso do mineral e o peso de igual volume de água a 4° C. Alguns minerais muito semelhantes em outras propriedades macroscópicas, podem possuir densidades bem diferentes. Exemplos:

DOLOMITA $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, com uma densidade 2,85, pode ser distinguida de BARITA, BaSO_4 , de densidade 4,5. A densidade é determinada por meio de aparelhos especiais como a balança de Jolly, picnômetro, etc.

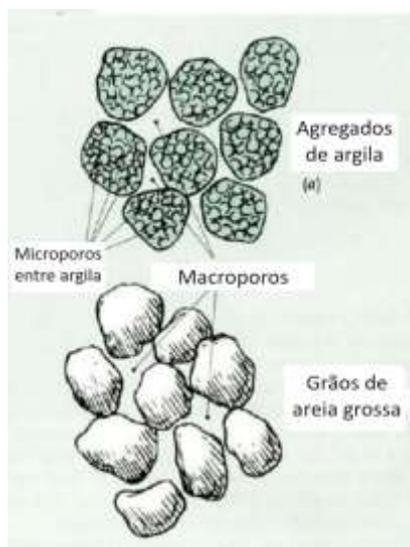
SOLUBILIDADE - A solubilidade dos minerais pode ser considerada em relação a diversos ácidos, tais como HCl , HNO_3 , H_2SO_4 e HF .

Para os minerais mais comuns e de maior interesse do curso a utilização do HCl diluído é o suficiente. Utilizando-se HCl diluído é possível separar os minerais em:

- *Insolúveis* – aqueles que não reagem com HCl . Ex. quartzo, turmalina
- *Pouco Solúveis* – aqueles que só se solubilizam com HCl aquecido ou quando pulverizados. Ex.: dolomita
- *Solúveis* – aqueles que se solubilizam em condições normais, podendo ser acompanhado por desprendimento de gás carbônico (efervescência) ($\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$). Ex.: calcita, aragonita.

6. POROSIDADE DO SOLO

A POROSIDADE DO SOLO refere-se ao espaço deixado pela fração sólida do solo (pedra, areia, silte, argila e matéria orgânica), bem como ao espaço entre e dentro dos agregados, ocupado pela água e pelo ar.



Porosidade de Solos Argilosos e Arenosos (UFRRJ, 2000).

A porosidade varia muito entre os solos. Os seus valores oscilam entre menos de **25% em camadas subsuperficiais compactadas** a até **mais de 60% nas camadas superficiais bem-agregadas e com alto teor de matéria orgânica**.

Portanto o espaço poroso depende da **textura** e da **estrutura** do solo.

O manejo do solo pode exercer uma influência decisiva sobre a sua porosidade.

Em relação aos solos arados, o cultivo tende a reduzir o espaço poroso total devido ao decréscimo no conteúdo de matéria orgânica e à menor agregação.

O arranjo entre os componentes sólidos (com formas e tamanhos variados) determina as características geométricas dos poros.

6.1. Tamanho dos poros

Os poros do solo ocorrem em uma ampla variedade de tamanhos e formas, as quais condicionam grande parte de suas funções.

Apesar dessa ampla distribuição de tamanhos, existe uma classificação simplificada em 2 classes de tamanhos de poros: **macroporos e microporos**.

a) **MACROPOROS:**

- Maior diâmetro: $\varnothing > 0,05$ mm;
- permitem a movimentação livre do ar e da água de drenagem.
- responsáveis pela drenagem e infiltração de água, aeração do solo e trocas gasosas.
- são suficientemente grandes para **acomodar as raízes das plantas e de uma grande variedade de pequenos animais que habitam o solo**.

Em solos de textura mais grosseira (arenosos), os macroporos podem ocorrer entre os grãos individuais de areia. **Por essa razão, em um solo arenoso, apesar de sua porosidade total ser relativamente baixa, o movimento de ar e água é surpreendentemente rápido, devido ao fato de que nele prevalecem os macroporos.**

Em solos bem-estruturados, os macroporos são encontrados entre as unidades estruturais dos agregados, formando os **poros entre agregados**.

Os macroporos formados por raízes, minhocas e outros organismos constituem um tipo muito importante de poros, chamados **bioporos**. Normalmente eles têm um formato tubular e podem ser contínuos, atingindo um metro de comprimento ou mais.

Em alguns solos argilosos, os bioporos são a forma predominante de macroporos, facilitando o crescimento radicular.

Plantas perenes, como as árvores de florestas e certas culturas forrageiras, são eficientes na criação de canais que servem de passagem para novas raízes após a morte e decomposição do sistema radicular, que originalmente estabeleceram.

b) **MICROPOROS:**

- menor diâmetro: $\varnothing < 0,05$ mm
- Permitem a retenção e o armazenamento de água.

Ao contrário dos macroporos, os microporos estão geralmente **ocupados com água**. Mesmo quando não estão preenchidos com água, **seu tamanho reduzido não permite adequada movimentação de ar**.

O movimento de água nos microporos é lento, e a maior parte da água retida nos microporos NÃO está disponível para as plantas.

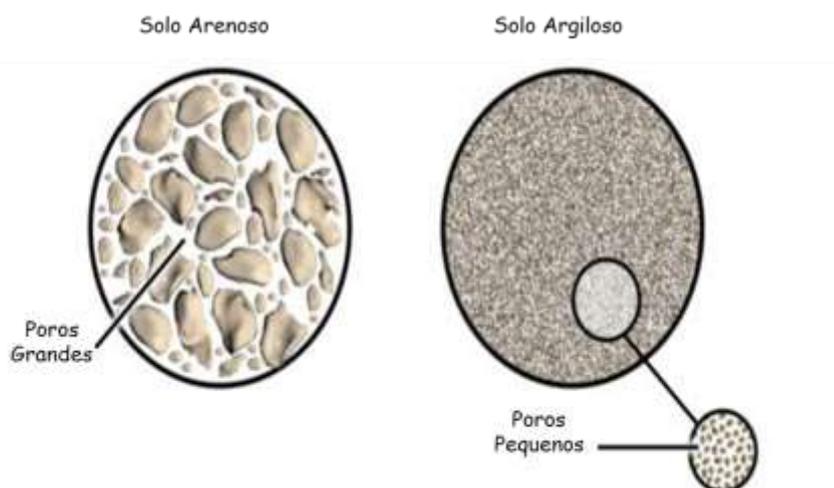
Solos de textura fina (argilosos), especialmente aqueles sem estrutura estável, podem ter **predominância de microporos, permitindo um movimento lento de água e de ar**, apesar de maior volume total de porosidade.

Os microporos podem ser subdivididos em:

- **microporos de maior tamanho (*mesoporos e microporos*)**, que acomodam pêlos radiculares e microorganismos;
- **microporos de menor tamanho (*ultramicroporos e criptoporos*)**, são muito pequenos para permitir até mesmo a entrada das bactérias menores ou de alguma enzima de degradação produzida por elas. Esses poros podem atuar como **abrigos para alguns compostos orgânicos adsorvidos (de ocorrência natural ou de poluentes)**, protegendo-os da decomposição por muito tempo, talvez por séculos.

6.2. Movimento da água nos poros

Os poros do solo ocorrem em uma ampla variedade de tamanhos e formas, as quais condicionam grande parte de suas funções.



A porosidade influencia diretamente no:

- movimento da água no solo (drenagem)
- capacidade de armazenamento da água no solo (retenção)

Isso é consequência da variação das forças físicas de coesão e de adesão entre as partículas do solo e água.

FORÇA DE COESÃO: Atração entre partículas de mesma natureza (entre partículas do solo ou entre uma e outra molécula de água).

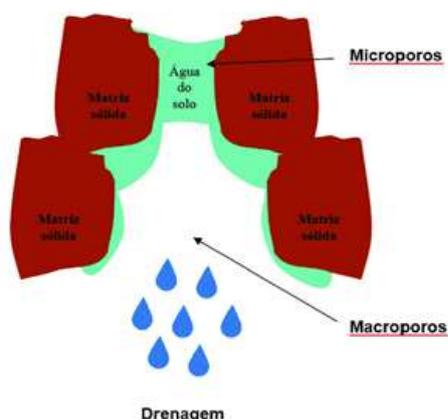
FORÇA DE ADESÃO: força atrativa que atua entre o líquido e a superfície de um sólido, quando estão em contato direto. Atração entre partículas de natureza distinta (proporciona ao solo a habilidade de reter a água).

As moléculas de água **mais próximas das partículas de solo estão muito fortemente retidas por ADESÃO pelas ligações de hidrogênio que as unem às cargas elétricas negativas do solo.**

As moléculas de água bem mais distanciadas das superfícies dos sólidos estão retidas por **COESÃO (atração de uma molécula de água sobre a outra)**. Assim, quanto mais distantes as moléculas de água estiverem da superfície das partículas, com menos energia serão retidas.

Conforme se adiciona água a um solo seco, a água será aderida por ele com cada vez menos energia, e somente até o ponto em que a distância entre as moléculas de água adicionadas e a superfície sólida for tal que permita ainda a atração entre uma e outra (coesão).

À medida que a molécula de água se afasta da superfície da argila, as forças das ligações do hidrogênio diminuem, até certa distância, a água não será mais retida, **pois a força da gravidade supera as forças de adesão e coesão, nesse ponto água começa a mover-se (ou percolar) solo abaixo, pela força da gravidade.**



Demonstração ilustrativa dos microporos e macroporos e suas respectivas funções no solo (Silva et al., 2015).

Neste sentido, os microporos permitem um contato mais próximo entre as moléculas de água e a superfície da partícula sólida, levando **à retenção de água nos microporos.**

Já nos macroporos, parte das moléculas de água estão mais distantes das partículas sólida e conseqüentemente, retidas com menor tensão, o que **permite a drenagem mais facilitada da água.**

Solos argilosos têm mais poros, somando os macro e micro; precisam de cuidados: relacionados à circulação de ar; relacionados à movimentação de água; quantidade pequena de macroporos; quantidade grande de microporos.

Solos cultivados tem menos poros que os solos não cultivados.

Solos não cultivados (ou cultivos conservacionistas) têm mais matéria orgânica que mantém o solo mais poroso; reduz a compressão provocada pelo o peso das máquinas, que o comprimem fechando seus poros; a quantidade de macroporos em solos não cultivados é maior – não recebem diretamente o impacto das chuvas que pulverizam o solo e fecham os macroporos.

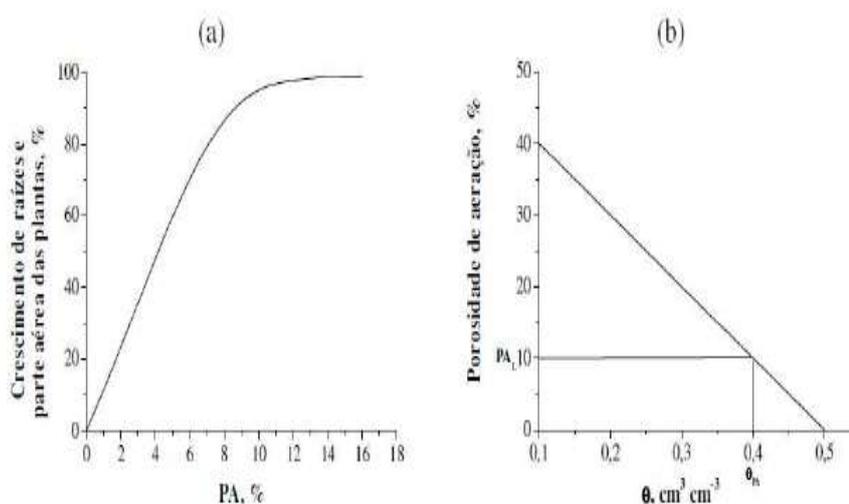


Figura 2. Relação entre porosidade de aeração (PA) e (a) crescimento de plantas e (b) umidade (θ).

6.3. Determinação da porosidade do solo

A densidade e a porosidade são características que estão muito relacionadas pois ambas são relações de massa e volume dos constituintes do solo.

E podem ser determinadas de várias formas, uma delas é pelo **Método do Anel Volumétrico.**

Princípio do método:

Coleta de amostras de solo com **estrutura indeformada** através de um anel de aço de bordas cortantes e volume interno conhecido → **anel volumétrico.**



Procedimento no campo:

- 1) Amostragem indeformada de solo (sem deformação/ mantendo a estrutura do solo).
- 2) Preparo da amostra coletada:
 - (A) retirada do excesso de solo do entorno do anel.
 - (B) Envolvimento da amostra em filme plástico (até o laboratório).

Procedimento no laboratório:

- 1) Colocadas em uma bandeja com água, para saturação dos poros do solo com água;
- 2) Pesagem: solo saturado.
- 3) Drenagem natural (gravidade 0,06 atm)
- 4) Pesagem: solo a 0,06 atm.
- 5) Estufa por 24h a 105°C.
- 6) Pesagem: solo seco em estufa (Ps).

A partir dessas pesagens é possível determinar: água no solo; Densidade do solo (D_s); Porosidade total do solo; Macroporosidade; Microporosidade.

Cálculo do Porosidade do solo

O volume total de poros é o somatório de todos os tamanhos: grandes, médios e pequenos, incluindo até os pequeníssimos capilares.

Normalmente, a porosidade é calculada tomando-se como base os valores de densidade do solo (D_s) e de densidade de partículas (D_p):

$$\text{Porosidade total} = 100\% - \left(\frac{D_s}{D_p} \times 100 \right)$$

Como os poros de diversos tamanhos comportam-se de modo diferente em relação ao ar e à água nele contidos, suas proporções também são muito importantes e determinam várias das propriedades ecológicas do solo.

O simples cálculo de porosidade total nada nos informa sobre a quantidade relativa de macroporos e microporos. Para determinação dessas faixas de poros podemos utilizar as seguintes equações:

$$\text{Macroporos}(\%) = \frac{\text{Peso do solo saturado} - \text{Peso a } 0,06\text{atm}}{\text{Volume total do solo}} \times 100$$

$$\text{Microporos}(\%) = \frac{\text{Peso a } 0,06\text{atm} - \text{Peso do solo seco}}{\text{Volume total do solo}} \times 100$$

$$\text{Porosidade}(\%) = \frac{\text{Peso do solo saturado} - \text{Peso seco}}{\text{Volume total do solo}} \times 100$$

7. DENSIDADE DE PARTÍCULAS (D_p)

A densidade de partículas corresponde à massa por unidade de volume das partículas sólidas sem considerar os espaços porosos. Também chamada *Densidade Real*.

Ao contrário da Densidade do Solo (D_s), a densidade de partículas **independe da estrutura ou compactação do solo, pois é função unicamente do tipo de partículas sólidas do solo.**

Sendo assim, é natural que um solo mineral tenha densidade de partículas maior que um solo orgânico, porque **um determinado volume de matéria orgânica pesa muito menos que o mesmo volume de material mineral.**

É um *Atributo físico muito estável*, cuja magnitude depende exclusivamente da composição das partículas sólidas.

Fração	Mineral	Densidade g/cm ³	Forma
Areia	Quartzo	2,5-2,8	≈ Esférica ou Cúbica
Silte	Feldspatos (baixo intemperismo)	2,6-2,8	≈ Esférica ou Cúbica
Argila	Argilominerais	2,2-2,8	Laminar
	Óxidos de Ferro		
	• Hematita	4,9-5,3	≈ Esférica
	• Goethita	4,0-4,4	≈ Esférica
	Óxidos de Alumínio		
	• Gibbsita	2,4-2,6	≈ Esférica

Para a maioria dos solos minerais, a **densidade de partículas varia entre 2,6 a 2,8 g/cm³**, o que se deve à **predominância de minerais como quartzo, feldspatos, micas e coloides silicatados**, que normalmente possuem densidades dentro dessa faixa.

Apesar de a densidade de partículas ser uma importante característica do solo, ela por si só nada nos informa acerca da porosidade e estrutura do solo; indica somente **atributos referentes ao tipo de partículas sólidas e serve para o cálculo da densidade do solo.**

Ela é útil indiretamente para indicações sobre a facilidade de penetração de raízes e armazenamento de água.

É calculada pela seguinte fórmula:

$$D_p = \frac{P_s}{V_p}$$

Onde:

D_p = Densidade das partículas

P_s = Peso do solo seco em estufa

V_s = Volume das partículas sólidas do solo (sem considerar os poros).

8. DENSIDADE DO SOLO (Ds)

A densidade mais útil para as aplicações práticas é a **densidade do solo (Ds)**, porque inclui o espaço poroso.

No passado também denominada *Densidade Aparente e Densidade Global*.

Densidade do solo (Ds) baseia-se no volume natural do solo no campo. Relaciona o material sólido e o volume de poros sem água.

A densidade do solo (Ds) é definida como a massa por unidade de volume de solo seco. Esse volume inclui tanto as partículas sólidas como seu espaço poroso.

Sendo assim, ao contrário da densidade de partículas, **a densidade do solo pode variar em um mesmo horizonte de determinado solo porque depende da sua estrutura e compactação.**

De maneira geral, quanto maior a densidade do solo, maior será a compactação, menor a estruturação e porosidade total do solo, com conseqüente restrição para o crescimento do sistema radicular e desenvolvimento das plantas.

Variação dos valores médios da Densidade do Solo (Ds):

- solos argilosos: 1,0 a 1,4 g/cm³;
- solos arenosos: 1,3 a 1,8 g/cm³;
- solos orgânicos: 0,2 a 0,6 g/cm³.

8.1. Fatores que afetam a densidade e a porosidade do solo

Solos com maior proporção de espaços porosos em relação ao volume de sólidos, possuem menor densidade. **Portanto qualquer fator que influencie o espaço poroso afetará a densidade do solo.**

De maneira geral, quanto maior a densidade do solo, maior será a compactação, menor a estruturação e porosidade total do solo, com conseqüente restrição para o crescimento do sistema radicular e desenvolvimento das plantas.

Efeito da matéria orgânica

A matéria orgânica do solo compõe a fase sólida do solo, atuando fortemente na formação dos poros, especialmente os macroporos dos solos.

A matéria orgânica no solo está intimamente associada com a formação dos agregados e estrutura do solo, que interfere na porosidade e densidade do solo.

Efeito da textura e da estrutura do solo

Solos argilosos geralmente possuem menor densidade em relação aos arenosos.

Isso acontece porque as partículas dos solos de textura fina tendem a organizar-se em unidades estruturais porosas (agregação), sobretudo se possuem um teor de matéria orgânica adequado.

Nesses solos bem-agregados, existem poros entre e dentro dos agregados.

Essa condição garante um grande espaço poroso total, fazendo que a densidade do solo seja **baixa**.

Entretanto, em **solos arenosos, o conteúdo de matéria orgânica é baixo, as partículas sólidas estão menos dispostas a formarem agregados, e a densidade é normalmente mais alta do que nos solos de textura fina.**

Quantidades similares de poros grandes estão presentes em solos arenosos e em solos argilosos bem-agregados, mas os arenosos possuem menos poros no interior dos agregados e, por isso, apresentam menor porosidade total.

Efeito da profundidade do solo

A densidade do solo tende a aumentar à medida que aumenta a profundidade do perfil do solo.

Isso se deve, provavelmente ao menor teor de matéria orgânica, menor agregação, menos raízes e a uma compactação causada pela massa das camadas superiores.

Efeito do uso e manejo do solo na porosidade e densidade

Apesar dos efeitos benéficos a curto prazo, a movimentação do solo para cultivos, a longo prazo, provoca aumento da densidade do solo, devido à diminuição do teor de matéria orgânica e à degradação da estrutura.

Melhoria na porosidade e densidade do solo podem ser alcançadas por:

- Evitar o uso excessivo de máquinas;
- Evitar superlotação de animais;
- Adição de adubos orgânicos ou resíduos de culturas
- Adubação verde

- Adoção de sistemas de cultivo conservacionistas, tais como o Sistema de Semeadura Direta e também com rotação de cultura com pastagens (Sistemas Integrados de Lavoura-Pecuária-Floresta).

Nos sistemas de manejo conservacionistas há maior teor de matéria orgânica que mantém o solo mais poroso; reduz a compressão provocada pelo o peso das máquinas e pisoteio de animais, que o comprimem fechando seus poros; reduzem o impacto direto das chuvas de chuva que pulverizam o solo e fecham os macroporos, portanto a presença de macroporos em solos não cultivados é maior.

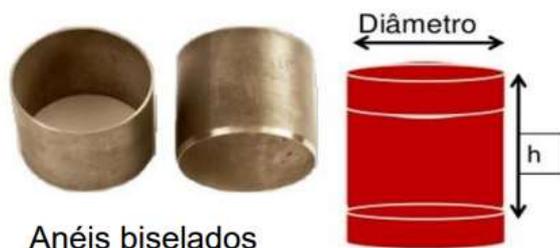
8.2. Determinação da densidade do solo

A densidade e a porosidade são características que estão muito relacionadas pois ambas são relações de massa e volume dos constituintes do solo.

E podem ser determinadas de várias formas, uma delas é pelo **Método do Anel Volumétrico**.

Princípio do método:

Coleta de amostras de solo com **estrutura indeformada** através de um anel de aço de bordas cortantes e volume interno conhecido → **anel volumétrico**.



Os métodos a campo e no laboratório são os mesmos utilizados para determinação da porosidade no item 6.3 desta Apostila.

Densidade do solo (D_s) é o peso seco do volume de solo no campo. Relaciona o material sólido e o volume de poros sem água.

$$D_s = \frac{P_s}{V_s}$$

Onde:

D_s = Densidade do solo inalterado

P_s = Peso do solo seco em estufa

V_s = Volume total do solo (sólido + poros)

Relaciona o material sólido e o volume de poros sem água. No passado também denominada *Densidade Aparente e Densidade Global*.

Unidades → D_s : g cm^{-3} ; kg dm^{-3} ou Mg m^{-3} .

9. TEXTURA DO SOLO

9.1. Definição

Textura do solo é a proporção relativa das classes de tamanho de partículas de um solo, também chamada de “Granulometria”.

Conhecer as proporções dos diferentes tamanhos de partículas existentes no solo é fundamental para o entendimento do comportamento e manejo do solo.

Durante a classificação do solo em um determinado local, a textura é muitas vezes a primeira e mais importante propriedade a ser determinada, pois a partir da textura, muitas conclusões importantes podem ser tomadas.

Além disso, no campo, a **textura de um solo não é prontamente sujeita a mudanças**, por isso é considerada uma propriedade permanente do solo.

A textura está relacionada com a descrição, identificação e classificação do solo; recomendação de adubação e correção do solo; estabelecimento de práticas conservacionistas; obras de engenharia e geotecnia, bem como funcionamento e qualidade do solo, tais como agregação, CTC, permeabilidade do solo, capacidade de retenção de água e nutrientes, drenagem, susceptibilidade à erosão, etc.

Desta forma, o solo pode ser considerado um material contendo **partículas unitárias de vários tamanhos**, variando em uma escala de seis ordens de magnitude, desde **matações (>1 m) até argilas submicroscópicas (<10⁻⁶ m)**.

Pesquisadores agrupam essas partículas nas **frações do solo de acordo com vários sistemas de classificação**:

- Sociedade Internacional de Ciência do Solo
- Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA)
- United State Public Roads Administration

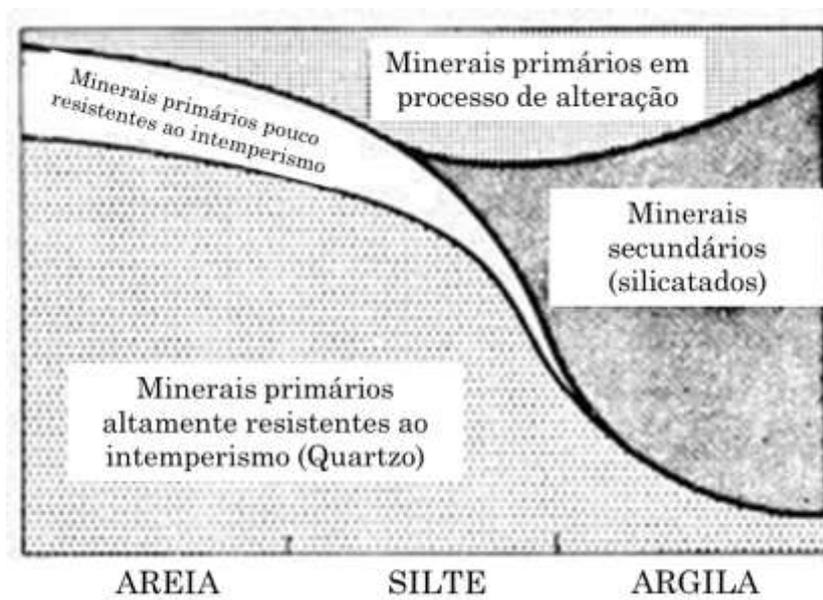
Tabela 1. Classificação granulométrica de acordo com a Sociedade Internacional de Ciência do Solo.

Fração granulométrica	Diâmetro das partículas (mm)
ARGILA	< 0,002
SILTE (ou limo)	0,002 – 0,02
AREIA FINA	0,02 – 0,2
AREIA GROSSA	0,2 – 2,0
CASCALHO	>2,0

Nos solos com aptidão agrícola, as partículas do solo concentram-se nas frações AREIA, SILTE E ARGILA. Esse intervalo é conhecido como **terra fina seca ao ar (TFSA)**.

As faixas de tamanho dessas frações não são puramente arbitrárias, pois refletem a composição mineralógica dessas frações e as principais mudanças nas características e propriedades físicas que elas imprimem ao solo.

Assim os minerais primários tendem a se concentrar nas frações areia (os mais resistentes) e silte (os menos resistentes, geralmente em processo de dissolução) e os MINERAIS SECUNDÁRIOS formam a fração argila do solo.



Relação da ocorrência dos tipos de minerais no solo em função de sua fração textural.

9.2. Determinação da textura do solo

A determinação da granulometria do solo pode ser realizada em laboratório ou no campo.

9.2.1. Análise granulométrica no laboratório

A determinação das diferentes porcentagens de areia, silte e argila pode ser feita com precisão no laboratório.

A amostra de solo utilizada no laboratório para realizar a análise granulométrica é a mesma amostra deformada utilizada para avaliação da fertilidade do solo.

Depois de coletada a amostra será enviada ao laboratório, e antes de ser analisada, **é seca ao ar, destorroada e passada em peneira de malha de 2 mm de diâmetro**, para retenção de raízes e partículas maiores que esse diâmetro.

A esse material dá-se o nome de **terra fina seca ao ar (TFSA), na qual são realizadas as análises físicas (para textura) e químicas (para avaliação da fertilidade).**

O material retido nessa peneira é lavado e pesado para o cálculo da quantidade de partículas maiores que 2 mm de diâmetro (cascalhos e calhaus) da amostra.

Método

- pesam-se 20 g de TFSA (isenta ou com pouca matéria orgânica).
- a qual é agitada fortemente com água contendo um dispersante químico (hidróxido de sódio ou hexafosfato de sódio).
- esse processo desfaz os pequenos grânulos (ou agregados) e faz as argilas e o silte ficarem suspensas no líquido, o que possibilita a separação pelo peso.
- Essa suspensão é depois de 10 minutos de agitação é passada por 2 peneiras (com malhas de 0,2 mm e 0,002mm), nas quais as areias (fina e grossa) ficam retidas separadamente para depois serem secas e pesadas.
- A argila e o silte que passam pela peneira são recebidos em um cilindro no qual depois de nova agitação, ficam em repouso por 4 horas.
- O SILTE por apresentar um a diâmetro maior, **COMEÇA A SE DEPOSITAR NO FUNDO DO CILINDRO.**
- Um tempo e uma profundidade são calculados com base na lei de Stokes para com auxílio de uma pipeta seja retirada uma amostra em que todo o silte já tenha decantado.

A campo a textura pode ser estimada pela sensação que o solo molhado e amassado oferece ao tato. No Campo, a textura é feita por estimativa, esfregando uma massa de solo úmida e homogeneizada entre os dedos. Depois que a amostra for suficientemente trabalhada entre os dedos, procura-se sentir com o tato, essa massa amassada e úmida (tema aula prática).

Classes texturais:

Além dos grupamentos texturais de solos, existem **13 classes texturais** que dão uma ideia mais clara a respeito da **distribuição de partículas, de acordo com seus tamanhos, e de suas características gerais relacionadas às propriedades físicas do solo.**

São elas: areia, areia franca, franco arenosa, franca, franco-siltosa, siltosa, argilo-arenosa, franco-argilosa, franco-argilo-siltosa, franco-argilo-arenosa, argilosa, argilo-siltosa (Figura 2), e são representadas num **triângulo textural**

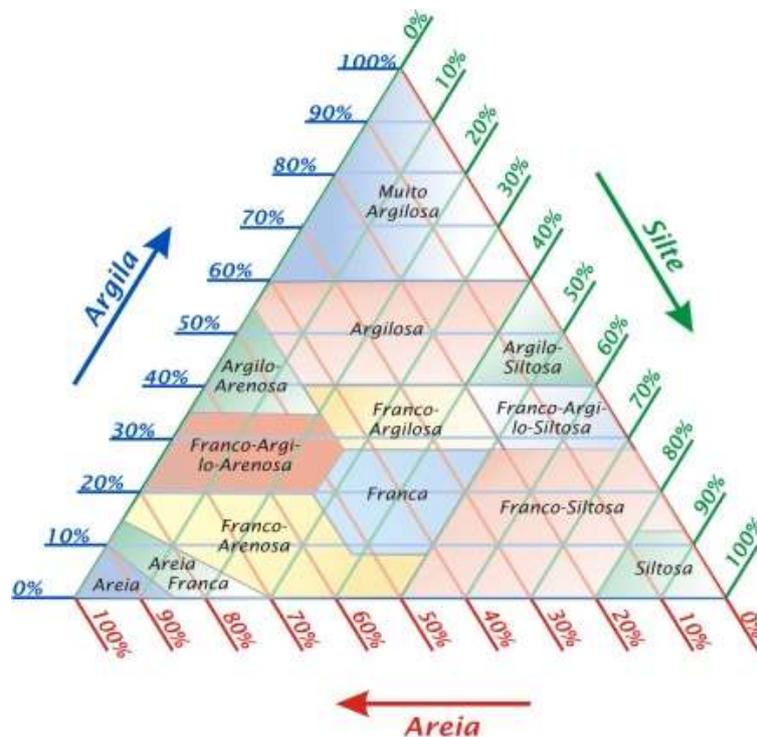


Figura 2. Classes texturais do solo.

A maior parte do nome das classes texturais é precedida do termo FRANCO.

FRANCO:

- O conceito central de solo franco é o de uma mistura de areia, silte e argila que apresenta as *propriedades* de cada fração em *proporções semelhantes*.
- Essa definição não significa que as três frações do solo estão em *quantidades iguais*.
- Essa irregularidade acontece em razão de uma percentagem relativamente pequena de argila ser suficiente para induzir as propriedades argilosas em um solo, enquanto pequenas quantidades de areia e silte tem pouca influência sobre o seu comportamento.
- um solo franco no qual predomina a fração areia se enquadra na classe textural areia-franca.
- Um solo com textura *franco-argilosa* tem apenas 26% de argila.
- contudo para ser classificado como *areia-franca* o solo deve ter pelo menos 45% de areia;
- e para ser classificado como *franco-siltosa* o solo deve ter pelo menos 50% de silte.

9.2.2. Determinação da textura do solo a campo

A avaliação da classe textural a campo pelo método do “tato” é de grande importância para as atividades a campo quando se faz levantamentos de solo, classificação do solo e qualquer outro levantamento em que a textura poderá ter um papel importante.

A campo a textura pode ser estimada pela sensação que o solo molhado e amassado

O método de campo consiste na verificação da sensação tátil quando se fricciona uma amostra úmida do solo entre os dedos. Depois que a amostra for suficientemente trabalhada entre os dedos e a mão, pelo tato, procura-se sentir como ela “desliza ou escorrega” entre os dedos e a mão, e tenta-se enrolar parte da massa. **Quanto mais finos e inteiriços forem os pequenos rolos de terra, tanto maior será o teor de argila.**

No Campo, a textura é feita por estimativa, esfregando uma massa de solo úmida e homogeneizada, do tamanho de um limão, entre os dedos, **até formar uma massa de consistência uniforme, adicionando água aos poucos.**

O solo deve estar bem úmido, mas não muito lamacento.

Depois enquanto comprime e amassa a amostra, **observe todas as propriedades associadas com o conteúdo de argila: como a maleabilidade, pegajosidade e plasticidade.**

Areia: sensação de aspereza, e não pegajoso. O material produz uma pasta sem consistência que NÃO forma rolinhos (não plástico).

Silte: sensação de maciez e sedosidade, e não pegajoso. O material só forma rolos com dificuldade, os quais são muito quebradiços (pouca plasticidade).

Argila: sensação de suavidade e pegajosidade. O material forma longos rolos que podem ser dobrados em argolas (plasticidade).

Textura média: sensação de aspereza e de plasticidade, razão pelo qual os rolos conseguem ser formados, embora se quebrem quando dobrados.

Esse método é rápido de campo e requer perícia e treino para ser executado com boa precisão.

É um método muito útil pois podemos fazer no campo de imediato.

9.3. Propriedades das frações granulométricas e implicações de manejo

AREIA:

- partículas minerais menores que 2 mm e maiores que 0,02 mm, **são denominadas areia.**
- **dão sensação áspera entre os dedos** (sensação de textura grosseira, arenosa);
- as partículas são em parte **visíveis a olho nu;**
- podem ser arredondados ou angulares, dependendo do grau de intemperismo e abrasão a que foram submetidas;
- como as partículas de areia são relativamente grandes, **os poros entre as partículas também são grandes (macroporos);**
- os macroporos não retém a água contra a força da gravidade, e portanto, drenam rapidamente e facilitam a entrada de ar, portanto baixa capacidade de retenção de água.
- tem baixa superfície específica, possuindo pouca capacidade de armazenamento nutrientes e água, e NÃO ADEREM UMAS ÀS OUTRAS em uma massa coerente.

Características do solo ARENOSO:

- BAIXA capacidade de retenção de água;
- BOA aeração e solos SOLTOS;
- ALTA drenagem;
- RÁPIDA decomposição da matéria orgânica e consequente BAIXO teor de MO no solo;
- RÁPIDO aquecimento;
- BAIXA susceptibilidade à compactação;
- MODERADA susceptibilidade à erosão eólica e BAIXA susceptibilidade à erosão hídrica (a menos que seja areia fina).

- Muito BAIXO potencial de expansão e contração;
- BOA aptidão para o cultivo logo após chuva;
- CTC baixa, quase que exclusivamente contribuição da matéria orgânica.

Implicações de manejo:

OS SOLOS ARENOSOS SÃO BEM AREJADOS E SOLTOS, MAS TAMBÉM DE BAIXA FERTILIDADE NATURAL E PROPENSOS À SECA.

São chamados de **solos leves**, por oferecerem menor resistência à passagem de equipamentos de preparo do solo (aração e gradagem)

A drenagem excessiva favorece a lixiviação de nutrientes, especialmente nitratos e potássio. Necessidade do parcelamento desses fertilizantes, quando recomendado em doses elevadas.

Baixa fixação de fósforo.

Empregar dose menor de herbicida do que aquela para solo argiloso devido à menor adsorção desse produto pelo colóide do solo.

Sob o mesmo nível de manejo, utilizar menor suporte, ou seja, menor número de cabeças de gado/ha.

SILTE:

- Partículas menores que 0,02 mm, E maiores que 0,002 mm de diâmetro são classificadas como silte.
- Embora similares a areia na forma e composição mineral, as partículas individuais de silte são tão pequenas que não são visíveis a olho nu.
- apresenta suave e sedoso ao toque, como a farinha.
- Os poros entre as partículas no material siltoso são bem menores (e muito mais numerosos) que os poros presentes entre as partículas de areia, deste modo, o silte retém água e permite uma menor taxa de drenagem.
- Entretanto, mesmo quando úmido, o silte por si só não exibe muita pegajosidade ou plasticidade (maleabilidade).
- A baixa plasticidade, coesão e capacidade de adsorção que algumas frações de silte apresentam é, em grande parte, devida a adesão de filmes de argila à superfície das partículas.

Características do solo SILTOSO:

- MÉDIA A ALTA capacidade de retenção de água;
- MÉDIA aeração;
- LENTA A MÉDIA drenagem;
- MÉDIA decomposição da matéria orgânica e consequente MÉDIO teor de MO no solo;
- MODERADO aquecimento;
- MÉDIA susceptibilidade à compactação;
- ALTA susceptibilidade à erosão eólica e erosão hídrica.
- BAIXO potencial de expansão e contração;
- MODERADA aptidão para o cultivo logo após chuva;
- CTC MÉDIA A ALTA.

Implicações de manejo:

Devido à sua baixa pegajosidade e plasticidade, solos com grandes quantidades de silte e areia fina podem ser **altamente suscetíveis à erosão eólica e hídrica**.

Solos siltosos são facilmente carregados por fluxos de água, num processo chamado “escoamento superficial”.

ARGILA:

- Partículas de argila são menores que 0,002 mm.
- Elas, portanto, possuem uma **grande área superficial específica**, apresentando uma enorme capacidade de adsorção de água e outras substâncias.
- Esta grande superfície de adsorção faz com que partículas de argila se mantenham unidas em uma massa dura e coesa depois de seca.
- Quando úmida, a argila é pegajosa e pode ser facilmente moldada (exibe alta plasticidade).
- Partículas de argila fina são tão pequenas que se comportam como coloides - se suspensas em água não se depositam prontamente.
- Os poros entre partículas de argila são muito pequenos e irregulares (microporos), ocasionando lento movimento de água e ar no solo.
- Em solos argilosos os poros entre as partículas são pequenos em tamanho, mas grande em número, permitindo que o solo retenha uma grande quantidade de água, embora uma boa parte desta possa não estar disponível para as plantas.

Características do solo ARGILOSO:

- ALTA capacidade de retenção de água;
- POUCA aeração;
- MUITO LENTA drenagem;
- LENTA decomposição da matéria orgânica e conseqüente ALTO A MÉDIO teor de MO no solo;
- LENTO aquecimento;
- ALTA susceptibilidade à compactação;
- BAIXA susceptibilidade à erosão eólica e erosão hídrica.
- MODERADO A MUITO ALTO potencial de expansão e contração;
- RESTRITA aptidão para o cultivo logo após chuva;
- CTC ALTA.

Implicações de manejo:

Solo menos suscetível à erosão em área não muito declivosa.

Drenagem boa ou acentuada.

Chamados de solos pesados, já que oferecem resistência à passagem de equipamento para o preparo do solo.

Em condições úmidas há grande aderência da massa do solo no implemento agrícola.

Formação de grandes torrões de solo, necessitando-se maior número de gradagens para desfazer esses torrões.

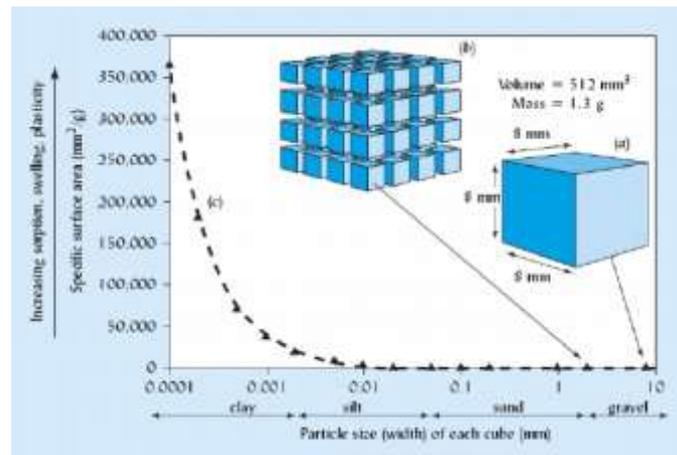
Reduzir o número de passagens com as máquinas para atenuar o efeito da compactação, diminuindo os danos às plantas.

9.4. Propriedades coloidais

As frações mais finas dos solos conferem as chamadas propriedades de superfície.

Um aspecto de importância fundamental para a definição das propriedades dos solos é o aumento da superfície exposta das partículas por unidade de peso de solo, ou superfície específica, associada à diminuição do diâmetro das partículas.

Superfície específica é a relação entre a área superficial de um material de massa conhecida e o tamanho de suas partículas.



Considere um único cubo do tamanho de um cascalho com 8 mm de lado e 1,3 gramas de massa (a). Cada lado possui 64 mm² de área superficial. O cubo tem seis lados, com área superficial total de 384 mm² (6 lados x 64 mm²) ou uma superfície específica de 295 cm².g⁻¹ (384/1,3). Se o mesmo cubo fosse dividido em cubos menores de modo que cada um tenha 2 mm de lado (b), então a mesma massa do material seria agora representado por 64 cubos menores (4 x 4 x 4), cubos do tamanho de grãos de areia. Cada face de cada cubo pequeno teria 4 mm²(2 mm x 2 mm) de área superficial, resultando em 24 mm² de área superficial para cada cubo (6 lados x 4 mm² por lado). A área superficial total seria de 1536 mm² (24 mm² por cubo x 64 cubos), ou uma superfície específica de 1182 mm².g⁻¹ (1536/1,3). Esta é quatro vezes maior do que a área superficial do cubo maior.

Assim partículas de argila, que são muito pequenas, tem área superficial milhares de vezes maior que a mesma massa de partículas de silte e centenas de milhares de vezes maior que a mesma massa de areia.

Influência da área superficial em outras propriedades do solo

À medida que diminui o diâmetro das partículas, a área superficial específica e propriedades relacionadas aumentam significativamente.

1. Além das pequenas quantidades de água retida nos pequenos poros do solo, a água também é retida como pequenos filmes aderidos à superfície das partículas do solo. Quanto maior a área superficial, maior a capacidade de retenção de água.

2. Gases e substâncias químicas são atraídos e adsorvidos pela superfície das partículas minerais. Quanto maior a área superficial, maior a capacidade de retenção de nutrientes e outras substâncias químicas do solo.

3. O processo de intemperismo ocorre na superfície das partículas minerais, liberando elementos constituintes na solução do solo. Quanto maior a área superficial, maior a taxa de liberação de nutrientes para as plantas.

4. As superfícies das partículas minerais muitas vezes apresentam tanto cargas negativas como algumas cargas eletromagnéticas positivas, então estas superfícies das partículas e filmes de água entre eles tendem a se atrair. Quanto maior a área superficial, maior a tendência das partículas manterem-se unidas em uma massa coesa ou como pequenos agregados.

5. Os microrganismos tendem a se desenvolver e colonizar as superfícies das partículas. Por estas e outras razões, reações microbiológicas nos solos são altamente afetadas pela área superficial específica.

9.5. Modificações das classes texturais

Processos pedológicos como iluviação, erosão e intemperismo dos minerais, que atuam durante muito tempo, podem modificar a textura de certos horizontes de um solo.

No entanto, normalmente, AS PRÁTICAS DE MANEJO NÃO ALTERAM A TEXTURA DO SOLO.

10. ESTRUTURA DO SOLO

Estrutura do solo refere-se ao padrão de arranjo ou aglomerado das partículas sólidas unitárias dos solos, em partículas compostas ou agregados. Ou seja, essas partículas unitárias se unem para formar unidades estruturais, chamadas **agregados** (ou *peds*).

As partículas sólidas do solo podem ser organizadas e visualizadas em unidades maiores, e essa organização se dá pelo processo denominado *agregação*, o qual forma os AGREGADOS.



A organização das partículas e agregados é conhecida como ESTRUTURA DO SOLO. É o principal fator que influi no aumento da porosidade.

As unidades estruturais (agregados) não devem ser confundidas com **torrões**, que são **blocos comprimidos e coesos** de material do solo, formados artificialmente quando um solo muito úmido é arado ou gradeado.

A maioria dos grandes agregados é composta e pode ser desmanchada em agregados menores.

A rede de **poros** que existe dentro e entre os **agregados influencia bastante o movimento de ar e água, o crescimento das raízes e atividades biológicas**, incluindo acúmulo e decomposição de matéria orgânica.

A agregação diz respeito à forma (ou geometria) como as partículas do solo estão agrupadas. Portanto essa é uma característica macroscópica, que pode ser avaliada a olho nu.

10.1. Tipos de estrutura

Os agregados têm formato e tamanho variados e estão separados um dos outros por fendilhamentos.

Para examinar a estrutura do solo é necessário retirar com uma faca um bloco de terra de um horizonte e calmamente, selecionar com os dedos aqueles pedaços que, em condições naturais, estão fracamente ligados uns aos outros.

Depois de separados, verifica-se sua: Forma (ou tipo); Tamanho; E Distinção (ou grau de desenvolvimento).

A) FORMA DA ESTRUTURA:

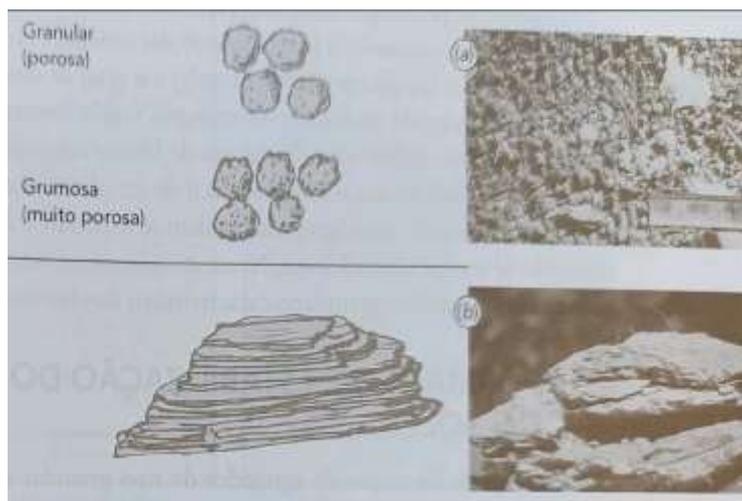
Os 4 principais tipos de unidades estruturais do solo são: *granular*, *laminar*, *prismática e em blocos*:

Granular:

- ocorre quando as partículas se agrupam em unidades de aspecto arredondado.
- quando esses grânulos são muito porosos, usa-se o termo “grumos”;
- característica de horizontes mais superficiais (A)
- é formada pela íntima mistura de húmus com partículas minerais e organismos vivos, como minhocas e fungos. **Esse é um dos maiores benefícios da matéria orgânica nos solos.**

Laminar:

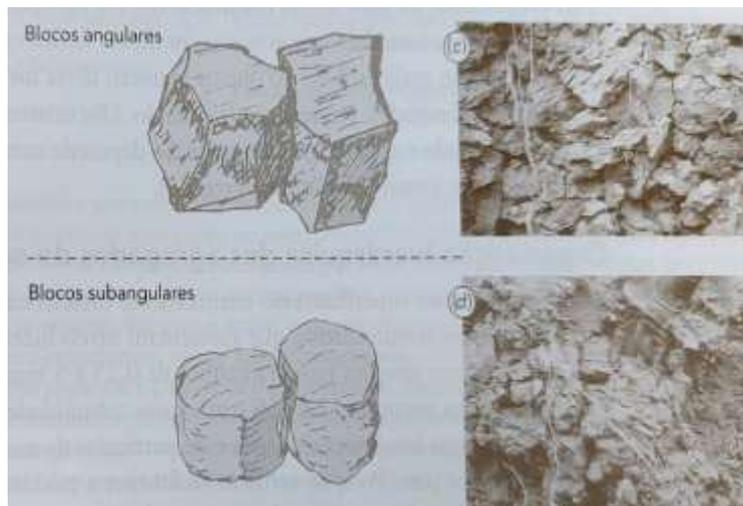
- **são aqueles em que as faces tem aspecto plano e as dimensões laterais são maiores que as verticais.**
- não é um tipo comum, mas pode ocorrer em horizontes compactados pelas rodas de máquinas agrícolas, passagem de arado ou pisoteio de animais.



Blocos:

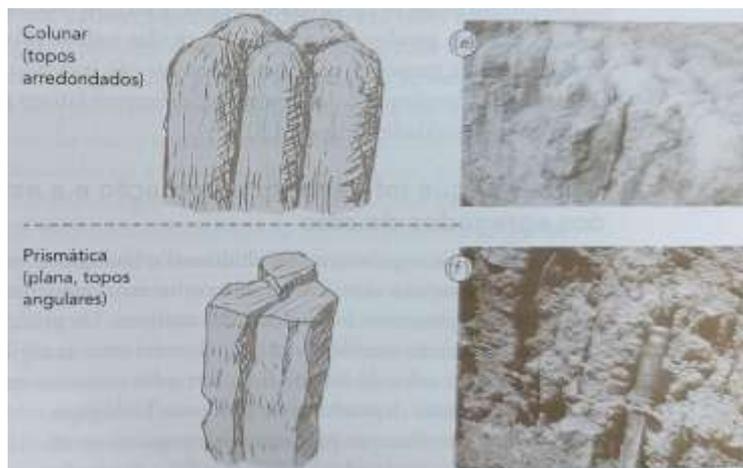
- tem a maior parte das suas faces planas, mas as dimensões horizontais são similares às verticais

- comum nos horizontes B, particularmente em regiões úmidas.
- pode ocorrer nos horizontes A



Prismática:

- frequentemente encontrada no horizonte B
- mais comum em solos de regiões áridas e semi-áridas.



B) TAMANHO DOS AGREGADOS:

É em função das dimensões das unidades estruturais: **muito pequena, pequena, média, grande e muito grande.**

Essas diferentes classes de estrutura não tem o mesmo limite de diâmetro, pois seus diâmetros variam com o tipo de estrutura.

ESTRUTURA LAMINAR

- Laminar muito pequena: <1mm.
- Laminar pequena: de 1 a 2 mm.
- Laminar média: de 2 a 5 mm.
- Laminar grande: de 5 a 10 mm.
- Laminar muito grande: >10 mm.

ESTRUTURA PRISMÁTICA

- a) Sem a cabeça arredondada — ESTRUTURA PRISMÁTICA
- (1) Prismática muito pequena: < 10 mm.
 - (2) Prismática pequena: de 10 a 20 mm.
 - (3) Prismática média: de 20 a 50 mm.
 - (4) Prismática grande: de 50 a 100 mm.
 - (5) Prismática muito grande: > 100 mm.
- b) Com cabeça arredondada — ESTRUTURA COLUNAR
- (1) Colunar muito pequena: < 10 mm.
 - (2) Colunar pequena: de 10 a 20 mm.
 - (3) Colunar média: de 20 a 50 mm.
 - (4) Colunar grande: de 50 a 100 mm.
 - (5) Colunar muito grande: > 100 mm.

ESTRUTURA EM BLOCOS

- I. Faces planas, contendo a maioria dos vértices *ângulos vivos* —
ESTRUTURA ANGULAR EM BLOCOS.
- (1) Blocos angulares muito pequenos: < 5 mm.
 - (2) Blocos angulares pequenos: de 5 a 10 mm.
 - (3) Blocos angulares médios: de 10 a 20 mm.
 - (4) Blocos angulares grandes: de 20 a 50 mm.
 - (5) Blocos angulares muito grandes: > 50 mm.
- II. Mistura de faces arredondadas e planas com muitos vértices arredondados — ESTRUTURA SUBANGULAR EM BLOCOS.
- (1) Blocos subangulares muito pequenos: < 5 mm.
 - (2) Blocos subangulares pequenos: de 5 a 10 mm.
 - (3) Blocos subangulares médios: de 10 a 20 mm.
 - (4) Blocos subangulares grandes: de 20 a 50 mm.
 - (5) Blocos subangulares muito grandes: > 50 mm.

ESTRUTURA GRANULAR

- I. Faces planas, contendo a maioria dos vértices *ângulos vivos* —
ESTRUTURA ANGULAR EM BLOCOS.
- (1) Blocos angulares muito pequenos: < 5 mm.
 - (2) Blocos angulares pequenos: de 5 a 10 mm.
 - (3) Blocos angulares médios: de 10 a 20 mm.
 - (4) Blocos angulares grandes: de 20 a 50 mm.
 - (5) Blocos angulares muito grandes: > 50 mm.
- II. Mistura de faces arredondadas e planas com muitos vértices arredondados — ESTRUTURA SUBANGULAR EM BLOCOS.
- (1) Blocos subangulares muito pequenos: < 5 mm.
 - (2) Blocos subangulares pequenos: de 5 a 10 mm.
 - (3) Blocos subangulares médios: de 10 a 20 mm.
 - (4) Blocos subangulares grandes: de 20 a 50 mm.
 - (5) Blocos subangulares muito grandes: > 50 mm.

C) GRAU DE DESENVOLVIMENTO:

Outra característica a ser levada em conta diz respeito ao grau de estrutura, **que se refere às condições de coesão dentro e fora dos agregados.**

Os termos usados para o grau de estrutura são os seguintes:

Sem estrutura:

- **é a condição na qual não se observa agregação ou arranjo ordenado definido.**
- é chamada MASSIVA ou MACIÇA quando coerente e de GRÃO SIMPLES quando não coerente.

Fraca:

- o grau de agregação que se caracteriza por agregados ligeiramente formados de difícil observação no local.
- este grau pode ainda estar dividido, quando necessário, em **muito fraca e moderadamente fraca.**

Moderada:

- grau de estrutura que apresenta agregados formados e distintos, os quais são moderadamente duráveis e evidentes, porém que não são distintos no solo natural.
- o solo neste grau de estrutura, quando se desagrega, se desfaz em uma mistura de agregados numerosos claramente definidos e completos, e alguma material não agregado.

Forte:

- É o grau de estrutura que se caracteriza por agregados resistentes à deformação e são totalmente evidentes em solos não perturbados;
- quando o solo neste grau de estrutura for retirado do perfil, ele está constituído principalmente por agregados inteiros, incluindo uns poucos quebrados e nenhum ou muito pouco material não agregado.
- este grau pode ser dividido, se necessário, em **moderadamente forte ou muito forte.**

10.2. Feições da superfície dos agregados

A superfície dos agregados do solo por vezes está **revestida de películas**, que podem ser observadas por lentes de bolso.

Quando essas películas são de ARGILA, nós a chamamos de cerosidade.

Cerosidade é o revestimento quase sempre de argila acumulada sobre os agregados, que aparenta ser uma espécie de “filme” do material, *o qual apresenta um brilho com aspecto ceroso.*

Ocorre na superfície dos agregados do horizonte B, por vezes no C, e pode ser mais bem visualizada em lâminas delgadas utilizadas para estudos de micromorfologia.

É uma característica muito importante para fins de CLASSIFICAÇÃO DO SOLO.

A cerosidade mais comum é aquela proveniente de revestimento de argilas e que assim ficou devido à migração do horizonte A e/ou E de argila em suspensão na água que infiltra no solo, e sua deposição em torno dos agregados do horizonte B.

Quando um horizonte apresenta essas feições, *dizemos que é um horizonte de acumulação ou horizonte iluvial.*

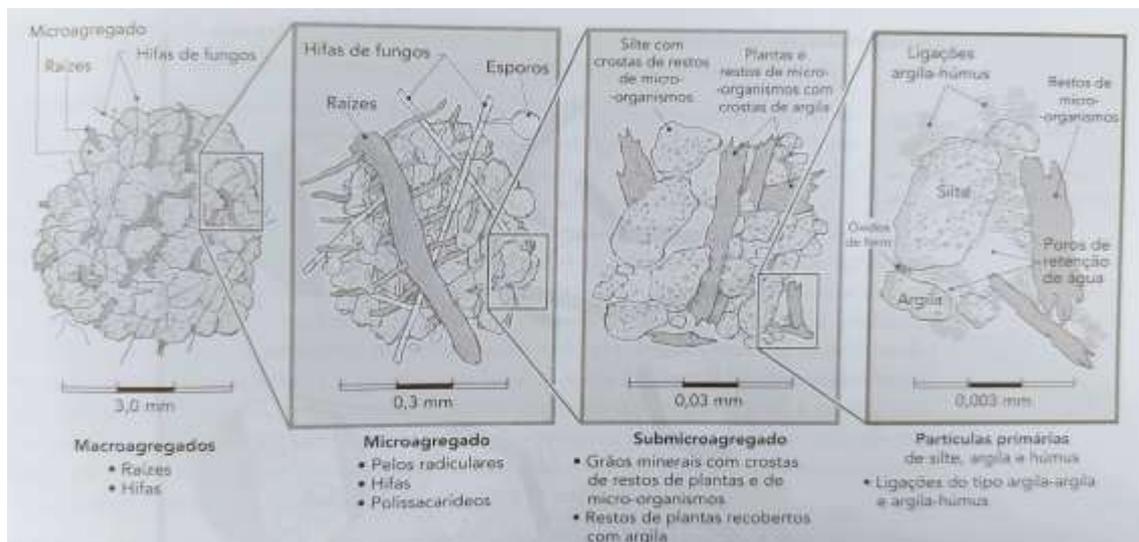
A classificação é feita conforme dois aspectos:

- Grau de desenvolvimento: fraca, moderada ou forte
- Quantidade: pouco, comum ou abundante

10.3. Organização hierárquica dos agregados

Agregados maiores (macroagregados) são compostos de aglomerados de agregados menores (microagregados) compondo uma **hierarquia de agregação**.

Essas subunidades por sua vez são compostas por minúsculas placas laminares de argila e de partículas de matéria orgânica.



Macroagregado composto por microagregados unidos hifas de fungos e raízes finas.

Microagregado composto por partículas de areia fina, pequenos aglomerados minerais (de argila e silte) e substâncias orgânicas unidas por radicelas, hifas de fungos e gomas de microorganismos.

Submicroagregado muito pequena composto por partículas de silte fino, cobertas por M.O. e pequenos fragmentos de restos de plantas e microorganismos.

Partículas primárias aglomerados de partículas de argila, interagindo com óxidos de Fe e Al, e polímeros orgânicos, formando ligações do tipo argila-argila e argila-húmus

10.4. Formação e estabilidade dos agregados

Processos **físico-químicos** (ou abióticos) e **biológicos** influem na formação dos agregados.

Os processos Físico-químicos:

- Estão associados principalmente com as argilas.
- e portanto, são + importantes em solos de textura fina.

Biológicos:

Em solos arenosos (pouca argila) a agregação é quase inteiramente dependente de processos biológicos.

a) Etapas da formação dos agregados

A formação de agregados é ocasionada por vários fatores, que podem ser visualizadas em 3 etapas: Floculação, Cimentação e Aparecimento de fendas.

(1) **Floculação**: atração física entre a argila e moléculas orgânicas: 1ª etapa da agregação (aproximação de partículas).

(2) **Cimentação**: ligação entre as partículas por ação de agente cimentantes.

Exceto em solos muito arenosos, o processo de agregação se inicia com a **floculação** das partículas de argilas em agregados **microscópicos, ou flocos**.

b) Agentes cimentantes

Quando 2 partículas de argila se aproximam o suficiente, cátions (**Ca²⁺, Fe²⁺ e Al³⁺**) situados ao redor delas atraindo cargas negativas das 2 partículas, servindo como ponte para formação da ligação **argila-argila**.

Cátions polivalentes (**Ca²⁺, Fe²⁺ e Al³⁺**) também podem se unir às moléculas de húmus, permitindo que elas se liguem às superfícies das argilas para formar complexo **argila-húmus**.

O complexo **argila-húmus** formam pontes que se ligam umas às outras e às partículas de silte fino, formando as partículas primárias dos agregados.

Esses complexos, ajudados pela influência da floculação dos cátions polivalentes e do húmus, **promovem a longo prazo a estabilidade dos microagregados menores (<0,25 mm)**.

Em certos solos argilosos altamente intemperizados, a ação cimentante dos óxidos de Fe e outros compostos produz pequenos agregados muito estáveis, chamados **pseudoareias**.

Quando cátions monovalentes, especialmente o Na^+ , são dominantes, como ocorre em alguns solos de regiões áridas e semi-áridas, **as forças de atração não são capazes de superar as forças de repulsão que ocorrem entre as partículas carregadas negativamente**. Portanto, as lâminas de argila não se aproximam o suficiente para floculação, **permanecendo dispersa → fazendo com o solo se torne sem estrutura, impermeável à água e ao ar, em uma condição pouco adequada para o crescimento das plantas**.

c) Atividade dos Organismos do solo na agregação

Dentre os processos biológicos de agregação, os mais importantes são:

1. Minhocas e cupins: Atividades de escavação e moldagem.
2. Raízes e hifas de fungos: exsudam polissacarídeos e outros compostos pegajosos, unindo partículas do solo e os pequenos microagregados em aglomerados maiores (**macroagregados**).
3. Produção de **gomos** por microorganismos (fungos e bactérias): eficientes para estabilidade de agregados maiores, **pois secretam proteínas denominadas gomas**, que são agentes cimentantes

d) Influência da Matéria orgânica na agregação

É o principal agente responsável pela formação e estabilidade dos agregados.

Fornece substrato para as atividades dos organismos do solo.

Partículas minerais do solo → são revestidas com resíduos de plantas e outros materiais orgânicos → **interagem quimicamente com partículas de argilas silicatadas e óxidos de Fe e Al** → formando pontes entre as partículas individuais do solo, unindo-as em agregados estáveis.

e) Condicionadores de solo

O gesso pode melhorar as condições físicas de muitos tipos de solo. Os produtos que contêm gesso na forma solúvel fornecem **eletrólitos (cátions e ânions) suficientes para provocar a floculação e inibir a dispersão dos agregados**, evitando o encrostamento superficial.

Da mesma forma, o gesso pode reduzir a resistência de camadas subsuperficiais endurecidas, permitindo maior penetração de raízes.

Alguns polímeros orgânicos podem estabilizar a estrutura do solo.

Várias espécies de algas que vivem próximo à superfície produzem compostos suficientes para estabilização dos agregados.

Vários materiais húmicos são comercializados por causa de seus efeitos condicionadores no solo.

8.5. Sistemas de manejo do solo e manutenção de sua estrutura

O preparo do solo consiste no **conjunto de operações mecânicas que antecede a semeadura/plantio da cultura.**

a) Sistema de Preparo convencional

O Preparo inicial do solo é caracterizado pelo uso da aração e gradagem para revolvimento superficial do solo, incorporando resíduos da cultura na camada arável.

Entretanto a mobilização do solo para o plantio provoca a **DESAGREGAÇÃO DA ESTRUTURA DO SOLO** (destruição dos agregados).

O solo mais solto e poroso para facilitar a germinação e crescimento de raízes → é também mais susceptível ao desprendimento e carregamento de partículas de solo pela água da chuva (enxurrada).

A longo prazo, a incorporação do solo:

- Acelera a oxidação da M.O. superficial,
- Enfraquece a estabilidade dos agregados,
- Reduz a macroporosidade e a drenagem da água no solo.

Durante as chuvas pesadas, as gotas de chuva caem diretamente sobre a superfície do solo descoberto e exposto, desmanchando os agregados. Depois que esses agregados são desfeitos, **pequenas partículas de argila tendem a ser levadas para dentro dos poros do solo**, reduzindo a macroporosidade, **formando uma camada delgada, a qual chamamos de SELAMENTO SUPERFICIAL, que reduz a infiltração de água e aumenta as perdas por erosão.**

Portanto, quanto mais protegida pela cobertura vegetal estiver a superfície do solo, menor será o impacto da gota da chuva diretamente sobre o solo.

A cobertura do solo na superfície:

- amortece a energia do impacto das gotas da chuva;
- reduzindo a destruição dos agregados, a obstrução dos macroporos e selamento superficial.
- reduz a velocidade de escoamento superficial, reduzindo erosão.

Os sistemas de manejo do solo em áreas tropicais devem:

- manter a maior cobertura vegetal possível;
- propiciar a maior capacidade de infiltração de água;
- assegurar a máxima rugosidade da superfície

Existem sistemas de manejo de solo que permitem reduzir ou até eliminar a mobilização do solo. **Sempre que a cultura e o ambiente de produção permitir, DEVE-SE BUSCAR ESSE TIPO DE MANEJO DO SOLO.**

Pensando nisso, foram desenvolvidas para as condições tropicais, os chamados **sistemas conservacionistas de manejo de solo**, visando justamente à redução da exposição da superfície do solo e a desagregação excessiva do solo exposto.

b) Sistema de Preparo conservacionista

São caracterizados pelo predomínio de resíduos vegetais sobre o solo, oferecendo proteção contra erosão (*práticas conservacionistas*).

São chamados sistemas conservacionistas: **cultivo mínimo (ou preparo reduzido)**, o **Sistema de Semeadura Direta (ou Plantio Direto)** e os **Sistemas Integrados** (Lavoura-Pecuária-Floresta).

Cultivo Mínimo

O **Cultivo Mínimo** refere-se à eliminação de uma ou mais operações de preparo do solo para semeadura, comparado com o sistema convencional, **mesmo assim deixam uma grande quantidade de resíduos sobre o solo.**

Sistema de Semeadura Direta

O **Sistema de Semeadura Direta** refere-se à semeadura na **ausência de mobilização prévia do solo, sem que haja aração ou gradagem, mantendo os restos da cultura na superfície do solo.**

PREMISSAS do Sistema de Plantio Direto (SPD):

- Não revolvimento do solo;
- Manutenção de matéria orgânica na superfície;
- Rotação de culturas;
- Controle de plantas daninhas com herbicidas.

Sistemas Integrados de Produção

Os sistemas integrados de produção referem-se à diversificação, rotação, consorciação e/ou sucessão das atividades de agricultura e de pecuária e/ou floresta dentro da propriedade rural e de forma harmônica.

Trata-se de um sistema sinérgico em que há benefícios para ambas as atividades (Alvarenga, 2004; Balbino et al., 2011).

Pode existir na propriedade em diferentes combinações:

- *Integração Lavoura-Pecuária (ILP)*;
- *Integração Lavoura-Floresta (ILF)*
- *Integração Pecuária-Floresta (IPF)*
- *Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF)*

Sendo que a Integração Lavoura-Pecuária é a mais difundida no Brasil.

O maior benefício da **integração lavoura-pecuária (ILP)** é a **capacidade de ajuda mútua entre pecuária e lavoura de grãos**.

Fundamento: manejo das plantas (forrageiras e culturas comerciais) e dos animais, de forma que não sejam produzidos efeitos restritivos ao desenvolvimento radicular das plantas e, ao mesmo tempo, que, no sistema, seja **introduzida uma quantidade de resíduos** suficiente para a consolidação do SPD.

Essa premissa conservacionista também deve atentar para o fato de que a **pastagem deve ser utilizada para a alimentação animal**, o que exige maior controle sobre os resíduos remanescentes.

A pastagem/forrageira, quando bem manejada:

- Mantem o solo coberto,
- apresenta elevada capacidade de aporte de resíduos vegetais ao solo → pode manter ou até aumentar o teor de matéria orgânica do solo, e
- É mais eficiente na reciclagem de nutrientes do que as culturas anuais;
- Promove melhorias nas propriedades químicas e físicas do solo.

Orientações gerais para o manejo do solo:

Um solo com melhor estrutura suporta melhor a precipitação, a ação de máquinas e implementos agrícolas e também permite uma melhor produção das culturas.

Portanto, para manter o solo em condições de alta produtividade, é importante manter a estrutura em condições adequadas. Isso se consegue com:

- a) Evitar ou reduzir o revolvimento do solo → para diminuir a oxidação da M.O.
- b) Reduzir a perda restos culturais ou adicionar resíduos orgânicos → para preservar a matéria orgânica do solo, que estabiliza os agregados e estimula a atividade de minhocas e de microorganismos do solo .
- c) Controle da erosão, que tende a remover as partículas mais finas e mais ricas em M.O. → fundamentais para agregação.
- d) Minimizar compactação do solo.
- e) Uso de rotação de culturas com plantas com sistema radicular volumoso (gramíneas) que favorece a estabilização dos agregados.
- f) Uso de adubos verdes que possam favorecer a ação de raízes e da matéria orgânica para melhorar a estrutura do solo.

11. COMPACTAÇÃO DO SOLO

11.1. Definição e implicações

Compactação do solo é o processo pelo qual as partículas do solo e agregados são rearranjados, tendo suas forma e tamanho alterados. Este rearranjo resulta no decréscimo do espaço poroso e aumento da densidade do solo.

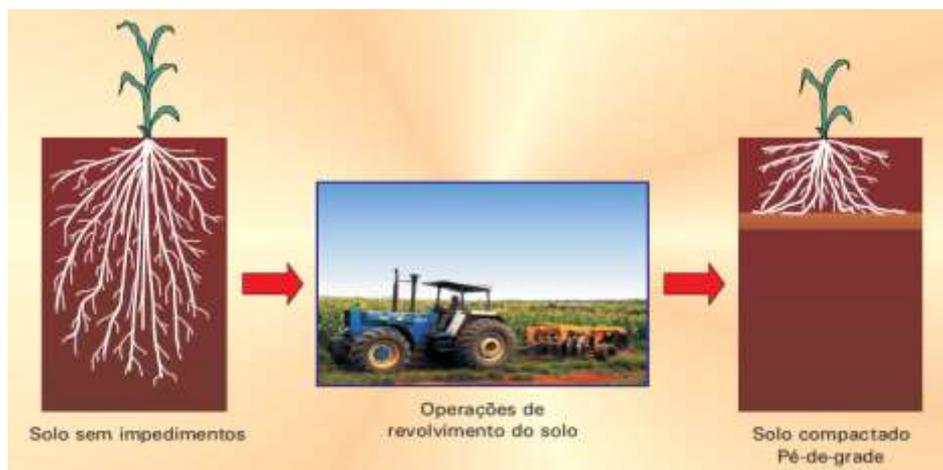
A compactação é o nome dado ao fenômeno de alteração da estrutura do solo pela aplicação de pressões acima de sua resistência, implicando na redução do espaço poroso, com perda inicial da macroporosidade e subsequente redução da microporosidade ao longo do processo a densidade se eleva.

A aplicação de pressões elevadas altera a estrutura do solo e o seu volume total, sendo que esta alteração ocorre por **redução do volume de poros**.



Como a massa de sólidos não se altera, a redução do volume de solo implica **na elevação da densidade do solo**.

Estas pressões podem ser exercidas de diversas formas, o mais comum é que sejam aplicadas pelo pisoteio de animais, no caso desse tipo de atividade produtiva, e pelo tráfego de máquinas agrícolas em praticamente todas os sistemas mecanizados.



O solo compactado resulta na diminuição no crescimento das raízes em profundidade, predispondo a planta à morte em curtos períodos de seca, no acúmulo

de água na superfície do solo impossibilitando a respiração das raízes e favorecendo o processo de erosão hídrica do solo.

O espaço poroso deve ser suficiente para que as trocas gasosas do sistema radicular ocorram. A presença de um mínimo de 10% de macroporos no solo assegura condição satisfatória.

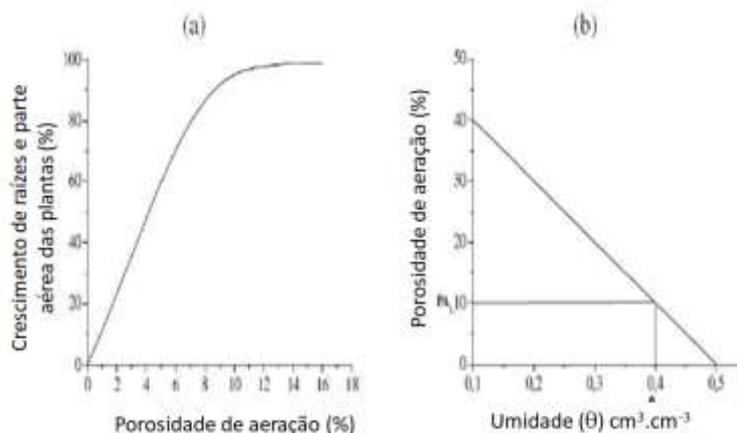


Figura 1. Relação entre porosidade de aeração (PA) e (a) crescimento de plantas e (b) umidade do solo (θ).

11.2. Problemas causados pela compactação do solo

O problema que a compactação do solo pode causar é o aumento da resistência mecânica ao crescimento em profundidade das raízes das plantas, redução de ar no solo (raízes podem morrer por asfixia) e da disponibilidade de água e nutrientes para as plantas. Assim, a produção das culturas pode sofrer séria redução.

Com a redução da porosidade e aumento da densidade do solo impostas pela compactação: **começa a aumentar a resistência mecânica do solo ao crescimento de raízes.**

A resistência mecânica imposta pelo solo não deve ser superior àquela crítica ao crescimento radicular.

As raízes penetram no solo, pressionando seu caminho por entre os poros. Se o poro é muito pequeno para acomodar o ápice da raiz, esta tem que empurrar as partículas do solo, aumentando assim o diâmetro do poro. Até certo ponto, a própria densidade restringe o crescimento radicular, à medida que a raiz encontra poros menores e de menor número. Porém a penetração das raízes também é limitada pela **resistência à penetração**, uma propriedade de solo que faz com que resista à deformação.

11.3 Efeitos dos Sistemas de Manejo na compactação do solo:

a) Sistema de cultivo convencional

O Sistema convencional de preparo do solo é caracterizado pela mobilização total da superfície da área, em que **toda a superfície é revolvida de modo periódico**, ou seja, continuamente para cada cultura ou a cada ciclo de produção.

Promove a incorporação quase total dos resíduos presentes na superfície antes da operação, **permanecendo menos de 5% de resíduos expostos** após sua realização.

Essa mobilização é realizada com equipamentos tais como arado e grade.

O uso desses equipamentos de preparo do solo ou o tráfego intenso de máquinas pesadas sobre as áreas de cultivo podem formar uma camada compactada abaixo da camada arável (**compactação subsuperficial**), chamada **pé-de-grade ou pé-de-arado, quando a compactação tende a ocorrer nas camadas imediatamente abaixo da operação dos equipamentos de revolvimento (arado e grade)**. Impedindo o crescimento de raízes em profundidade e a percolação de água, que é o movimento de água descendente desta no perfil do solo, tornando as plantas mais susceptíveis a veranicos ou falta de aeração em excesso de chuvas.

A aração, o pastoreio e o tráfego de máquinas por vezes compactam o solo até suas camadas mais profundas. A restauração dessas camadas, para retorná-las ao seu estado natural de porosidade e friabilidade, pode necessitar muitos anos de manejo reparador.



Suco de erosão em área compactada (a) e detalhe do sulco de erosão, mostrando a ocorrência do pé-de-grade (seta) (b).

A erosão hídrica do solo é outro problema que a compactação do solo em lavouras de sistemas convencionais tem forte participação. A camada compactada impede o movimento descendente de água no perfil do solo e, combinado com o encrostamento na superfície do solo arado e gradeado (causado pelo impacto direto da gota de chuva no solo nu, sem palha ou cobertura vegetal), resulta em acúmulo de água

na superfície do solo e, assim, **surge a enxurrada**, que pode formar sulcos de erosão carreando partículas de solo, plântulas e adubos para os rios e lagos. Rios e lagos contendo altas quantidades de partículas de solo causam **mais gastos no tratamento da água que abastece as cidades** (Hernani et al., 2002) e **podem sofrer processo de eutrofização pelos nutrientes** contidos nos adubos carregados pela enxurrada e depositados nesses reservatórios de água doce.

b) *Sistemas de plantio direto:*

Esse sistema consiste em depositar a semente no solo **na ausência de preparo primário e secundário do solo, sem que haja aração ou gradagem, mantendo por consequência os restos de cultura na superfície do solo.**

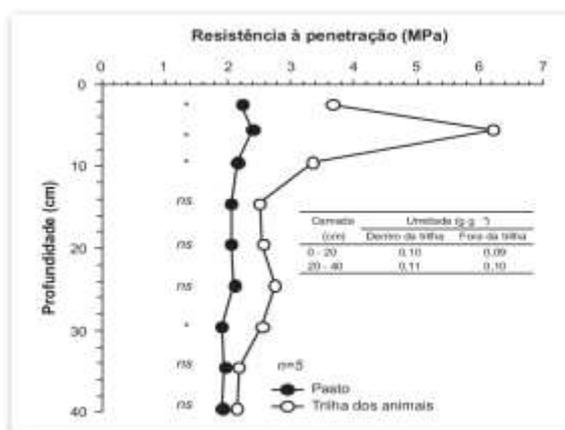
Neste caso, em áreas iniciais no SPD ou com baixo volume de resíduos vegetais na superfície, o solo pode apresentar compactação próxima à superfície, devido ao tráfego de máquinas agrícolas nas operações de semeadura, pulverizações e colheita, levando a problemas na germinação de sementes e infiltração de água no solo.

Estas situações são agravadas se o trânsito de máquinas ocorrer em solo molhado.

Entretanto, em solo sob plantio direto muitas vezes o que se observa é um solo mais firme na sua camada mais superficial quando seco, mas não impede o enraizamento das culturas, a continuidade dos poros é mais evidente pela alta quantidade de material orgânico associada à atividade microbiana e também é responsável por uma maior retenção de água sendo por isto até favorável (Derpsch et al., 1991).

c) *Áreas de pastagem:*

Em áreas de pastagem, o pisoteio de animais pode provocar compactação nos primeiros 10 cm de profundidade.



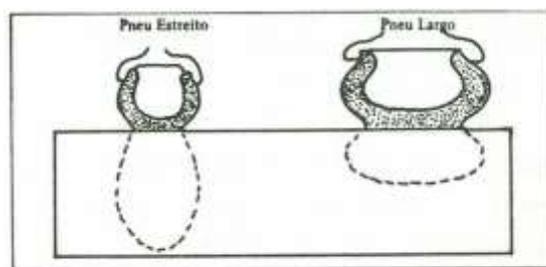
Comparação de perfis de resistência do solo à penetração em palhada de milho com *Brachiaria ruziziensis* em área de pasto e na área de trilha dos animais (apos um ciclo de pastejo). (Marchão, R.; Vilela, L.; Junior, R. G., 2009).

11.4. Medidas para evitar a compactação do solo

Para evitar a compactação, que pode resultar na redução da produtividade e perda de rentabilidade, o número de operações de preparo e tráfego de máquinas pesadas no campo deve ser minimizado e bem programado, evitando qualquer tipo de tráfego durante os períodos nos quais o solo se encontre muito úmido.

Outra medida útil para minimizar a compactação é **restringir o tráfego a carregadores**, evitando a compactação do restante da área.

Outra estratégia é o uso de **pneus bem largos**, de acordo com o peso dos equipamentos, de forma a distribuir sua carga sobre uma maior superfície do solo, reduzindo assim a força aplicada por unidade de área. **Pneus largos diminuem o efeito da compactação, mas aumentam o percentual da superfície do solo que é pressionada.**



Fonte: Chancellor (1977).

- Evitar superlotação de animais.
- Não trafegar ou cultivar o solo muito molhado;
- Planejar as operações fitossanitárias;
- Usar implementos apropriados para o máximo cumprimento da tarefa.
- Adicionar matéria orgânica ao solo: adubos verdes, esterco de animais, compostos orgânicos;

11.5. Medidas para eliminar camadas compactadas

No sistema de cultivo convencional, a descompactação pode ser feita utilizando-se arado de discos a uma profundidade abaixo da camada compactada, com umidade do solo adequada (nunca com solo molhado!).

O escarificador é uma alternativa melhor, pois, comparado com a aração, o custo do serviço é menor, além de ser mais rápida a execução. **A escarificação é executada em solo tendendo a seco para melhorar a eficiência.** Por exigirem muita energia na tração, deve ser identificada a profundidade da camada compactada para que o equipamento não trabalhe além da profundidade necessária.

No sistema de plantio direto, caso haja certeza de existência de compactação, a escarificação é usada em último caso. O escarificador deve possuir ponteiros estreitos para que o revolvimento do terreno seja o menor possível e não haja compactação do solo na profundidade de atuação do escarificador.

Em qualquer situação, para remediar ou evitar a compactação o agricultor deve reformular o seu sistema de produção. É importante o uso de rotações de culturas, incluindo adubos verdes ou coberturas verdes como o tremoço, ervilhaca ou milheto no inverno e a mucuna ou a lab-lab no verão. São plantas com sistema radicular agressivo capazes de atravessar camadas compactadas e simultaneamente adicionam nitrogênio no solo, favorecendo a cultura principal subsequente. Quando possível, pode-se consorciar a lavoura: numa mesma época e área, milho+guandu ou milho+mucuna-preta.

11.6. Identificação da compactação do solo a campo

a) Abertura de trincheiras para observação do solo e raízes

A maneira mais simples de se identificar camadas compactadas no campo é a abertura de trincheiras e a observação do sistema radicular, principalmente quando se trata de compactação subsuperficial ou **pé-de-grade**.

Neste caso é possível observar grande concentração de raízes na camada superficial ou até mesmo crescimento lateral das raízes, pois elas não conseguem ultrapassar a camada compactada, o que predispões a cultura a veranicos.

Com um canivete, faca ou chave de fenda cutuque o perfil do solo vindo da camada superficial até à base da trincheira, verificando se o solo vem apresentando resistência crescente aos golpes penetrantes da ponta do instrumento pontiagudo.

Entretanto, esses métodos apresentam limitações uma vez que possibilita apenas identificar uma camada compactada sem caracterizá-la. Ou seja, não é possível definir qual é o grau de compactação e o quanto este estaria afetando o crescimento e a produtividade da cultura, bem como definir com segurança sobre a necessidade de alguma operação mecanizada de descompactação.

b) Emergência das plantas: o crescimento das plantas normalmente reflete o sistema radicular e o ambiente do solo. Os sinais iniciais de compactação e encrostamento

(selamento na superfície do solo) nos primeiros centímetros do solo podem ser vistos quando a planta emerge.

A planta cresce lateralmente até encontrar uma rachadura. Se a plântula não alcançar a luz solar ela morrerá. Além disto, se as reservas nutricionais na semente se esgotam antes da planta estabelecer um bom sistema radicular, a plântula não emerge do solo (sai do solo) ou, se emergir, morre em seguida. **Isto resulta num stand desuniforme da lavoura.**

c) Densidade do solo: Pode-se dizer, com certo cuidado, que é a medida quantitativa mais direta da compactação. Para se fazer tal medição, pode-se utilizar anéis volumétricos.

Os valores críticos de densidade variam com a planta sendo a soja, feijão e milho mais tolerantes à compactação que o arroz. Todavia, os valores de densidade do solo, de modo geral, quando acima de 1.300 kg/m^3 , podem prejudicar o crescimento das raízes e diminuir a produção das culturas.

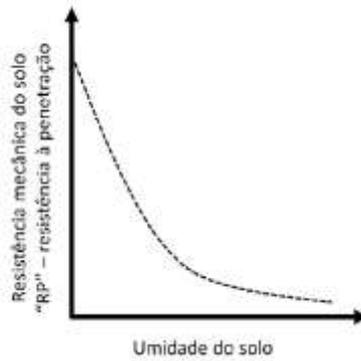
b) Resistência ao penetrômetro: esta medida é oriunda de um método secundário na avaliação da compactação do solo e tem sido utilizada para relacionar a resistência com o crescimento radicular.

O **penetrômetro ou penetrógrafo** são instrumentos utilizados para inferir sobre a resistência à penetração enfrentada pelo sistema radicular.

Pode haver diferença entre as espécies, porém o valor de 2 MPa é considerado como crítico. Resistências superiores impedem o crescimento, mas ele já passa a ser limitado em valores mais baixos.



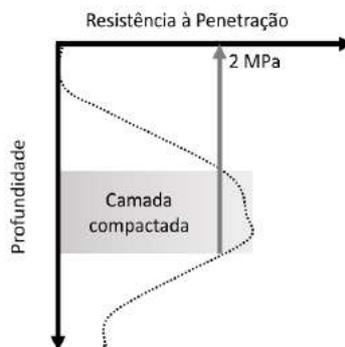
O uso da resistência mecânica para a tomada de decisão deve ser criterioso. As determinações devem ser realizadas em condições de umidade próximas à capacidade de campo. O solo apresenta resistência mecânica variável em função da umidade.



Essa resistência à penetração aumenta com a densidade e diminui com o conteúdo de água. **Portanto, o crescimento radicular passa a ser mais restrito quando solos compactados estão relativamente secos.**

Através das informações de resistência à penetração é possível construir um gráfico e verificar a resistência do solo e sua variação ao longo do perfil:

- demonstrando em que profundidade estão as camadas compactadas. Este reconhecimento auxilia na definição quanto à profundidade de preparo.
- e conseqüentemente **definição quanto à profundidade de preparo e seleção de equipamentos apropriados** para operar alguns centímetros abaixo da camada compacta, assegurando que todo o perfil possa ser explorado pelas culturas.



Implementos subsoladores podem ser utilizados na subsolagem para quebrar camadas subsuperficiais compactadas do solo, permitindo a penetração de raízes.

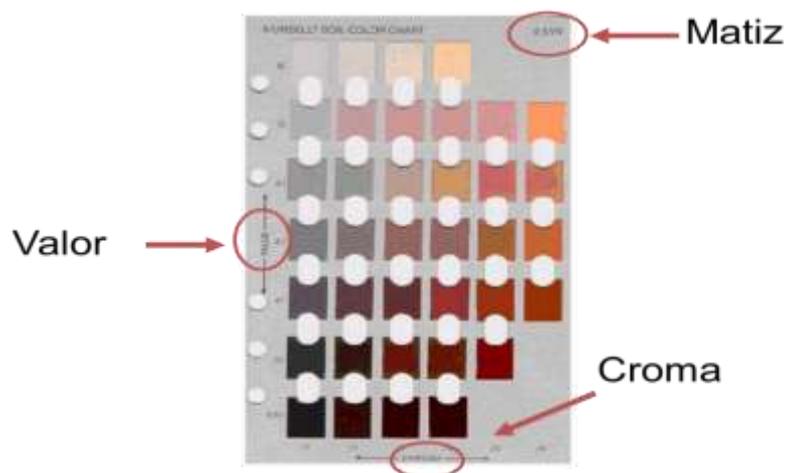
No entanto, em alguns solos, os efeitos da subsolagem são temporários. Qualquer preparo de solo tende a reduzir a resistência do solo, tornando-o mais susceptível a uma compactação subsequente.

12. COR DO SOLO

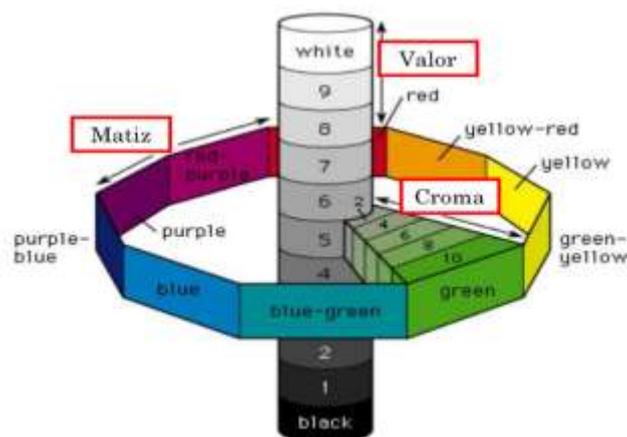
(Brady e Weil, 2013)

Começaremos pela cor do solo, por ser uma das características mais evidentes. Considerada uma das propriedades morfológicas mais importantes. Ela fornece pistas a respeito de outras propriedades e condições, apesar de, por si só, ter pouco efeito sobre o comportamento e o uso dos solos. Indica sobre a fertilidade do solo já que fornece indicações sobre o material de origem, conteúdo de matéria orgânica, condições de drenagem e teores de óxidos de Fe e Al (fixação do P).

A descrição precisa e reproduzível das cores é necessária para a classificação e interpretação dos solos; para isso, os pedólogos comparam a cor de um torrão de solo com pequenos retângulos (com colorações padronizadas), representadas na tabela de cores de Munsell. Nessa tabela, usam-se padrões de cor organizados de acordo com os três componentes relacionados à forma como as pessoas veem a cor: matiz, valor e croma.



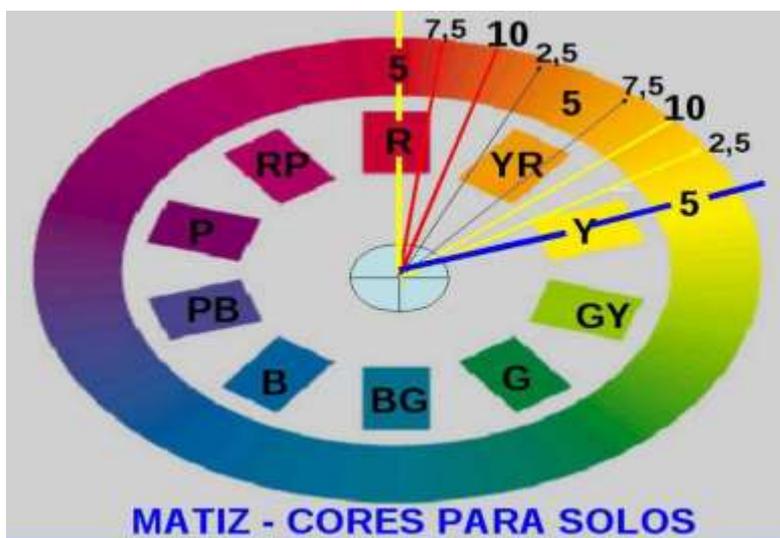
Em 1923, o pintor norte-americano Albert J. Munsell, criou um sistema de cores, baseado nas dimensões: MATIZ, VALOR e CROMA.



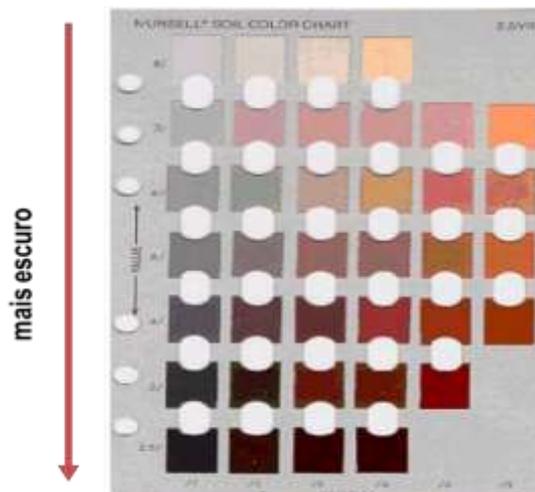
a) O **matiz**: cor pura; é o pigmento da cor.

	Cores básicas	Inglês	Letra	Cores intermediárias	Inglês	Letra
	Vermelha	Red	R	Amarela/Vermelha (laranja)	Yellow/Red	YR
	Amarela	Yellow	Y	Verde/Amarela (verde amarelada)	Green/Yellow	GY
	Verde	Green	G	Azul/Verde (azul esverdeada)	Blue/Green	BG
	Azul	Blue	B	Púrpura/Azul (azul avermelhada)	Purple/Blue	PB
	Púrpura	Purple	P	Vermelho/púrpura (vermelha azulada)	Red/Purple	RP

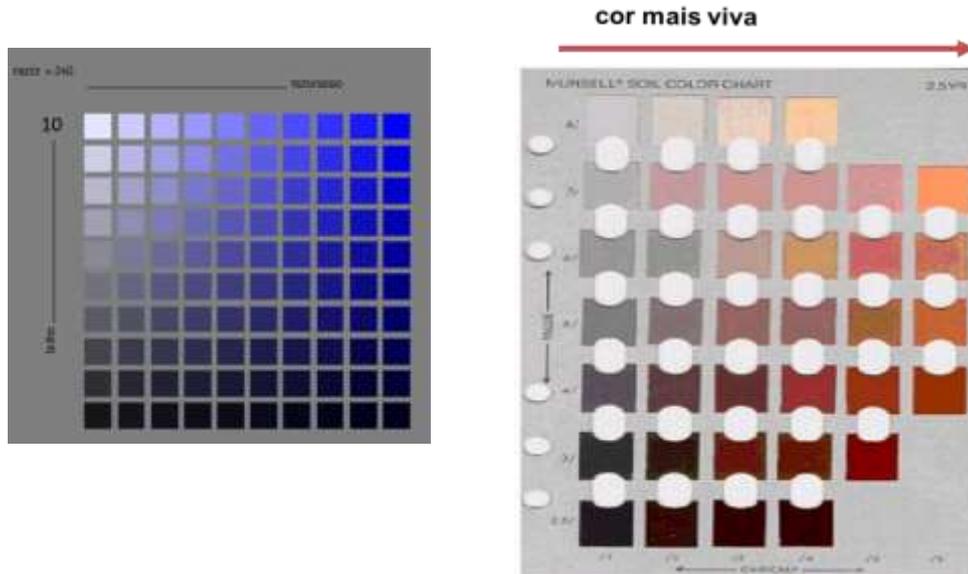
No solo, varia entre vermelho (R) a amarelo (Y), sendo de 10R a 5Y. Exemplo solo vermelho ou amarelo.



b) O **valor**: medida do grau de claridade da luz (claro ou escuro) ou tons de cinza, variando de 0 (preto) a 10 (branco puro). Quanto menor o valor, mais escuro.



- c) O **croma**: é a intensidade; é a proporção da mistura da cor fundamental com os tons de cinza, variando de 0 a 10, ou seja, vai **da presença de brilho** = branco = 10 até a **ausência de brilho** = preto = 1. As tonalidades ou brilhos encontrados em solos vão de 2 a 8. Quanto mais alto o croma, mais viva é a cor.



Esses elementos são anotados em forma de letras e seguidos de números que imitam uma fração. Exemplo:

10R $\frac{3}{4}$ = vermelho escuro, sendo que:

- 10R é o **matiz** da cor fundamental vermelha;
- 3 é o **valor** que indica a tonalidade de cinza (varia de 0 a 10), indicando **3 partes de preto** e 7 partes de branco.
- 4 é o **croma**, indica **4 partes de vermelho** (matiz fundamental) e 6 partes de cinza.

Os solos exibem uma grande variedade de vermelhos, marrons (ou brunos), amarelos e até mesmo verdes. Alguns solos são quase pretos; outros quase brancos. Algumas cores podem ser tanto cinzentas-claras como escuras. As cores do solo podem variar de um lugar para o outro na paisagem, assim como variar em profundidade entre as várias camadas (horizontes) do seu perfil, ou mesmo dentro de um único horizonte ou agregado do solo.

Efeitos e interpretações das cores

Os três principais fatores que influenciam a cor do solo são:

- (1) Conteúdo de matéria orgânica
- (2) Teor de água

(3) Presença e estado de oxidação dos óxidos de ferro e de manganês

A matéria orgânica tende a recobrir as partículas minerais, escurecendo e mascarando as intensas cores peculiares dos minerais.

Os solos são geralmente mais escuros (cores com **valor** baixo) quando úmidos do que quando secos. Ao longo do tempo, a água tem um grande efeito indireto sobre a cor do solo; ela influencia o nível de oxigênio do solo e, portanto, a taxa de acúmulo de matéria orgânica, que o escurece. A água também afeta o estado de oxidação do ferro e do manganês.

Nas terras mais elevadas e bem-drenadas, especialmente em climas quentes, os compostos de ferro bem-oxidados disseminam no solo tonalidades *vermelhas e marrons muito intensas* (ou com croma alto).

Os compostos de ferro, quando reduzidos, propiciam o aparecimento de baixas tonalidades (croma baixo) cinzentas e azuladas em solos pobremente drenados. Sob condições anaeróbicas prolongadas, o ferro reduzido (mais solúvel do que o ferro oxidado) é removido dos recobrimentos das partículas, frequentemente expondo as cores cinza-claro (característica dos minerais silicatados).

Os solos que exibem cores cinza, devido à redução e remoção do ferro, são chamados *Gleissolos*.

13. CONSISTÊNCIA DO SOLO

É outro importante atributo do solo.

Refere-se à **resistência do material do solo a manipulações ou aplicação de forma mecânica em vários estágios de umidade.**

Descreve as manifestações apresentadas pelo solo resultantes das forças de coesão e adesão, as quais atuam sobre uma amostra de solo, trazendo informações a respeito das condições para operações agrícolas.

É a consequência da variação das forças físicas de coesão e de adesão entre as partículas do solo, conforme a *variação da umidade do solo*.

FORÇA DE COESÃO: capacidade que uma partícula tem de permanecer unida, resistindo a separação. Atração entre partículas de mesma natureza (entre partículas do solo).

FORÇA DE ADESÃO : força atrativa que atua entre o líquido e a superfície de um sólido, quando estão em contato direto. Atração entre partículas de natureza distinta (Tensão superficial d'água: a água pode se aderir a outras moléculas).

O grau de consistência do solo varia em função de uma série de outras características, tais como textura, estrutura, agentes cimentantes (matéria orgânica, óxidos de ferro) e tipo dos minerais da fração argila.

A consistência pode ser **avaliada na descrição do perfil do solo no campo, estimando-se a resistência à ruptura, com a força direta de nossas mãos, de pedaços de solo em 3 condições de umidade: SECO, ÚMIDO E MOLHADO.**

13.1. Consistência SECA

Para avaliação da *dureza*; avalia o grau de resistência à quebra do torrão.

É caracterizado pela **rigidez, fragilidade, máxima resistência à pressão, maior ou menor tendência à pulverização ou fragmentação, e impossibilidade do material esmagado voltar a reunir-se quando submetido à nova pressão.**

A avaliação é feita quebrando-se um torrão na mão e comprimindo entre o polegar e o indicador.

Podem ser caracterizados 6 níveis de consistência seca: solta, macia, ligeiramente dura, dura, muito dura, extremamente dura.

1. SOLTO — não coerente.
2. MACIO — a massa do solo é muito fracamente coerente e frágil. Quebra-se em material pulverizado ou em grãos simples sobre pressão muito leve.
3. LIGEIRAMENTE DURO — fracamente resistente à pressão. Quebra-se facilmente entre o polegar e o indicador.
4. DURO — moderadamente resistente à pressão. Pode ser quebrado na mão sem dificuldade, mas quebra-se com certa resistência entre os dedos.
5. MUITO DURO — bastante resistente à pressão. Somente com dificuldade pode ser quebrado nas mãos. Não é quebrável entre o indicador e o polegar.
6. EXTREMAMENTE DURO — extremamente resistente à pressão. Não pode ser quebrado na mão.

13.2. Consistência ÚMIDA:

Para verificação da friabilidade.

É determinada num estado de umidade entre seco ao ar e a capacidade de campo.

Para avaliação dessa consistência, **deve-se selecionar e tentar esmagar entre o polegar e o indicador uma amostra (torrão) que esteja ligeiramente úmida.**

É classificada em solta, muito friável, friável, firme, muito firme, extremamente firme.

1. SOLTO — não coerente.
2. MUITO FRIÁVEL — material do solo que se esboroa debaixo de leve pressão, mas que se adere quando novamente pressionado.
3. FRIÁVEL — material do solo que se esboroa facilmente quando submetido a uma pressão de leve a moderada e que se une quando juntado e apertado.
4. FIRME — material do solo que se esboroa quando submetido a uma pressão moderada, apresentando apreciável resistência.
5. MUITO FIRME — material que só se esboroa debaixo de forte pressão.
6. EXTREMAMENTE FIRME — material do solo que só se esboroa quando submetido a uma pressão muito forte. Não pode ser esboroadado entre o polegar e o indicador e deve ser quebrado

13.3. Consistência molhada

É observada em amostras molhadas, amassadas e homogeneizadas nas mãos.

Para avaliação da **plasticidade** (capacidade do material em ser moldado), em três tipos: não plástica, ligeiramente plástica e muito plástica e; da **pegajosidade** (capacidade de aderência), em três tipos: não pegajosa, ligeiramente pegajosa e muito pegajosa.

PLASTICIDADE é a propriedade de um corpo mudar de forma de modo irreversível, ao ser submetido a uma tensão. A avaliação da plasticidade no campo se faz pela resistência à deformação, oferecida por pequenos cilindros de terra molhados, manipulados entre os dedos.

CLASSIFICAÇÃO DA PLASTICIDADE

Não plástico: não se consegue formar um cilindro com a massa do solo molhado.

Ligeiramente plástico: os cilindros se formam, contudo, se rompem quando recurvados ou comprimidos.

Plástico: os cilindros se formam e apresentam poucos sinais de ruptura ao serem recurvados ou comprimidos.

Muito plástico: os cilindros se formam e são recurvados ou comprimidos, sem sinais de ruptura.

PEGAJOSIDADE é uma consequência da atração entre as superfícies de um líquido e de um sólido. No campo é feita pressionando-se entre os dedos uma pequena porção de terra molhada, previamente manipulada. Observa-se a resistência imposta à separação dos dedos a aderência aos mesmos.

CLASSIFICAÇÃO DA PEGAJOSIDADE

Não pegajoso: após a aplicação de pressão entre o dedo indicador e o polegar, não se verifica nenhuma aderência da massa aos mesmos.

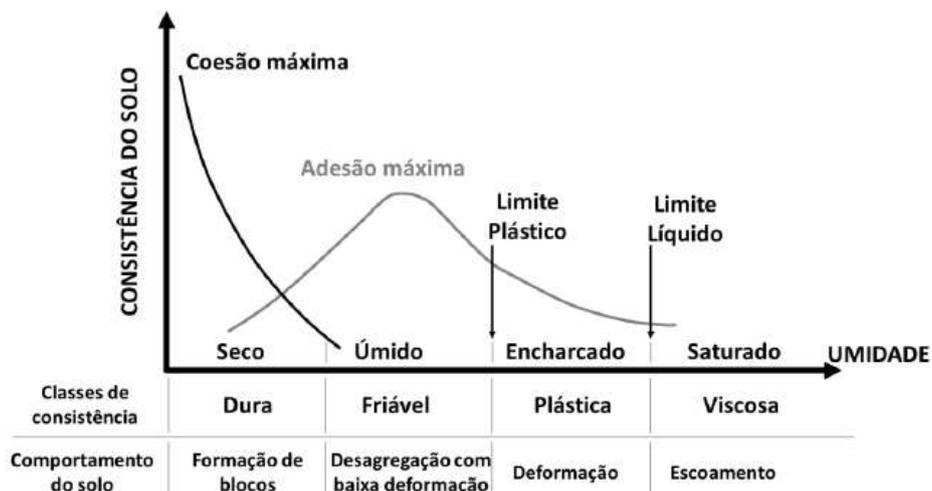
Ligeiramente pegajoso: após cessar a pressão a massa do solo adere a ambos os dedos, mas desprende-se de um deles perfeitamente.

Pegajoso: após cessar a compressão, a massa do solo adere em ambos os dedos e, quando os mesmos são afastados, tendem a alongar-se um pouco e romper-se, ao invés de desprender-se de qualquer dos dedos.

Muito pegajoso: após a compressão o material adere fortemente a ambos os dedos e alonga-se perceptivelmente quando os dedos são afastados.

13.3. Consistência do solo e suas implicações no preparo

Consistência condiciona: Condições de preparo e cultivo - *APLICAÇÃO PRÁTICA*; resistência à penetração raízes; estrutura (estabilidade de agregados) e erodibilidade.



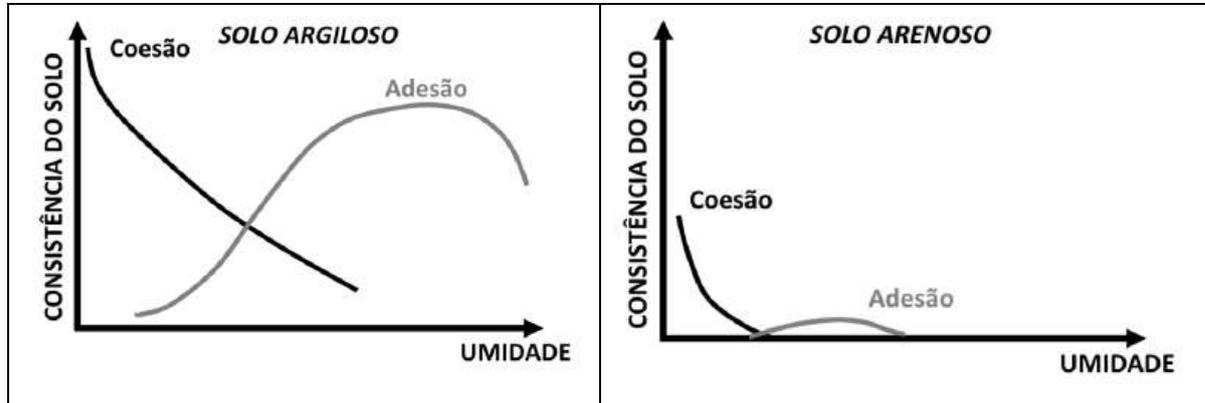
Uma vez definida a necessidade de realizar o preparo do solo para o rompimento de camadas compactadas a operação deve ser realizada em uma faixa de umidade do solo em que ele apresente consistência adequada. Para a maioria dos equipamentos de preparo do solo essa consistência é denominada de friável, sendo obtida quando há umidade suficiente para reduzir a intensidade das forças de coesão (entre partículas) e maximizar as forças de adesão (entre partículas e moléculas de água).

Se estas máquinas operarem com o solo em consistência dura o esforço a ser realizado é muito elevado e a desagregação pouco efetiva, resultando em blocos de solo firmes que serão rompidos apenas com operações subsequentes. Se por outro lado esses equipamentos atuarem com o solo muito úmido o que ocorre é o corte e deformação da massa de solo sem que haja desagregação.

A intensidade das forças é proporcional ao número de pontos de contato entre as partículas do solo. Como consequência os solos argilosos apresentam resistência mecânica superior aos arenosos.

Nos solos com predominância de partículas de argila as forças de coesão e adesão são mais pronunciadas e bastante variáveis em função da umidade. O preparo desses solos requer maior atenção à umidade e pode ter qualidade inadequada além de exigir operações adicionais.

Solos arenosos apresentam partículas maiores e, portanto, a superfície específica e o número de pontos de contato reduzidos. A intensidade das forças é pronunciadamente menor que aquela encontrada para solos argilosos. São menos exigentes em termos de umidade para preparo pois sua consistência oscila menos.



14. CEROSIDADE DO SOLO

A cerosidade pode ser visualizada em campo a olho nu ou com auxílio de lupa na superfície dos agregados ou em laboratório, por análise micromorfológica. Ocorre nas superfícies dos agregados ou nos poros. Tem aspecto de brilhante ou lustroso, resultante da deposição de material inorgânico ou argila. A classificação é feita conforme dois aspectos:

- Grau de desenvolvimento: fraca, moderada ou forte
- Quantidade: pouco, comum ou abundante

15. ÁGUA NO SOLO

15.1. Introdução

A água é um componente essencial para todos os seres vivos. Embora seja uma das mais simples substâncias químicas da natureza, possui propriedades únicas que promovem uma ampla variedade de processos físicos, químicos e biológicos.

Esses processos influenciam consideravelmente quase todos os aspectos do desenvolvimento e comportamento do solo, desde o intemperismo dos minerais à decomposição da matéria orgânica e do crescimento de plantas à contaminação do lençol freático.

Em uma sequência de eventos periodicamente repetidos, a água evapora, condensa e cai no solo na forma de chuva ou neve. Ali a água pode permanecer, por algum tempo, armazenada e disponível para as plantas e outros organismos do solo; porém se sua quantidade exceder aquela na qual o espaço poroso do solo pode armazená-la, irá então deslocar-se vertical e lateralmente para alimentar os lençóis freáticos, que depois emergirão nas nascentes, rios, lagos e oceanos.

Contudo, mesmo armazenada dentro do solo, a água não fica parada, mas move-se em todas as direções: para os lados, de cima para baixo e de baixo para cima.

A água é parte importante do chamado ciclo hidrológico (passando da pedosfera para a hidrosfera e atmosfera e vice-versa), que faz um ciclo global e contínuo, mas que também pode ser representado de forma mais simples nos sistemas agrícolas e florestais.



No entanto, o líquido que aqui chamamos de “**água no solo**” tem sua especificidade, o que o torna diferente daquela substância contida em frascos de beber, nas gotas da chuva ou nas correntes de rios e mares. Isso porque dentro dos poros do solo,

a água está intimamente associada às suas partículas sólidas e ao ar, o que provoca a mudança de comportamento não só desse líquido como também dos sólidos ou gases que lhe são vizinhos.

Á água é um excelente veículo para transportar sólidos, íons dissolvidos e gases. Pode transportar materiais em solução (como carbonatos) ou em suspensão (como as argilas) que se movem dos horizontes A e E e se depositam no horizonte B mais profundo. A água promove também várias outras reações químicas, como a hidrólise e a hidratação.

Quando ela satura os poros, e nela há pouco oxigênio dissolvido, provoca reações químicas de redução de óxidos metálicos, como os de ferro.

Percolando no solo, a água desloca íons que podem ser carregados para os lençóis freáticos, o quais depois afloram em nascentes, iniciando os rios, que acabam desembocando nos mares, cujas águas são salgadas justamente em razão do constante acúmulo de íons conduzidos pela água que havia passado pelos solos.

A água (sob a forma de chuva ou de irrigação) tem um comportamento diferente, dependendo de sua quantidade e do tipo de solo em que se infiltra. **Depois da infiltração, sua retenção e movimentação dependem de vários fatores, tais como textura, estrutura, quantidade e tamanho de poros e a forma como os horizontes estão dispostos no perfil.**

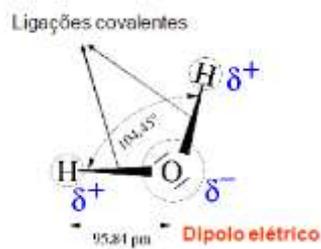
Para entendermos bem a interação da água com as partículas sólidas do solo e das raízes dos vegetais, é necessário primeiro entendermos sobre a estrutura e as propriedades das moléculas de água.

15.2. Estrutura e propriedades da água

A capacidade da água de influenciar tantos processos do sistema solo é determinada pelo tipo de estrutura da molécula de água.

Polaridade

Na molécula de H₂O, a disposição dos íons de oxigênio (os maiores) e de hidrogênio (bem menores) **não é simétrica. O ângulo entre os núcleos desses íons é de 105°, em uma arranjamto na forma de “V”.**

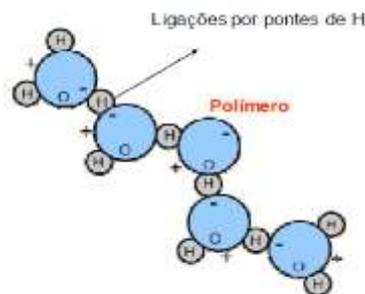


Por causa dessa disposição assimétrica, essa molécula apesar de ser neutra, é um pouco mais positiva no lado do hidrogênio e um pouco mais negativa no lado do oxigênio. Isso a faz ter dois polos diferentes e ser chamada de **dipolar**.

O importante dessa dipolaridade é que posiciona as moléculas de modo que o **lado positivo de uma atrai o lado negativo de outra que lhe está próxima**. Esse lado positivo pode atrair também qualquer outra partícula com uma superfície com cargas negativas (**por exemplo argilas silicatadas e húmus**).

Pontes de hidrogênio

A atração entre o hidrogênio de uma molécula e o oxigênio de outra, formando uma junção de **baixa energia**, é chamada **ligação de hidrogênio** ou **ponte de hidrogênio**, e é muito importante para entendermos como os solos retêm e distribuem a água.

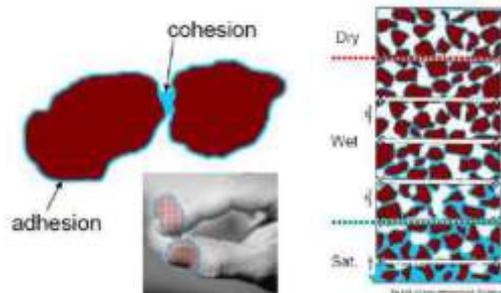


Outros conceitos muito importantes para entender as relações solo-água-plantas são os de *coesão, adesão, tensão superficial e ascensão capilar (ou capilaridade)*.

Coesão e adesão

As pontes de hidrogênio determinam as duas forças básicas responsáveis pela **RETENÇÃO e MOVIMENTO da água no solo:**

- a atração entre moléculas de água (**coesão**); e
- a atração das moléculas de água pelas superfícies sólidas (**adesão**).



Pela **adesão** (também chamada adsorção), algumas **moléculas de água são firmemente retidas na superfície das partículas sólidas do solo**. Por sua vez, estas moléculas de água retidas por adesão **retêm por coesão outras moléculas de água mais distantes das superfícies sólidas**.

Juntas, as forças de adesão e coesão tornam possível que as partículas sólidas do solo retenham água, controlando seu movimento e uso.

Tensão superficial

É outra propriedade importante da água que **influencia significativamente seu comportamento no solo**.

Esta propriedade é normalmente **evidenciada nas interfaces líquido-ar** e resulta da maior atração das moléculas de água entre si (coesão) do que pelo ar.

O efeito disso é uma força dirigida da superfície da água para seu interior, o que faz com que ela se comporte como se a superfície fosse coberta por uma membrana elástica esticada.

Devido à elevada atração das moléculas de água entre si, a água passa ter uma elevada tensão superficial.

A tensão superficial é um fato importante para o fenômeno da **capilaridade, que determina como a água se movimenta e é retida no solo**.

Capilaridade

O movimento da água subindo em um pavio é um bom fenômeno da capilaridade.

Duas forças são responsáveis pela capilaridade:

- **adesão**: atração da água em direção ao sólido;
- **a tensão superficial** da água, que em grande parte se deve à atração das moléculas de água entre si (**coesão**).

A capilaridade pode ser demonstrada colocando-se a extremidade de um tubo fino de vidro dentro d'água. **A água se eleva no interior do tubo, e quanto menor seu raio interno, mais a água subirá.**

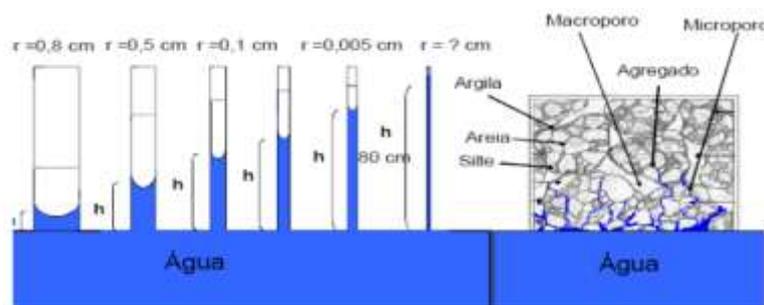


Figura. Movimento da água por capilaridade em tubos com diferentes diâmetros.

As moléculas de água são atraídas para os lados do tubo (adesão) e começam a se espalhar ao longo do vidro. Ao mesmo tempo, as forças coesivas unem as moléculas de água entre si, criando tensão superficial e provocando a formação de uma superfície curva (chamada de *menisco*), na interface entre a água e o ar do tubo.

O princípio da capilaridade explica por que o solo pode reter água contra a força da gravidade.

A sucção e a elevação da água nos poros do solo acontecem apesar de eles não serem simétricos com um tubo de vidro. Assim, **elas são maiores em solos onde predominam poros muito pequenos (microporos) do que em solos onde predominam poros grandes (macroporos).**

Em um solo saturado com água, a água livre pode estar presente nos macroporos; porém em um horizonte não saturado, esses poros maiores são esvaziados pela força da gravidade, e a água que permanece é **retida por capilaridade.**

15.3. Curvas de retenção de água no solo

As relações entre o teor de água do solo e o seu potencial, em solos com texturas diferentes estão na figura abaixo:

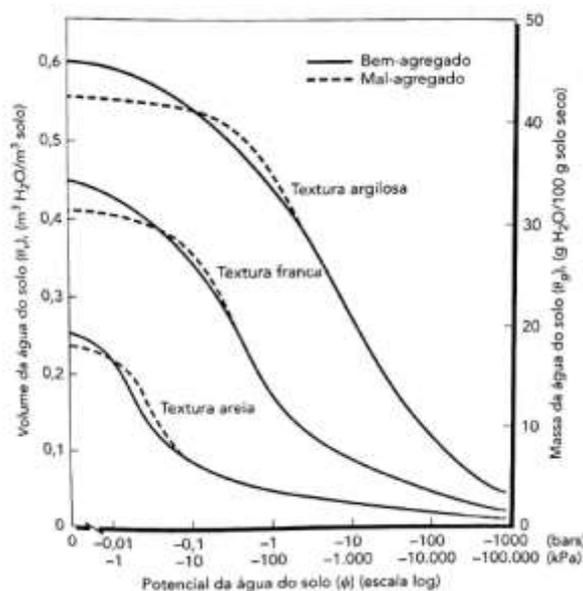


Figura: Curva de retenção da água no solo para três solos minerais representativos. As linhas tracejadas mostram o efeito da compactação ou pouca agregação.

Essas curvas são denominadas *curvas de retenção de água no solo*.

O solo argiloso a um determinado potencial **retém muito mais água do que os solos de textura franca ou arenosa**.

Da mesma forma, a um determinado teor de água, **a umidade é retida muito mais fortemente no solo argiloso do que nos outros dois**.

A estrutura do solo também influencia as relações do seu teor de água com a energia. Um solo bem agregado tem um maior volume total de poros e maior capacidade geral de retenção de água do que um com agregação pobre ou compactado.

15.4. Infiltração e percolação da água

Infiltração é o processo pelo qual a água penetra no solo e entra nos espaços porosos do solo, e se transforma em água do solo. A taxa na qual a água penetra é denominada *infiltrabilidade*.

A taxa de infiltração não é constante ao longo do tempo; **geralmente diminui durante um episódio de chuva ou irrigação**.

Quando a infiltração começar, se o solo estiver completamente seco, todos os macroporos da superfície estarão disponíveis para conduzir a água para dentro deles.

Percolação é a movimentação vertical da água no perfil do solo.

Após a infiltrar no solo, a água se move para baixo no perfil, por um processo denominado *percolação*.

No caso da água que se infiltrou em um solo relativamente seco, o percurso da água pode ser observado pelo escurecimento do solo, à medida que ele se umedece. Normalmente um contorno nítido se forma entre o solo seco subjacente e o acima já molhado, **chamado de frente de molhamento**.

15.5. Fatores que Afetam a Quantidade de Água Disponível às Plantas

A quantidade de água disponível no solo para as plantas é determinada por um grande número de fatores, incluindo as relações entre conteúdo de água e potencial para cada horizonte do solo, resistência à penetração e efeitos da densidade sobre o crescimento radicular, profundidade do solo, profundidade do sistema radicular, e estratificação do perfil.

A **textura do solo** influencia a capacidade de campo, ponto de murcha e água disponível. À medida que a textura se torna mais fina, há um aumento na armazenagem de água disponível de solos arenosos para francos. Solos argilosos, normalmente fornecem menos água disponível do que franco siltosos bem granulados, pelo fato de solos argilosos possuírem elevados valores de ponto de murcha permanente.

A influência da **matéria orgânica** merece atenção especial. O conteúdo de água disponível de um solo mineral bem drenado, contendo 5% de matéria orgânica, é geralmente maior do que quando comparado a um solo semelhante, contendo 3% de matéria orgânica.

Efeitos da Compactação sobre a Aeração e Crescimento Radicular

A compactação do solo geralmente reduz a quantidade de água disponível para as plantas.

Quatro fatores são responsáveis por este efeito.

1º) A compactação reduz os macroporos e os microporos resultando em poros ainda menores. À medida que as partículas de argila são aproximadas, pelo processo de compactação, a resistência do solo pode tornar-se superior a 2000 kPa, o nível considerado limitante à penetração radicular.

2º) A redução na macroporosidade geralmente significa que menos água é retida na capacidade de campo.

3º) Com a redução da quantidade de macroporos, haverá menor porosidade de aeração, quando o solo estiver próximo da capacidade de campo.

4º) O surgimento de microporos muito pequenos aumentará o valor do ponto de murcha permanente e também diminuirá a água disponível.

15.6. Descrição qualitativa da umidade do solo

À medida que um solo inicialmente saturado com água vai secando, ele e seu potencial de água sofrem uma série de mudanças graduais no comportamento físico e na sua relação com as plantas.

Para estudar essas mudanças, alguns termos são comumente usados para descrever os diversos graus de umidade do solo e o potencial de energia.

Armazenamento de água no solo (Capacidade máxima de retenção de água) - ARM

Quando todos os poros estão preenchidos com água, o solo é considerado **saturado com água** e em sua **capacidade máxima de retenção**.

O teor volumétrico de água é essencialmente o mesmo que a porosidade total.

O solo permanecerá em sua capacidade máxima de retenção apenas enquanto o líquido continuar a infiltrar-se, uma vez que a água nos poros maiores (água gravitacional) percolará para baixo, sob a influência principal de forças gravitacionais.

Dados sobre a capacidade máxima de retenção e a profundidade média de solos em uma bacia hidrográfica são úteis para prever a quantidade da água da chuva que pode ser ARMAZENADA NO SOLO temporariamente.

Capacidade de campo (CC)

Depois que a chuva ou irrigação tenha cessado, a drenagem nos macroporos ocorrerá rapidamente, em resposta ao gradiente hidráulico (principalmente pela ação gravidade).

O solo é então dito estar na sua capacidade de campo. Nesta condição, toda a água foi drenada dos macroporos, tendo o ar ocupado estes espaços. Os microporos, ou poros capilares, ainda estarão preenchidos com água, podendo fornecer água às plantas.

Nesta situação, a água é encontrada em poros pequenos o suficiente para evitar que ela seja drenada por forças gravitacionais, mas grandes o suficiente para permitir o fluxo capilar, sendo algumas vezes chamada de **água capilar**.

Toda a água contida no solo é afetada pelas forças gravitacionais, no entanto, o termo água gravitacional refere-se à porção da água no solo que é prontamente drenada entre o estado de capacidade máxima de retenção e capacidade de campo.

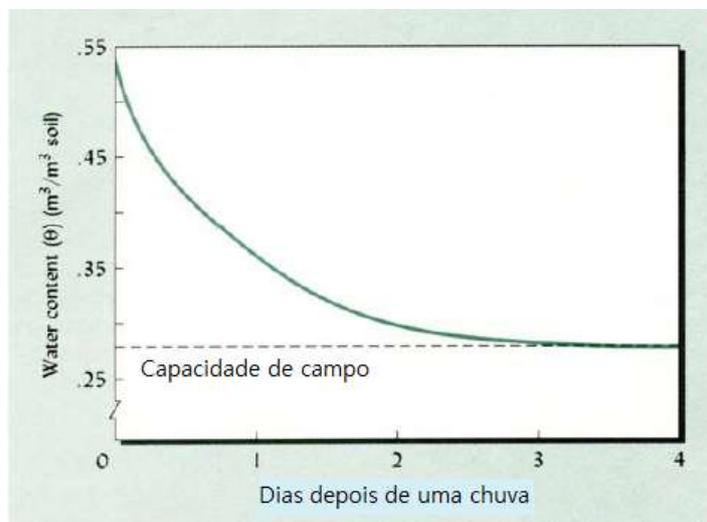


FIGURA. O conteúdo de água no solo diminui rapidamente através da drenagem após um período de chuva ou irrigação. Após dois ou três dias, a taxa de movimento de água é muito lenta e o solo está na capacidade de campo.

A maior parte da lixiviação ocorre à medida que a água gravitacional é drenada dos macroporos, antes que a capacidade de campo seja alcançada. Deste modo, a água gravitacional inclui grande parte da água que transporta substâncias químicas como íons, pesticidas e contaminantes orgânicos para o lençol freático e deste para lagos e rios.

A *capacidade de campo* é um termo muito útil, pois refere-se a um grau aproximado de umidade no solo, no qual diversas propriedades importantes estão em estado de transição:

- a) **Na capacidade de campo, o solo retém a quantidade máxima de água útil para as plantas.** Quantidades adicionais, apesar de retidas com menor energia, são de uso limitado às plantas, por serem retidas por um curto período de tempo, antes da drenagem, e por causarem restrições à aeração adequada.
- b) **Na capacidade de campo, o solo está próximo ao limite de plasticidade,** isto é, o solo se comporta como um semi-sólido friável à conteúdos de umidade abaixo da capacidade de campo, e como um material plástico e moldável à conteúdos de água acima da capacidade de campo. Deste modo, **a umidade do solo na capacidade de campo é próxima a umidade do solo ideal para cultivo ou preparo do solo.**
- c) **Na capacidade de campo, a porosidade de aeração é adequada** para a maioria dos microrganismos aeróbios e para o crescimento da maioria das plantas.

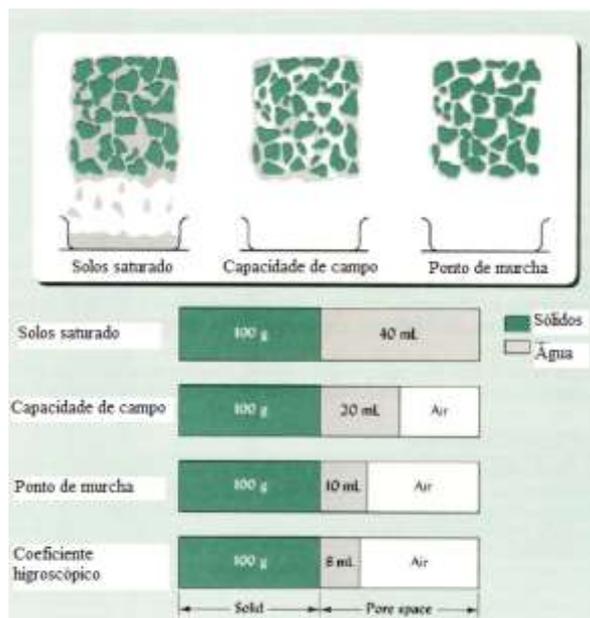


FIGURA 2.19 Volumes de água e ar associados a 100 g de um solo franco siltoso bem granulado em diferentes teores de umidade. A barra superior mostra a situação quando o solo está completamente saturado. Esta situação, normalmente ocorrerá por curtos períodos de tempo, durante uma chuva ou quando o solo está sendo irrigado. A água será drenada dos macroporos. O solo estará então na sua capacidade de campo. As plantas removerão água do solo rapidamente até que comecem a murchar. Quando murcharem permanentemente o solo estará no ponto de murcha permanente. Uma redução adicional no conteúdo de água até o coeficiente higroscópico é ilustrada na barra inferior. Neste ponto a água é retida firmemente, principalmente pelos colóides do solo.

Ponto de murcha permanente (PMP)

Uma vez que um solo não vegetado tenha sido drenado até a capacidade de campo, o processo de secagem continua lentamente, especialmente se a superfície do solo é coberta para reduzir a evaporação. Entretanto, caso haja plantas crescendo no solo, elas removerão água da zona radicular e o solo continuará secando. Primeiramente, as raízes removerão a água dos macroporos, onde seu potencial é relativamente alto. À medida que esses poros são esvaziados, as raízes absorverão água de poros progressivamente menores e finos filmes de água nos quais o potencial mátrico é baixo e as forças de atração da água às superfícies sólidas são maiores. Assim, se tornará progressivamente mais difícil para as plantas remover água do solo a uma taxa suficiente para suprir suas necessidades.

À medida que o solo seca, a taxa de retirada de água pela planta diminui, até que a taxa de absorção de água pelas plantas não será adequada para a manutenção de suas necessidades, e elas poderão murchar durante o dia para conservar sua umidade.

Inicialmente, as plantas recuperarão sua turgescência à noite quando a água não está sendo perdida através das folhas e as raízes podem suprir a demanda hídrica das plantas. Posteriormente, a planta permanecerá murcha durante à noite e o dia, quando as raízes

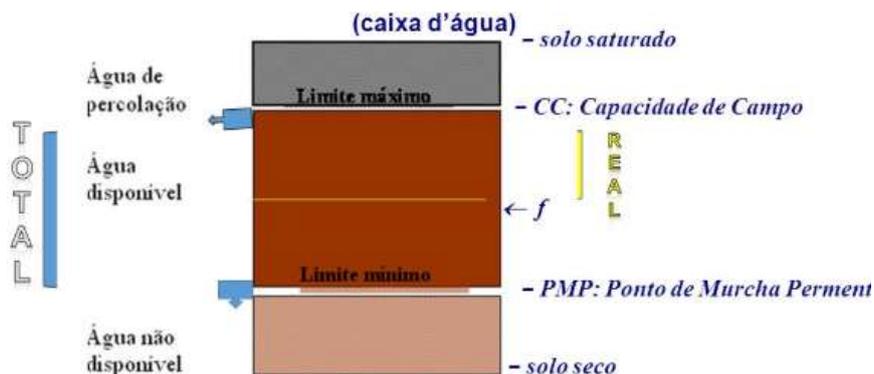
não puderem gerar potenciais baixos o suficiente para absorver a água do solo. Embora, ainda não estejam mortas, as plantas estarão permanentemente murchas mesmo se não houver fornecimento de água. Neste estado, o teor de água no solo é chamado de **ponto de murcha permanente**, e é tido por convenção como a quantidade de água retida pelo solo quando o potencial de água é menor que 1500 kPa.

Água disponível (AD) e capacidade de água disponível (CAD)

Uma vez determinados os valores de capacidade de campo e ponto de murcha permanente, poderemos estabelecer a faixa de variação do que chamamos de **água disponível (AD)** para o crescimento vegetal.

Cada solo tem seus valores característicos de conteúdo de água para a CC e o PMP, e a **AD é definida como a água do solo que pode ser absorvida pelas plantas**.

Seu valor máximo, que é o **total de água disponível que um solo é capaz de reter** é denominado *capacidade de água disponível* variável de solo para solo.



Nem toda a água armazenada pelo solo está disponível para as plantas, **apenas uma faixa está disponível: a retida entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente**.

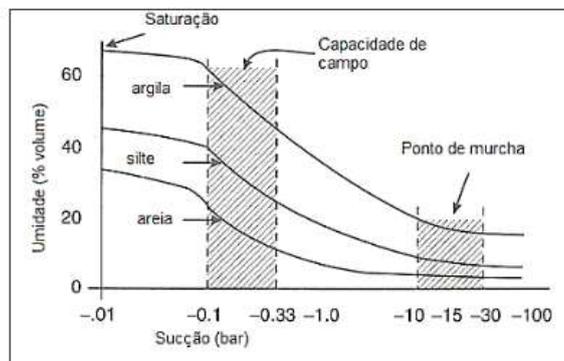


Figura 2.3: Curva de retenção da água no solo.

No solo, a porcentagem dessa água disponível varia principalmente com a quantidade e tipo de argila, a quantidade de matéria orgânica (húmus) e a concentração de sais.

Intervalo Hídrico Ótimo

A água disponível para as plantas é aquela que não é retida tão fortemente pelo solo de modo que não possa ser absorvida pelas raízes, mas que também não está fracamente retida para que possa ser livremente drenada pela força da gravidade.

Portanto, o **intervalo hídrico ótimo é a faixa de conteúdo de água na qual as condições do solo não restringem severamente o crescimento radicular.**

De acordo com o conceito de intervalo hídrico ótimo, os solos estão demasiadamente *úmidos* para o crescimento radicular normal quando uma grande parte do seu espaço poroso está ocupada com água, restando menos de 10% preenchido com ar. Nesse conteúdo de água, a falta de oxigênio para respiração limita o crescimento radicular. Em resumo, o conceito de intervalo hídrico ótimo sugere que o crescimento radicular é limitado devido à falta de oxigênio na faixa muito úmida e à incapacidade física de as raízes penetrarem no solo na faixa muito seca. Por isso, os efeitos da compactação sobre o crescimento da raiz são mais pronunciados em solos secos.

Conclusão

As interações e movimentos dela através dos solos ajudam a determinar se esses impactos são positivos ou negativos. A compreensão dos princípios que governam a atração da água para os sólidos do solo e íons dissolvidos pode ajudar a maximizar impactos positivos e minimizar os efeitos indesejáveis.

As características e comportamento da água no solo são muito complexas. Porém à medida que adquirimos mais conhecimento, torna-se evidente que a água do solo é regida por princípios físicos básicos.

16. MORFOLOGIA DO SOLO

Solo é o substrato básico da vida terrestre; é o meio de crescimento das plantas, atividade microbiológica, fonte direta e indireta de alimentos fibra e abrigo. O solo é a camada mais externa intemperizada da crosta terrestre, que sustenta as plantas, mantendo-as fixas e eretas e reservatório de água e nutrientes para as raízes das plantas.

Como já estudamos no início da disciplina, todo solo tem sua origem devido à ação conjunta de cinco fatores externos denominados fatores de formação do solo, a saber: clima, organismos, relevo, material de origem e tempo. As características de um determinado solo são resultantes da ação do clima e organismos vivos sobre o material de origem, influenciada pelo relevo em um determinado tempo. Esse tempo é sempre longo quando comparado com a vida humana.

A ação desses fatores externos de formação do solo gera outros internos, denominados processos de transformação, de acúmulo, de perda e de transporte de materiais os quais são responsáveis pela natureza de um determinado solo.

Dada a grande variação na combinação desses processos de formação, os solos se diferenciam em suas características morfológicas, tais como textura, granulação, estrutura, coloração, consistência, bem como profundidade, fertilidade, teor de matéria orgânica, etc. A variação mais acentuada, com que usualmente os produtores não se preocupam, se dá na direção vertical, no sentido da profundidade, que só poderá ser observada se for feita uma trincheira, ou em cortes de uma estrada.

A **morfologia do solo** significa então o estudo de sua aparência no ambiente natural e sua descrição segundo essas características perceptíveis, visíveis a olho nu ou tato. O conjunto das características morfológicas do solo constitui a base fundamental para identificar o solo, que é completada pela análise de laboratório.

No início do estudo científico dos solos, quando eram considerados apenas corpos estáticos constituídos de produtos de decomposição de rochas, as avaliações químicas e mineralógicas eram as únicas importantes.

Depois que o solo foi definido como um corpo natural dinâmico e integrado na paisagem, composto de horizontes, os estudos sobre morfologia de solo começaram a desenvolver. Hoje se considera de primordial importância que as formas de um solo sejam inicialmente descritas no campo, antes que sejam tiradas amostras para as diversas análises laboratoriais. Para classificar o solo, inicialmente a campo, faz-se a divisão do perfil do solo em horizontes e a sua descrição morfológica.

16.1. Perfil e horizonte do solo

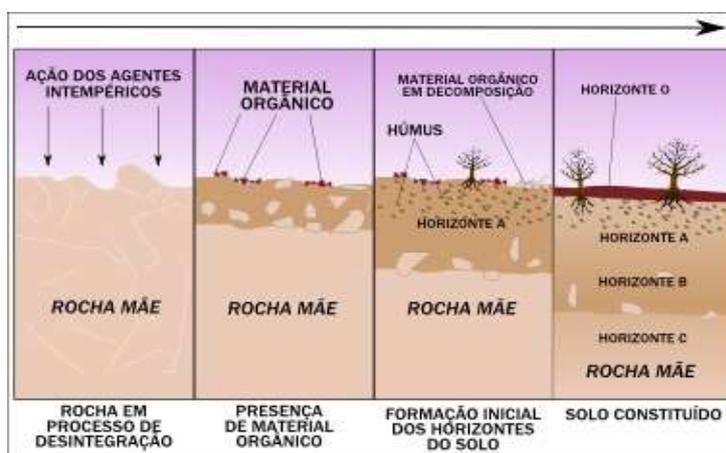
(Vieira e Vieira, 1983)

Chama-se perfil do solo a seção vertical que, partindo da superfície, aprofunda-se até onde chega a ação do intemperismo, mostrando, na maioria das vezes, uma série de camadas dispostas horizontalmente, denominadas **horizontes**. Ele é a resultante da interação de diversos fatores que concorrem para a formação do solo, refletindo assim o histórico de sua evolução (Vieira e Vieira, 1983).

Horizonte do solo é uma seção de constituição mineral ou orgânica, paralela à superfície do terreno, parcialmente exposta no perfil do solo e dotada de propriedades geradas por processos formadores do solo, que lhe confere características de inter-relacionamento com outros horizontes componentes do perfil, dos quais se diferencia em virtude de diversas propriedades resultantes da ação do intemperismo.

Em cada local de um terreno, a superfície passou por uma determinada combinação dos fatores e processos de formação do solo, fazendo com que um conjunto diferente de camadas fosse formada, dando origem lentamente ao solo. Cada solo é caracterizado por uma determinada sequência de horizontes, exposta em um corte vertical, chamado perfil.

As características que podem ser levadas em conta para a diferenciação dos horizontes são principalmente a textura, a cor, a consistência, a estrutura, a atividade biológica, o tipo dos agregados, etc. Em alguns casos podem também ser utilizadas características não visíveis como as obtidas pelas análises físicas, químicas e mineralógicas. A caracterização dos horizontes está baseada no grau de desvio ou diferenciação dos mesmos com relação ao material de origem (rocha), com base na sua disposição no perfil e ao processo que originou suas principais características.



A natureza e o número de horizontes variam grandemente nas diferentes unidades de solos. Por isso, com a finalidade de apresentar todos os horizontes possíveis que possam ocorrer em um perfil de solo, será apresentado a seguir na Figura 1 o perfil hipotético, perfil este que pode não ocorrer na natureza, mas que terá a finalidade de servir para demonstrar quase todos os horizontes que podem ocorrer em um corte vertical (perfil) que vai da superfície à rocha inalterada. Os solos encontrados geralmente não possuem todos esses horizontes bem caracterizados, mas pelo menos possuem parte deles.

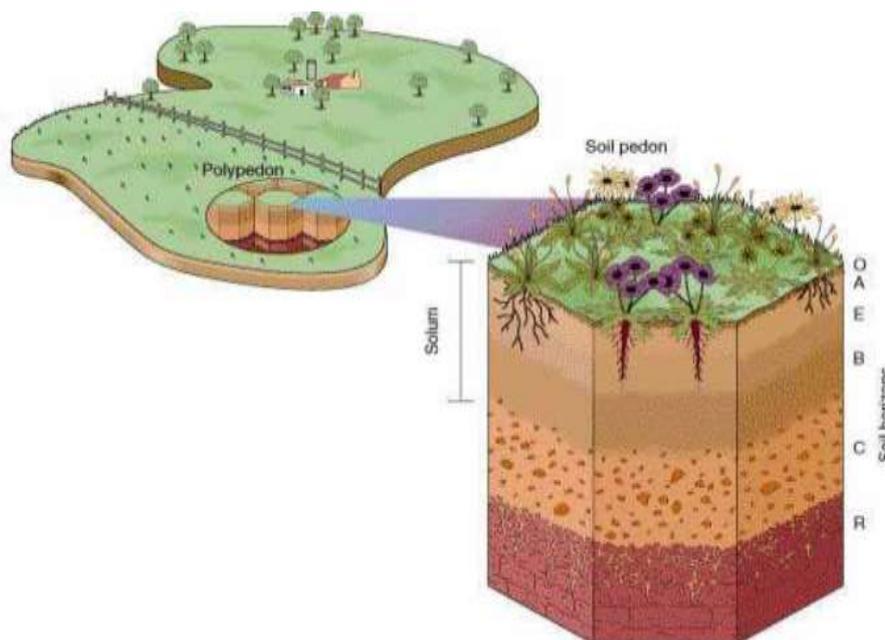
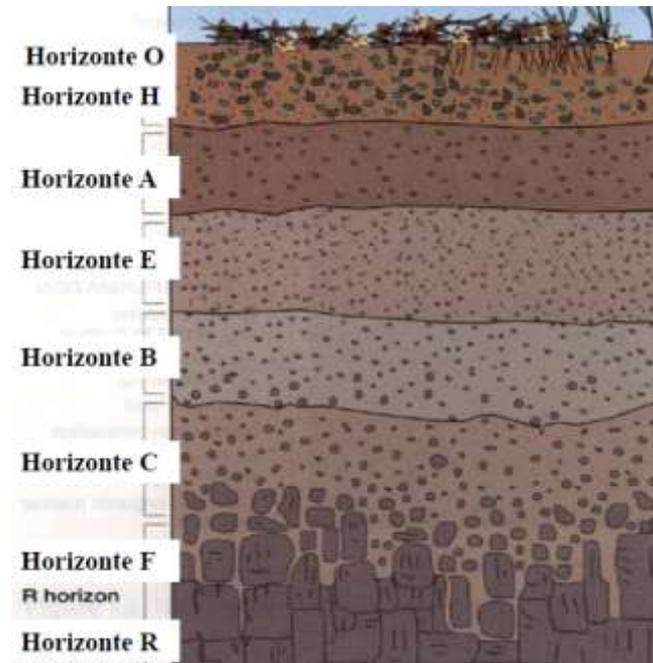


Figura 1. Perfil hipotético do solo, demonstrando os principais horizontes que podem ocorrer em um corte vertical que vai da superfície à rocha inalterada.

Na caracterização morfológica de um perfil é empregada nomenclatura especial, na qual as letras maiúsculas servem para designar os horizontes principais e os índices numéricos opostos às letras para caracterizar suas subdivisões. Assim, as letras A, B e C representam os horizontes principais dos solos. Enquanto os horizontes A e B caracterizam o verdadeiro solo (SOLUM), o horizonte C refere-se ao material parental, alterado pela ação do intemperismo. A letra R, que aparece abaixo, corresponde à rocha inalterada (Figura 1).

16.2. Principais horizontes do solo

No sistema atual de classificação dos solos, os principais horizontes são designados usando letras maiúsculas: O, H, A, E, B, C, F e R. Abaixo segue um exemplo:



Horizonte O:

- Camada orgânica formada em condições de drenagem desimpedida (**sem estagnação de água**);
- Restos orgânicos não incorporados ao solo mineral;
- **Horizonte O é típico de matas;**
- Caracteriza-se pela presença de materiais reconhecidos (folhas, galhos, ramos, etc.) na superfície do solo sem sofrer decomposição → portanto em *solos cultivados* não existe este horizonte.

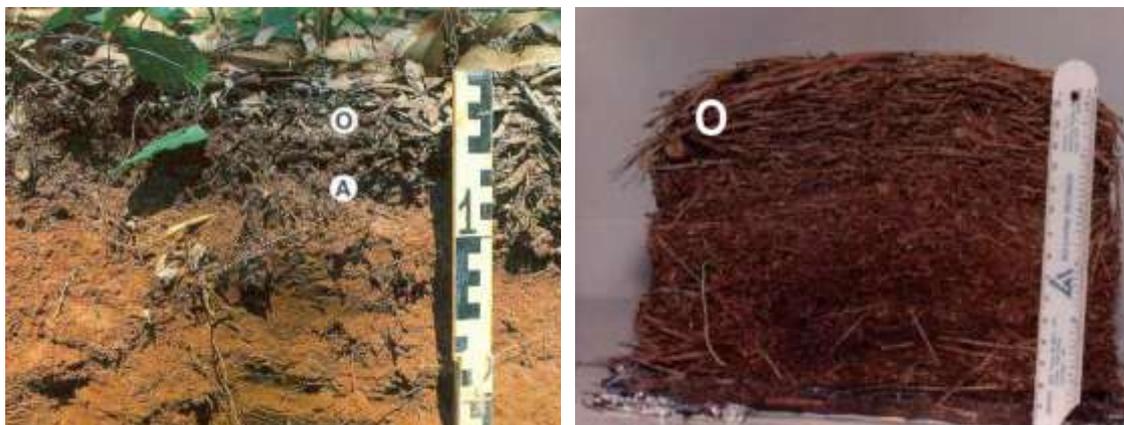


Figura 2. Horizonte O.

Horizonte H

- Camada orgânica superficial ou não, formada por acúmulo de resíduos vegetais, formado com estagnação de água.



Figura 3. Horizonte H.

Horizonte A

- Horizonte **mineral superficial**, ou seja, subjacente aos horizontes O ou H;
- Grande atividade biológica;
- Incorporação de matéria orgânica bastante mineralizada;
- É no horizonte A que se faz o cultivo;
- É mais escuro que os subjacentes, devido à contribuição da matéria orgânica.
- Geralmente até uns 50 cm.
- Pode sofrer **ELUVIAÇÃO**:

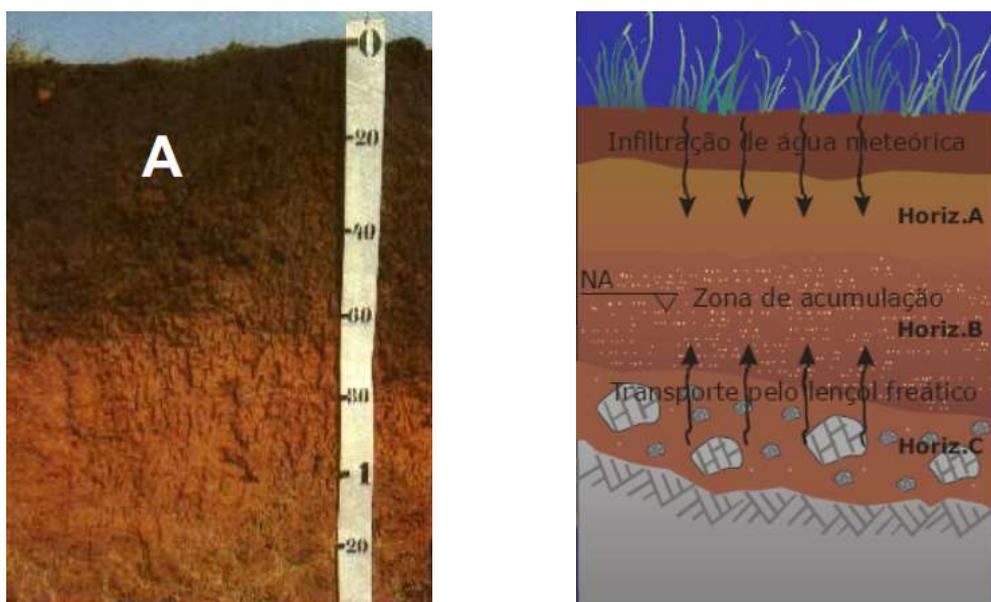


Figura 4. Horizonte A à esquerda; Esquema de eluviação e iluviação à direita.

ELUVIAÇÃO é o processo de deslocamento de materiais como argilas, sesquióxidos, carbonatos, etc. ao longo de um perfil de solo, de uma camada para outra por ação da água da chuva. Ao material deslocado através da Eluviação dá-se o nome de Iluvião.

Horizonte E

- Horizonte **mineral** formado pela **ILUVIAÇÃO** de argilas silicatadas, óxidos de Fe e Al e matéria orgânica.

ILUVIAÇÃO é a acumulação de materiais do solo dissolvidos ou suspensos em uma área ou horizonte como resultado de eluviação em outra.

- Situa-se **abaixo do horizonte A**; tem cor mais clara, menos argila e menos matéria orgânica.



Figura 5. Horizonte A e E.

Horizonte B

- Horizonte **mineral subsuperficial**, localizado abaixo dos horizontes A ou E;
- Originado pela transformação acentuada do material de origem e/ou ganho de constituintes minerais ou orgânicos migrados dos horizontes suprajacentes (superiores);
- Horizonte B é **mais estável** (sofre menos alterações);
- Em solos pouco intemperizados é **de pouca profundidade ou inexistente**.

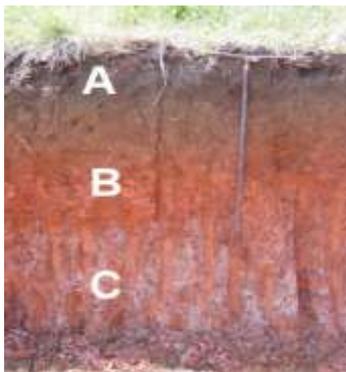
Em geral, quanto **MAIS profundo o horizonte B mais alto grau de intemperismo**.

O horizonte B apresenta a máxima expressão da atuação dos fatores e processos de formação dos solos. Suas propriedades pedogenéticas mais estáveis e menos

vulneráveis a modificações e eventuais alterações provocadas pelo homem, por isso é muito utilizada para a *classificação dos solos*. Os Latossolos são os solos mais intemperizados e por isso são os que possuem o horizonte B mais profundo.

Horizonte C

- Horizonte **mineral de material inconsolidado**, sob o *solum* (horizontes A e B); É a capa de produtos de alteração inicial das rochas de origem.



Horizonte F

- Horizonte **mineral consolidado**, sob os horizontes A, E ou B, rico em Fe e/ou Al e pobre em matéria orgânica. São bancos lateríticos ou bauxíticos concrecionários, conhecido como pedra-canga.

Horizonte R

- Camada **mineral de material consolidado (Rocha)**, pouco sofreu a ação do intemperismo.

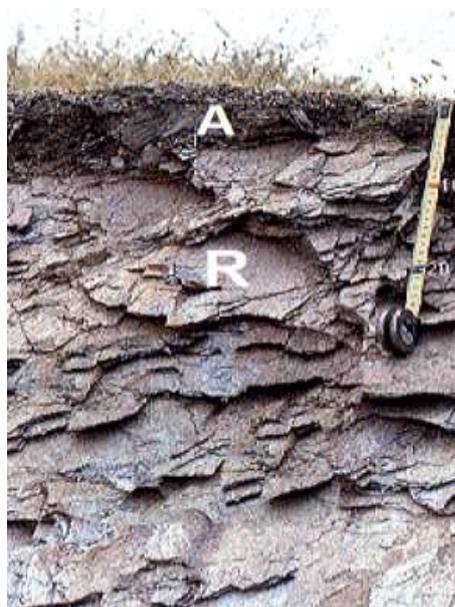
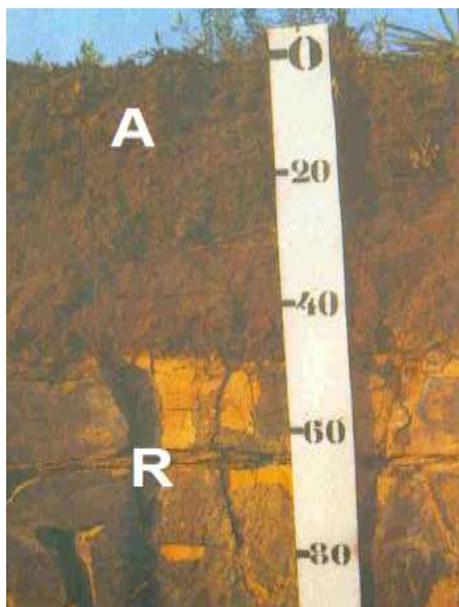


Figura 5. Horizonte R.

Subdivisão dentro dos horizontes

Após as letras maiúsculas que representam os horizontes principais, podem vir notações com números que indicam subdivisões dentro de um mesmo horizonte. Exemplo de notações com números para o horizonte A: A1, A2, A3 e assim por diante.

Horizontes transacionais

Além dos horizontes principais típicos como os apresentados, pode haver miscigenação (mistura) de propriedades entre dois horizontes paralelos, que se associam conjuntamente, evidenciando coexistência de propriedades comuns a ambos, os quais são chamados de **horizontes transacionais**.

Horizontes transacionais: quando as propriedades de dois horizontes se associam e não há individualização dessas. Duas letras maiúsculas são usadas para designar horizontes de transição, em que o horizonte dominante é colocado antes do subordinado.

Ex: AO; AB; AC; AH; EB; BC; etc. Neste caso de horizontes transacionais, a primeira letra é a que apresenta características predominantes, ou seja, tem maior influência no solo.

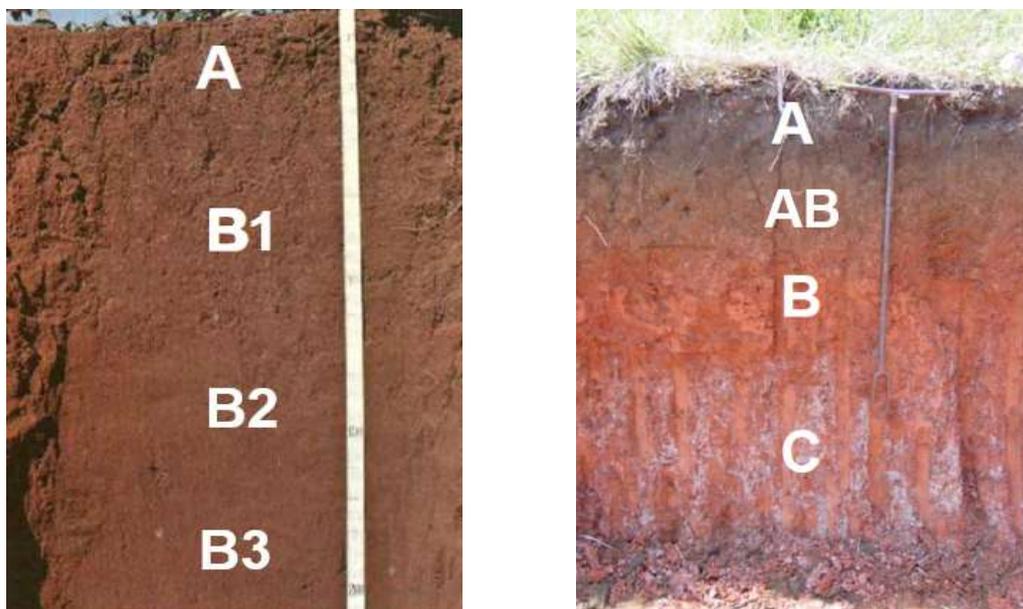


Figura 6. Divisão dos horizontes à esquerda, com notação numérica; e horizontes transacionais à direita, com letras maiúsculas seguida da notação do horizonte principal.

Camadas subordinadas

As notações com letras minúsculas são chamadas *camadas subordinadas*, que são sufixos usados para designar características específicas dos horizontes. Principais camadas subordinadas e horizontes de ocorrência:

Camada subordinada	Características apresentadas	Horizontes
c	Concreções ou nódulos endurecidos	A, B, C e E
d	Acentuada deposição de material orgânico	O e H
f	Material laterítico ou bauxítico	A, B e C
g	Glei (redução de Fe)	A, B, C e E
o	Material orgânico não decomposto	O e H
n	Acúmulo de sódio trocável	H, A, B e C
p	Vem de “plow” (aração). Horizonte de cultivo	A e H
t	Acúmulo de argila, usado para Argissolos	B
w	Intensa intemperização, usado nos Latossolos	B

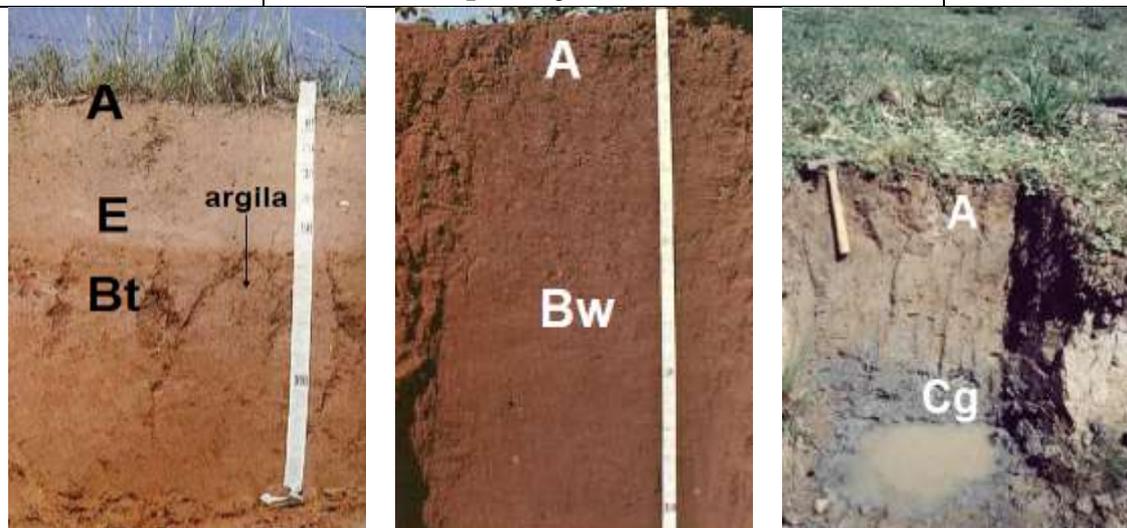


Figura 7. t: acumulação de argila; w: intensa intemperização, inexpressiva acumulação de argila; g: gleização (cores acinzentadas).

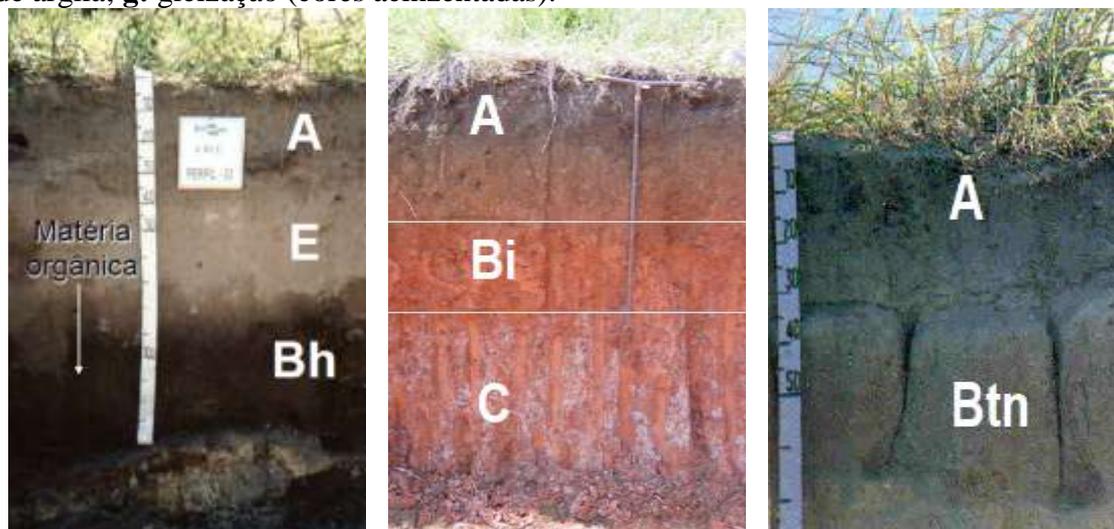


Figura 8. h: acumulação iluvial de matéria orgânica; i: incipiente desenvolvimento do horizonte B; n: acumulação de sódio trocável.

16.3. Descrição morfológica do solo

Nas ciências naturais, a morfologia é definida como a identificação, análise e descrição padronizada da parte interna de organismos e objetos.

A **morfologia do solo** significa então o estudo de sua **aparência no ambiente natural e sua descrição segundo características perceptíveis a olho nu ou tato**. Portanto, corresponde à **anatomia do solo**.

O conjunto das características morfológicas constitui a base fundamental para a identificação do solo. As características morfológicas são descritas em cada horizonte e perfil, pois as mesmas podem variar ao longo do perfil, e apresenta **metodologia e redação padronizadas** de acordo com as suas *feições morfológicas*.

Principais feições morfológicas:

- a) **Espessura do horizonte:** distância vertical entre o início e o final do horizonte.
Ex.: um solo qualquer tem horizonte O com 5 cm de espessura, A com 50 cm de espessura e B com 200 cm de espessura.
- b) **Profundidade do horizonte:** distância vertical entre o início e o final do horizonte e a superfície do horizonte A. Ex.: horizonte O com profundidade de 0 a 5 cm; A com profundidade de 0 a 50 cm; horizonte B de 50 a 250 cm.
- c) **Transição entre os horizontes:** se refere à nitidez ou contraste de separação entre os horizontes:
abrupta: <2,5 cm; **clara:** 2,5 a 7,5 cm; **gradual:** 7,5 a 12 cm ou **difusa:** > 12 cm.
- d) **Topografia:** horizontal, ondulada, irregular ou descontínua
- e) **Cor**
- f) **Textura**
- g) **Estrutura**
- h) **Consistência**

Descrição do perfil (convenção):

Horizonte: espessura; designação de cor (úmido, seco); textura; estrutura, tipo, classe, grau; consistência, seco, úmido, molhado, outros (raízes, transição, cerosidade, etc.)

Exemplo: Ap: 0-15 cm; bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2 úmido), bruno-claro-acinzentado (10 YR 6/3, seco); argiloso, blocos, média, forte; duro, plástico, pegajoso; cerosidade comum.

Além de sua descrição do perfil, a morfologia do solo é importante para inferir sobre outras propriedades importantes no manejo do solo, tais como drenagem, retenção de umidade, permeabilidade, compactação, susceptibilidade à erosão, etc.

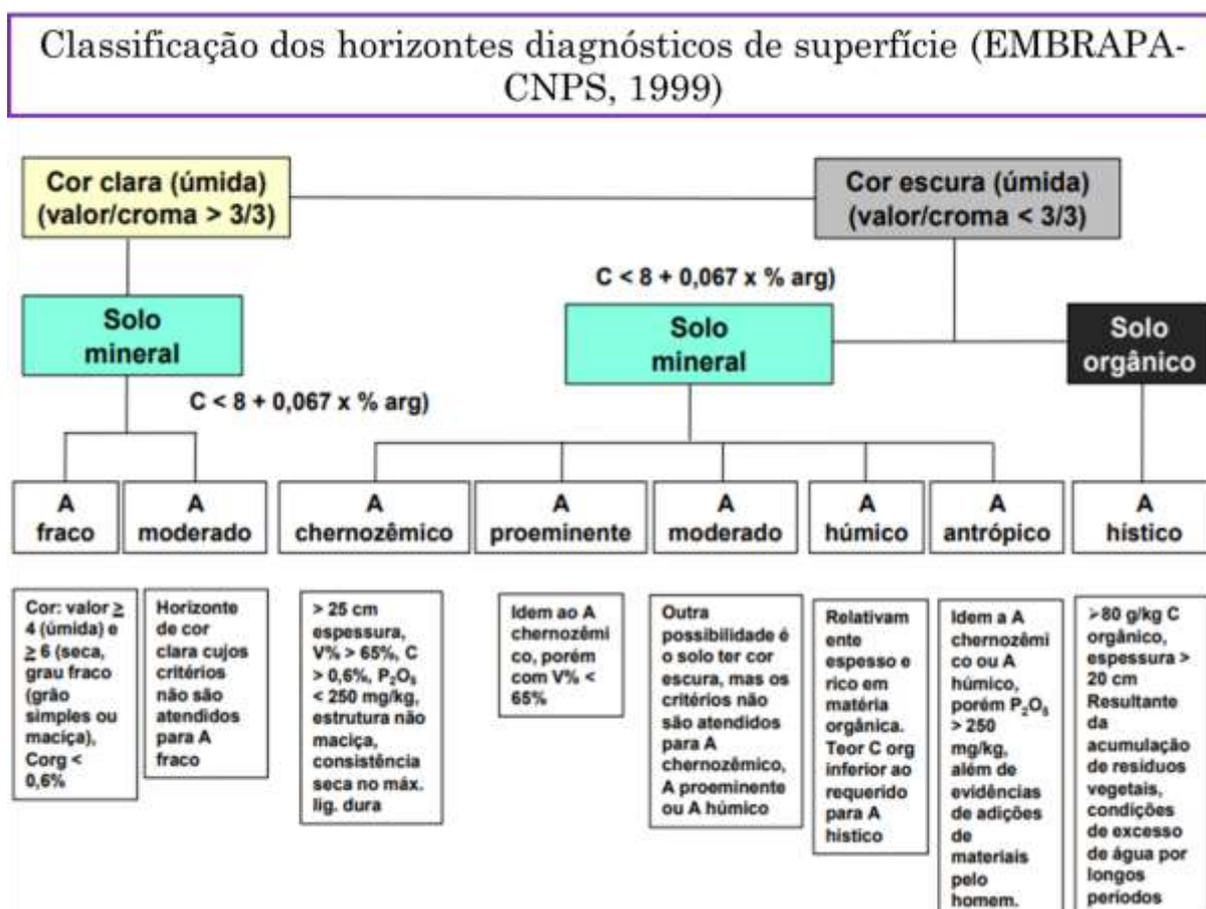
16.4. Horizontes diagnósticos

A caracterização dos horizontes no perfil permite a identificação do solo, o qual pode ser então objeto de classificação.

A classificação dos solos é **baseada na presença ou ausência de determinados horizontes**, denominados horizontes diagnósticos.

Os horizontes diagnósticos podem ser superficiais ou subsuperficiais.

15.2. Horizontes diagnósticos superficiais:



- Horizonte A fraco

Horizonte mineral superficial fracamente desenvolvido, seja pelo teor reduzido de colóides minerais ou orgânicos, ou pelas condições de clima e vegetação: como as que ocorrem em regiões semi-áridas com vegetação de Caatinga.

Estrutura simples, maciça ou com grau fraco de desenvolvimento, teor de carbono (C) orgânico menor que 6,0 g/kg ou espessura menor que 5 cm: todo horizonte superficial com menos de 5 cm de espessura é FRACO.

- **Horizonte A moderado**

Em geral difere dos horizontes A chernozêmico, A proeminente e A húmico pela coloração e/ou espessura; e difere do A fraco pelo teor de C orgânico e estrutura. Não possuindo características supereficientes para ser enquadrado como horizonte hístico ou A antrópico.

São incluídos nesta categoria os horizontes que não se enquadram no conjunto de definições dos demais horizontes superficiais.

- **Horizonte A chernozêmico**

Horizonte superficial, relativamente espesso, coloração escura, elevada saturação por bases ($V\% > 65\%$, predomínio de Ca e Mg). Estrutura do solo suficientemente desenvolvida.

- **Horizonte A proeminente**

As características do horizonte A proeminente são comparáveis às características do A chernozêmico no que diz respeito à estrutura, espessura, consistência, teor de carbono orgânico, diferindo essencialmente por apresentar $V\% < 65\%$.

- **Horizonte A húmico**

Horizonte mineral superficial, de cor escura com valor e croma (solo úmido) menor ou igual a 4,0, $V\% < 65\%$, espessura mínima como a preconizada no A chernozêmico.

- **Horizonte A antrópico**

É o horizonte formado ou modificado pelo uso contínuo do solo pelo homem para o cultivo ou moradia por períodos prolongados. Com mistura de material orgânico com material mineral. Ocorrendo às vezes fragmentos cerâmicos e restos de ossos e conchas. Assemelha-se aos horizontes A chernozêmico ou A húmico, diferindo destes por apresentar teor de fósforo elevado, ou pela presença de materiais de cerâmica no horizonte A, característico da ação antrópica.

- **Horizonte hístico**

Composto predominantemente por material orgânico, resultado da acumulação de resíduos superficiais. Caracteriza-se por abranger materiais depositados nos solos em condições de excesso de água (horizonte H).

Horizontes diagnósticos subsuperficiais:

Muitos horizontes diagnósticos subsuperficiais são usados para caracterizar diferentes classes de solos nos Sistemas de Classificação dos solos. Cada horizonte diagnóstico apresenta características que ajudam a enquadrar um solo em sua adequada classe do sistema de classificação.

A seguir, serão apresentados alguns horizontes subsuperficiais:

- **B latossólico (Bw)**

Horizonte mineral e subsuperficial que apresenta *elevado grau de intemperização*, associado a fatores de formação do solo (*clima tropical e relevo plano*) e a processos de formação (perdas e transformações).

O avançado estágio de intemperismo é evidenciado pela *alteração quase completa dos minerais primários menos resistentes ao intemperismo e/ou argilas 2:1*, seguida da remoção de bases e concentração de argila 1:1 e minerais mais resistentes ao intemperismo. Refletindo nas propriedades mineralógicas:

Propriedades químicas: relação textural baixa, baixa CTC.

Propriedades morfológicas: pouca diferenciação entre os horizontes, consistência friável, estrutura maciça que se *desfaz em granular*, muito pequena e forte (conhecida como “grão de café”), não apresenta cerosidade.

Não apresenta horizonte E (não tem eluviação de argila).

Espessura mínima de 50 cm.

Típica dos Latossolos.

- **B textural (Bt)**

Horizonte superficial com acumulação de argila no horizonte B promovido pela eluviação.

Possui elevada relação textural (% de argila do horizonte B em relação à % de argila do horizonte A). Pode apresentar mudança *abrupta* de horizonte A para o B. Pode apresentar horizonte E; pode apresentar cerosidade; estrutura em blocos que se desfaz em prismas.

Para haver a formação do horizonte Bt o *material de origem* deve conter argila ou o intemperismo a deve produzir. Com a percolação da água no perfil, a argila tende a ser transportada das camadas superiores e se acumula no horizonte B.

Típico dos Argissolos, Chernossolos e Luvisolos.

- **B nítico (Bn)**

Horizonte mineral subsuperficial, textura argilosa ou muito argilosa, sem incremento de argila do horizonte A para o B ou com pequeno incremento, estrutura em blocos subangulares, angulares ou prismática, com superfícies reluzentes dos agregados, caracterizado a campo como cerosidade moderada ou forte, com transição difusa entre os horizontes.

Típico dos Nitossolos.

- **B plânico**

Tipo especial de horizonte B textural, com mudança textural abrupta, estrutura prismática, colunar ou em blocos angulares e subangulares grandes ou médios, permeabilidade lenta ou muito lenta e cores acinzentadas ou escurecidas.

Este horizonte geralmente é adensado e apresenta elevados teores de argila dispersa em água, podendo ser responsável pela formação de lençol d'água suspenso e de existência temporária nos períodos chuvosos ou podendo formar até lâmina de água na superfície.

Horizonte diagnóstico para os Planossolos.

- **B incipiente**

É um horizonte subsuperficial no *início da formação do horizonte B*, o qual sofreu alteração física e química em grau não muito avançado, mas o suficiente para já ter diferenciação de cor e estrutura. Mais da metade do volume do horizonte é diferente da rocha original.

Típico dos Cambissolos.

- **B espódico**

Horizonte mineral subsuperficial com espessura mínima de 2,5 cm, *acumulação iluvial de matéria orgânica, associada a complexos de sílica-Al ou húmus-Al, com ou sem presença de Fe*. Não apresenta organização estrutural definida. Típica dos Espodossolos.

- **Plíntico**

Caracteriza-se pela presença de plintita em quantidade mínima igual a 15% do seu volume, e pelo menos 15 cm de espessura.

PLINTITA: acumulações localizadas de óxidos de Fe na forma de mosqueados e nódulos macios de cor avermelhada, capazes de endurecer e cimentar irreversivelmente através de ciclos de umedecimento e secagem.

Forma-se em terrenos com *lençol freático alto ou com restrição temporária de percolação de água*. Regiões de clima quente e úmido, com relevo plano a suave ondulado com áreas baixas, favorecem a ocorrência deste tipo de horizonte, por permitir que o terreno se mantenha saturado com água durante parte do ano, tais como na região Amazônica ou Pantanal. Dá origem aos Plintossolos.

- **Glei**

É um horizonte mineral subsuperficial ou eventualmente superficial, com espessura de 15 cm ou mais, caracterizado pela redução do ferro e prevalência no estados reduzido, devido principalmente à presença de água estagnada, como evidenciado por cores neutras ou próximas de neutras, com ou sem mosqueados de cores mais vivas. Trata-se de um horizonte fortemente influenciado pelo lençol freático e regime de umidade redutor. Dá origem aos Gleissolos.

- **Vértico**

Apresenta minerais de argila 2:1, alto teor de matéria orgânica. Ocorre em locais planos com drenagem impedida. Estrutura em prismas; presença de fendas; consistência dura. Dá origem ao Vertissolo.

16. SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

O homem sempre teve a tendência de classificar os objetos que lida. O solo pela sua importância não é exceção.

Desde que o homem deixou de ser um caçador ou catador de frutos silvestres e passou a cultivar plantas para se alimentar, ele começou a classificar os solos em grupos bastantes simples, como bons ou ruins para o cultivo de determinadas plantas. Mais tarde, com o avanço das ciências surgiram as *classificações científicas ou taxonômicas*.

O propósito de uma taxonomia é organizar o conhecimento acerca dos indivíduos que estão sendo classificados. Todas as ciências naturais dão nomes científicos aos seus objetos de estudo para que possam ser universalmente reconhecidos. Assim também deve ocorrer para os solos.

Cientistas pedólogos desenvolvem sistemas taxonômicos para melhor estudar, entender e comunicar suas descobertas.

O processo de classificação envolve a formação de *unidades taxonômicas*, que em Pedologia, tem o nome de *classes* que agrupam solos com *base em atributos que lhes são comuns*. Elas nos ajudam a lidar com a complexidade da grande variedade de solos existentes. Desta forma, os “indivíduos solo”, representados pelos seus perfis (ou *pedons*) são reunidos em *classes de várias categorias hierarquizadas*, das mais gerais às mais específicas.

16.1. Sistemas modernos de classificação dos solos

Após 1950, houve um grande avanço nos levantamentos pedológicos. Tal fato foi acompanhado pelo desenvolvimento de vários sistemas de classificação dos solos, entre os quais se destacam os desenvolvidos no Estados Unidos, Portugal, Bélgica, França, Austrália e Brasil. Além do desenvolvido pela FAO/UNESCO (Organização da Nações Unidas para Agricultura e Alimentação).

O sistema de classificação Soil Taxonomy (EUA) iniciou-se em 1934 e conta com 7 aproximações (1975), 14 ordens, exigindo muitas análises laboratoriais, muito detalhado.

O sistema de classificação da FAO é mais simplificado, exige menos análises laboratoriais, com o objetivo de ajudar os países subdesenvolvidos, conta com 25 ordens.

Todos sistemas modernos de classificação de solos utilizam o conceito de horizontes diagnósticos para definição de suas unidades taxonômicas.

O primeiro passo para classificar um determinado solo é o exame de seus horizontes em perfis expostos em trincheiras ou em barrancos de estradas.

A **presença ou ausência de certos horizontes** é essencial para definir qual é a classe taxonômica do solo.

Não se pode confundir os horizontes diagnósticos com os pedogenéticos (O, A, E, B e C), que podem ser identificados diretamente no campo, examinando-se sua morfologia.

No campo, a presença de *horizontes diagnósticos* poderá ser prevista, mas para confirmá-los com certeza de que a taxonomia exige, é necessário além da descrição morfológica, fazer análises químicas, físicas e mineralógicas. Os horizontes diagnósticos baseiam-se em *atributos quantificados*, o que descarta fatores subjetivos.

Os mais modernos sistemas taxonômicos de classificação dos solos utilizam o conceito de horizontes diagnósticos, inclusive o brasileiro, que adotou com base os sistemas Americano e da FAO/UNESCO.

16.2. Sistemas Brasileiros de Classificação dos Solos (SiBCS)

O Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS) foi desenvolvido com base em muitos levantamentos exploratórios e de reconhecimento realizados nos últimos 60 anos em todos os estados do Brasil. Sua primeira versão foi apresentada pela EMBRAPA em 1999 e é constantemente revista e aperfeiçoada.

O SiBCS está elaborado tomando como base perfis representativos dos níveis hierárquicos mais elevados (*ordem, subordem e grandes grupos*) identificados em levantamentos dos tipos reconhecimento e exploratório.

SiBCS utiliza uma **estrutura hierarquizada**, em que os solos são separados em classes que se inserem em 6 níveis categóricos:

- 1º) Ordens ; 2º) Subordens
- 3º) Grandes Grupos; 4º) Subgrupos; 5º e 6º) Família e série

16.2.1. Níveis categóricos do SiBCS

a) Primeiro Nível categórico → **Ordens:**

O primeiro nível categórico engloba 13 classes separadas principalmente pela **presença ou ausência de horizontes diagnósticos**, que refletem diferenças relacionadas a processos pedogenéticos, bem como algumas de suas características mais especiais, denominadas atributos diagnósticos.

No primeiro nível categórico (ordem), os nomes das 13 classes são formados pela associação de um elemento formativo com a terminação “-solos”. São apresentados, na Tabela abaixo, os nomes das classes, em ordem alfabética, seus respectivos elementos formativos e os seus significados.

Classes	Elementos formativos	Termos de conotação e de memorização
ARGISSOLO	ARGI	Do latim <i>argilla</i> , “argila”; conotativo de solos com processo de acumulação de argila
CAMBISSOLO	CAMBI	Do latim <i>cambiare</i> , “trocar”, “mudar”; conotativo de solos em formação (transformação). Horizonte B incipiente
CHERNOSSOLO	CHERNO	Do russo <i>cherniy</i> , “preto”; conotativo de solos ricos em matéria orgânica, com coloração escura
ESPODOSSOLO	ESPODO	Do grego <i>spodos</i> , “cinza vegetal”; conotativo de solos com horizonte de acumulação iluvial de matéria orgânica associada à presença de alumínio. Horizonte B espódico
GLEISSOLO	GLEI	Do russo <i>gley</i> , “massa do solo pastosa”; conotativo de excesso de água. Horizonte glei
LATOSSOLO	LATO	Do latim <i>lat</i> , “tijolo”; conotativo de solos muito intemperizados. Horizonte B latossólico
LUVISSOLO	LUVI	Do latim <i>luere</i> , “lavar”; conotativo de translocação de argila. Horizonte B textural com alta saturação por bases e Ta
NEOSSOLO	NEO	Do grego <i>neo</i> , “novo”; conotativo de solos com pouco desenvolvimento pedogenético
NITOSSOLO	NITO	Do latim <i>nitidus</i> , “brilhante”; conotativo de superfícies brilhantes nas unidades estruturais. Horizonte B nítico
ORGANOSSOLO	ORGANO	Do latim <i>organicus</i> , “pertinente ou próprio dos compostos de carbono”; conotativo de solos com maior expressão da constituição orgânica. Horizonte H ou O
PLANOSSOLO	PLANO	Do latim <i>planus</i> , “plano”; conotativo de solos desenvolvidos em planícies ou depressões com encharcamento estacional. Horizonte B plânico
PLINTOSSOLO	PLINTO	Do grego <i>plinthos</i> , “ladrilho”; conotativo de materiais argilosos coloridos que endurecem quando expostos ao ar. Horizonte plíntico
VERTISSOLO	VERTI	Do latim <i>vertere</i> , “virar”, “inverter”; conotativo de movimento de material de solo na superfície e que atinge a subsuperfície (expansão/contração). Horizonte vértico

Exemplo: *Ordem:* Nitossolo; *Subordem:* Nitossolo Vermelho; *Grande grupo:* Nitossolo Vermelho Eutroférico; *Subgrupo:* Nitossolo Vermelho Eutroférico típico.

São os diferentes tipos de horizontes diagnósticos combinados com algumas de suas características específicas, que indicarão a que classe pertence um determinado solo. Na Figura 2 abaixo, está apresentado o mapa de ocorrência das Ordens de solos no Brasil.



Figura 2. Classificação dos Solos no território brasileiro.

Além dos horizontes diagnósticos, outras camadas ou atributos especiais dos horizontes principais são reconhecidas e definidas.

Essas feições são mais utilizadas como critérios diagnósticos nos níveis categóricos mais baixos do sistema, e incluem vários *parâmetros morfológicos, químicos e físicos*, tais como material orgânico, mudança textural, saturação por bases (V%), etc.

Como identificar os solos no primeiro nível categórico (Ordem)?

Para identificar a classe de solo, deve-se conhecer sua *descrição morfológica* e os resultados de suas *análises de laboratório*.

Com isso, será possível identificar seus horizontes superficiais e subsuperficiais, bem como os principais atributos diagnósticos.

Feito isso, deve-se consultar a *chave de identificação* da categoria mais elevada: ORDENS.

Identificando os horizontes e atributos diagnósticos e seguindo a chave de identificação, é possível verificar em qual ORDEM um determinado solo se enquadra.

b) Segundo Nível categórico → Subordens:

No nível das subordens, as classes foram separadas por *atributos que refletem a atuação de processos pedogenéticos* que agiram conjuntamente ou afetaram os processos *dominantes* já considerados para separar os solos no primeiro nível categórico.

Esses atributos, além de ressaltarem a ausência ou presença de outros horizontes diagnósticos, *não considerados no nível de ordem*, incluem características diferenciais que representam variações das classes do primeiro nível categórico, como por exemplo a cor do horizonte B.

Por exemplo, se um solo for classificado na ordem *Latossolo*, ele poderá pertencer a uma das quatro subordens:

- *Latossolo Bruno*: cores do horizonte B *amarelo-brunadas*
- *Latossolo Amarelo*: cores do horizonte B *amarelas*
- *Latossolo Vermelho*: cores do horizonte B *vermelhas*
- *Latossolo Vermelho-Amarelo*: cores do horizonte B *alaranjadas*

c) Terceiro Nível categórico → Grandes Grupos:

No terceiro nível categóricos estão os Grandes Grupos que representam subdivisões das subordens, baseados principalmente no *tipo, arranjo e grau de expressão dos horizontes*, com ênfase na atividade de argila, saturação por bases (V%), alumínio, sódio e sais solúveis. Algumas características que restringem ou afetam o desenvolvimento das raízes também foram consideradas, bem como teores de ferro em algumas subordens dos Latossolos.

Por exemplo, o *Latossolo Vermelho* poderá pertencer a um dos 8 Grandes Grupos; entre eles está o *Latossolo Vermelho Eutroférico*, que reúne solos com altos teores de Fe e elevada saturação por bases ($V\% > 50\%$).

d) Quarto Nível categórico → **Subgrupos:**

No quarto nível categórico, as classes estão separadas por *características que representam o conceito central da classe* (o solo mais típico daquele grande grupo), e por *outras características que indicam se tal conceito é intermediário* para o 1º, 2º ou 3º nível categórico. Consideram-se também algumas *características extraordinárias*, como por exemplo, solos afetados por atividades antrópicas, que são adjetivados por antropogênicos.

Essas classes são separadas conforme os seguintes conceitos (adaptados de Estados Unidos, 1999):

- Típicos – Não são necessariamente os de ocorrência mais extensiva, nem representam o conceito central do grande grupo ao qual pertencem. Em algumas classes, os subgrupos típicos simplesmente representam os solos que não têm as características definidas para os subgrupos anteriores na chave taxonômica.
- Intermediários ou transicionais para outras ordens, subordens ou mesmo grandes grupos – As propriedades podem ser resultantes de processos que levam um dado solo a se desenvolver a partir ou na direção de outra classe de solo, ou ainda, que têm propriedades intermediárias para outras classes. Entre as propriedades usadas para definir os intermediários, estão: ocorrência de outros horizontes diagnósticos além daqueles que definem a classe no nível taxonômico anterior, sobrepostos ou abaixo do horizonte diagnóstico principal (p. ex., vertissólicos, gleissólicos, etc.); ou ainda, características diagnósticas associadas a outra classe em expressão inferior à necessária para definir o horizonte diagnóstico (p. ex., plintossólicos, tíônicos).
- Extraordinários – Esses subgrupos têm algumas propriedades que não são representativas do grande grupo, mas não indicam transição para outra classe (p. ex., abrupáticos, antrópicos, lépticos). O ordenamento das classes de 4º nível categórico baseou-se no grau de importância do qualificativo de subgrupo, conforme a relação mostrada a seguir:

- *abruptico*: mudança textural abrupta

- *arênico*: textura arenosa até 50 cm de profundidade

- *antropogênico*: solos afetados por atividade antrópica

- *argissólico*: B textural e cerosidade
- *cambissólico*: B incipiente
- *chernossólico*: tipos de horizonte A
- *fragipânico*: presença de fragipã
- *gleissólico*: horizonte glei
- *latossólico*: presença de horizonte B latossólico
- *luvisólico*: B textural e argila de atividade alta
- *plíntico*: presença de horizonte plíntico
- *salino*: caráter salino

e) Quinto Nível categórico → **Famílias**:

A subdivisão das classes de 5º nível categórico do SiBCS foi realizada com base em características e propriedades morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas importantes para uso e manejo dos solos.

Os critérios recomendados devem ser testados nas distintas classes de solos, verificando metodologias apropriadas e respostas em termos de importâncias agronômica, geotécnica e para fins diversos. Esse é um campo que deve ser estimulado nas ações de pesquisas nas instituições diversas.

Sugere-se a seguinte sequência de características diferenciais: grupamento textural; distribuição de cascalhos; nódulo e concreções no perfil; V%; m%; mineralogia; atividade de argila; teor de FeO.

É escrito adicionando-se ao nome do subgrupo os qualitativos pertinentes com **letras minúsculas**, separados com vírgula.

Ex.: Latossolo Vermelho Ácrico petroplíntico, textura argilosa cascalhenta.

f) Sexto Nível categórico → **Séries**:

O 6º nível categórico está em discussão e deverá ser o mais homogêneo do sistema. É o nível que permite melhor interpretação dos levantamentos de solos para diversos fins. Não existe ainda nomenclatura sugerida

A definição de classes neste nível deverá ter por base características diretamente relacionadas com o crescimento de plantas, principalmente no que concerne ao desenvolvimento do sistema radicular, às relações solo-água-plantas e às propriedades importantes nas interpretações para fins de engenharia, geotecnia e planejamento ambiental.

16.2.2. Redação das classes de solos do SiBCS nas publicações nacionais e internacionais

Em textos corridos de livros, artigos em revistas, teses, dissertações, tabelas e semelhantes:

- as **classes de 1º, 2º e 3º níveis categóricos** devem ser **escritas em minúsculas com as primeiras letras maiúsculas**.

- no 4º nível categórico, com todas as letras minúsculas.

Exemplo: “Neossolos Flúvicos Eutróficos vertissólicos”.

A tradução para outros idiomas dos nomes das classes não é recomendada, pois se tratam de nomes próprios. Se necessário, deve ser feita a equivalência de classes do SiBCS para o outro sistema taxonômico, acrescentando, entre parênteses e após o nome da classe de solo do SiBCS, a equivalência para o outro sistema. O nome da classe do SiBCS terá sua grafia em itálico. Exemplos: *Latossolos* (Oxisols), *Latossolos* (Ferralsols).

16.3. Ordens de solos no SiBCS

As principais classes de solo brasileiro são representadas pelos Latossolos, Argissolos, Neossolos e Plintossolos, que juntos compõem 84% do território nacional.

Classe	Brasil (%)	Elemento formativo	Termos de conotação e memorização
1 Latossolo	39,0	LATO	"Lat" = material muito alterado Horizonte B
2 Argissolo	24,0	ARGI	Argila Acumulação de argila Tb ou Ta. Horizonte B textural
3 Neossolo	15,0	NEO	Novo Pouco desenvolvido genética
4 Plintossolo	6,0	PLINTO	"Plinthus" Horizonte B
5 Gleissolo	4,0	GLEI	"Glei" Horizonte glei
6 Luvisolo	3,0	LUVI	"Luere" = iluvial Acumulação de argila Ta
7 Cambissolo	2,5	CAMBI	"Cambiare" = trocar, mudar Horizonte B incipiente
8 Vertissolo	2,0	VERTI	"Vertere" = invertido Horizonte vértico
9 Espodossolo	2,0	ESPODO	Cinza vegetal Horizonte B
10 Planossolo	2,0	PLANO	"Planus" Horizonte B
11 Nitossolo	1,5	NITO	"Nitidus" = brilhante Horizonte B nítico
12 Chernossolo	<1,0	CHERNO	Preto Rico em matéria orgânica
13 Organossolo	<1,0	ORGANO	"Orgânico" Horizonte H ou O histórico

a) LATOSSOLOS:

Solos de maior representatividade no Brasil (300 milhões de ha).

Os Latossolos são solos muito intemperizados, com pequena diferenciação entre os horizontes (transição difusa).

São definidos pela presença do horizonte B latossólico muito espesso, imediatamente abaixo de qualquer horizonte superficial, e desenvolvem-se em marcantes e prolongadas condições de *ambientes tropicais quentes e úmidos*.

São conhecidos em outros sistemas de classificação como Ferralsols (FAO/UNESCO e WRB) e Oxissols (U.S. Soil Taxonomy).

Apresentam horizonte A pouco espesso, transição difusa para o horizonte B latossólico muito espesso:

- alta concentração de argila 1:1 e minerais mais resistentes ao intemperismo (quartzo e caulinita).
- espessura mínima de 50 cm.
- **não** tem horizonte E (não tem eluviação de argila).
- baixa relação textural (%argila horizonte B/%argila horizonte A).

Consistência muito friável, alta porosidade e coloração que varia de avermelhado a amarelado. A textura relativamente uniforme em todo o perfil, varia de média a muito argilosa.

Estrutura composta por agregados granulares, por vezes denominados “pseudo areias” ou “pó de café”, porque os grãos são muito pequenos solos e bem definidos, similares ao café moído.

Fatores de formação do solo: As condições de Clima tropical úmido, atuaram durante muito tempo em um relevo com superfícies estáveis, quase planas, cujos exemplos mais típicos estão no Chapadões do Cerrado do Brasil Central.

Nestas condições, a maior parte dos minerais regolitos foi intensamente intemperizada e lixiviada, e hoje sobram apenas os mais resistentes (como *quartzo e caulinita*), aos quais foram acrescidos *óxidos de Fe e Al e empobrecidos de cátions básicos* (baixa fertilidade natural). Além disso, foram muito revolvidos pela bioturbulação da fauna local (principalmente formigas e cupins).

Por causa do intemperismo intenso e duradouro, a maioria dos Latossolos *é pobre em nutrientes*. Muitos Latossolos até algumas décadas eram considerados solos problemáticos para a agricultura, devido à sua baixa fertilidade natural. Contudo hoje são muito procurados para atividades agrícolas, principalmente os situados na região do Cerrado, pelos resultados de pesquisa agrícola e avanços tecnológicos relacionados ao *uso adequado de corretivos de acidez de solo e de fertilizantes*.

Nas áreas onde essa tecnologia é aplicada e onde os manejos seguem métodos estabelecidos pela pesquisa agrícola, os Latossolos são economicamente bastante produtivos quando cultivados para fins de pastagem ou outras atividades agrícolas (soja, milho, sorgo, algodão, etc.).

Além disso, várias **condições físicas são favoráveis para o cultivo:**

- Relevo plano a suave ondulado;
- Baixa susceptibilidade a erosão hídrica;
- Favoráveis à mecanização das operações agrícolas;
- Boas propriedades internas pela alta friabilidade e permeabilidade.

No SiBCS, eles são divididos em quatro **Subordens:** Latossolo Vermelho; Latossolo Vermelho-Amarelo; Latossolo Amarelo; Latossolo Bruno.

- Latossolo Vermelho Férrico:

Apresentam cor igual ou mais vermelha que 2,5YR (“Vermelho”), teor de óxidos de ferro >18%, caracterizando-o como “Férrico”. Ocupam cerca de 4% das áreas de Cerrado, muito encontrado na Bacia do Rio Paraná.

Anteriormente classificados como Latossolos Roxos.

Característica marcante: susceptibilidade magnética. As partículas são facilmente atraídas por um ímã, devido à presença de magnetita e maghemita, óxidos de ferro com propriedades magnéticas.

São argilosos ou muito argilosos. Os materiais de origem geralmente são as rochas máficas, como o basalto.

Três subgrupos de Latossolo Vermelho Férrico: distroférrico, eutroférrico e acriférrico. Os distroférricos são os mais abundantes no Cerrado.

- Latossolo Vermelho Não-férrico:

São os Latossolos Vermelhos com teor de óxidos de ferro $\leq 18\%$; textura desde muito argilosa à média; forte coloração dificulta separação dos horizontes, somente pela cor. A cor vermelha é marcante pela presença de hematita.

Ocupam 19% da área do Cerrado e estão concentrados no sudoeste do Brasil.

Anteriormente eram classificados como **Latossolos Vermelho-Escuros – LVE**.

- Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Latossolo Amarelo (LA)

O Latossolo Vermelho-Amarelo apresenta cor laranjada, com matiz entre 2,5YR e 5YR; já Latossolo Amarelo possui cor nitidamente amarela, mais que 5YR. O matiz amarelado é caracterizado pela presença de goethita (óxido de ferro).

Juntos, LA e LVA ocupam 22% da área do Cerrado e estão amplamente distribuídos por todo o território brasileiro.

Teor de óxidos de ferro: geralmente (mas nem sempre), menor que em outros Latossolos. O material de origem era pobre em ferro, ou, o ferro foi removido do solo pela água de percolação.

Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Amarelo possuem textura média até muito argilosa, Embora os LA e LVA, geralmente, tenham vários metros de profundidade, são menos profundos que os Latossolos Vermelhos.

Em alguns Latossolo Amarelo possuem a presença de nódulos e concreções avermelhadas. Isso pode indicar que os LA já foram mais vermelhos, ou seja, no passado tinham características semelhantes aos Latossolos Vermelhos.

b) ARGISSOLOS

Os Argissolos também são **muito intemperizados**, mas ao contrário dos Latossolos apresentam diferenciação marcante entre os horizontes, com acúmulo de argila no horizonte B.

São definidos pela presença do horizonte B textural, imediatamente abaixo do horizonte A ou E, com acúmulo de argila iluvial (removida de A ou E):

- pode apresentar mudança gradual a abrupta entre os horizontes (A p/ B).
- pode apresentar **horizonte E**.
- elevada relação textural (%argila horizonte B/%argila horizonte A).

Forma uma classe relativamente heterogênea, que tem em comum o *aumento de argila em profundidade*. Os perfis de Argissolos mais típicos apresentam diferenciação moderada a marcante no perfil, com *horizonte A escuro sobre um horizonte E acinzentado*, sobre um horizonte B com aumento de argila.

Depois dos Latossolos é a ordem mais extensa no Brasil (20% do território), e talvez seja a ordem mais heterogênea, pois apresenta solos rasos ou muito profundos, com alta ou baixa saturação por bases, transições de textura gradual ou abrupta.

O **relevo** é também variável de montanhoso a suave ondulado.

Prestam-se relativamente bem para atividades agrícolas desde que não sejam situados em áreas montanhosas com fortes aclives, sujeitos à erosão hídrica. Essa susceptibilidade é ainda maior quando horizonte A é arenoso com aumento **abrupto** de argila em profundidade. O acúmulo de argila no horizonte Bt reduz muito sua permeabilidade. Somado ao fato do horizonte superficial ser muitas vezes arenoso, a grande limitação agrícola é o risco de erosão. Portanto deve ser destinado preferencialmente a culturas perenes ou pastagens.

A maior parte dos Argissolos é ácida e pobre em nutrientes, havendo a necessidade de uso adequado de práticas corretivas e de fertilizantes.

Ocupam 15% da área do Cerrado e estão amplamente distribuídos por todo o território brasileiros. Tendem a ser mais férteis que os outros solos do Cerrado. Cerca de 30% são eutróficos. Tendem a ocupar o terço inferior das colinas e morros.

Anteriormente eram classificados como Solos Podzólicos. São semelhantes aos Ultissolos. Embora existam Argissolos de todas as colorações, a maioria deles tem cores amareladas. Profundidade entre os Latossolos e os Cambissolos.

Nesta classe, estão incluídos os solos que foram classificados anteriormente como Podzólico Vermelho-Amarelo com argila de atividade baixa ou alta, pequena parte de Terra Roxa Estruturada, de Terra Roxa Estruturada Similar, de Terra Bruna Estruturada e de Terra Bruna Estruturada Similar, na maioria com gradiente textural necessário para B textural, em qualquer caso Eutrófico, Distrófico ou Álico, Podzólico Bruno-Acinzentado, Podzólico Vermelho-Escuro, Podzólico Amarelo, Podzólico Acinzentado e mais recentemente solos que foram classificados como Alissolos com B textural. No SiBCS, são subdivididos em 5 subordens: Argissolo Acinzentado, Argissolo Bruno-acinzentado, Argissolo Vermelho, Argissolo Amarelo, ou Argissolo Vermelho-amarelo.

c) **NEOSSOLOS**

Compreendem solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso que não apresenta alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, seja em razão de características inerentes ao próprio material de origem (como maior resistência ao intemperismo ou composição químico-mineralógica), seja em razão da influência dos demais fatores de formação (clima, relevo ou tempo), que podem impedir ou limitar a evolução dos solos. Alguns solos podem ainda apresentar horizonte B, mas com insuficiência de requisitos (espessura muito pequena, por exemplo) para caracterizar qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. São 4 subordens:

- Neossolos Litólicos: horizonte superficial diretamente sobre a rocha (A-R);
- Neossolos Regossólicos: horizonte superficial sobre a rocha ou horizonte C, com ocorrência de minerais primários (A-C-R);
- Neossolos Flúvicos: solos derivados de sedimentos aluviais: A-R (camadas fluviais);
- Neossolos Quartzarênicos: solos arenosos, de textura areia ou areia franca: A-R.

- **Neossolo Quartzarênico**

Eram anteriormente chamados de Areias Quartzosas (semelhantes aos Quartzipsaments). Ocupam 15% da área do Cerrado, concentrando-se nessa região. Ao contrário dos Neossolos Litólicos, são mais profundos. Característica principal: teor de areia. Mineral da fração areia: quartzo, extremamente resistente ao intemperismo e desprovido de nutrientes. Os poucos nutrientes que existem estão concentrados na matéria orgânica. São solos muito homogêneos. A única diferença entre os horizontes é o teor de matéria orgânica nos primeiros 10 ou 15 cm. Apresentam horizontes A-C, já que o alto teor de areia não permite formação de horizonte B.

d) PLINTOSSOLOS

Compreendem solos minerais formados sob condições de restrição à percolação da água sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade, de maneira geral imperfeitamente ou mal drenados, e se caracterizam fundamentalmente por apresentar expressiva plintitização com ou sem petroplintita na condição de que não satisfaçam os requisitos estipulados para as classes dos Neossolos, Cambissolos, Luvisolos, Argissolos, Latossolos, Planossolos ou Gleissolos.

Os Plintossolos possuem horizontes com **acúmulo de óxidos de Fe e Al na forma de nódulos ou concreções**. Tais feições podem ser *macias, caso da **plintita***, ou *endurecidas, caso da **petroplintita***.

São definidos pelos horizontes **plíntico** (com mais de 50% de plintita), **petroplíntico** (com mais de 50% de petroplintita) ou litoplíntico (com mais de 50% de petroplintita consolidada e cimentada).

Forma uma classe de solos heterogênea que tem em comum a presença de **plintita ou petroplintita**.

São solos que apresentam, muitas vezes, horizonte B textural sobre ou coincidente com o horizonte plíntico ou com o horizonte concrecionário, ocorrendo também solos com horizonte B incipiente, B latossólico, horizonte glei e solos sem horizonte B.

Usualmente, são solos bem diferenciados, podendo o horizonte A ser de qualquer tipo, tendo sequência de horizontes A, AB seguidos de Bt, Bw, Bi, C ou ainda horizontes A, E seguidos de Bt, C.

Apesar de a coloração destes solos ser bastante variável, verifica-se o predomínio de cores pálidas com ou sem mosqueados de cores alaranjadas a vermelhas ou coloração variegada, acima do horizonte diagnóstico (plíntico, concrecionário ou litoplíntico).

Parte dos solos desta classe (solos com horizonte plíntico) tem, em sua grande maioria, ocorrência relacionada a terrenos de várzeas, áreas com relevo plano ou suave ondulado e menos frequentemente ondulado, em zonas geomórficas de depressão. Ocorre também em terços inferiores de encostas ou áreas de surgentes sob condicionamento quer de oscilação do lençol freático, quer de alagamento ou encharcamento periódico por efeito de restrição à percolação ou escoamento de água.

Outra parte (solos com horizonte concrecionário principalmente) apresenta melhor drenagem e ocupa posições mais elevadas em relação aos solos com horizonte

plíntico. Encontra-se normalmente em bordos de platôs e áreas ligeiramente dissecadas de chapadas e chapadões das regiões Central e Norte do Brasil.

Esses solos são típicos de zonas quentes e úmidas, geralmente com estação seca bem definida ou que pelo menos apresentem um período com decréscimo acentuado das chuvas. Ocorrem também na zona equatorial úmida e mais esporadicamente em zona semiárida.

As áreas mais expressivas ocupadas pelos solos com drenagem mais restrita estão situadas no Médio Amazonas (interflúvios dos rios Madeira, Purus, Juruá, Solimões e Negro), na Ilha de Marajó, no Amapá, na Baixada Maranhense-Gurupi, no Pantanal, na planície do rio Araguaia, na Ilha do Bananal e na região de Campo Maior do Piauí, enquanto as ocupadas pelos solos de melhor drenagem, com presença significativa de petroplintita no perfil, ocorrem com maior frequência nas regiões Central e Norte do Brasil, principalmente nos estados do Tocantins, Pará, Amazonas, Mato Grosso, Goiás, Piauí e Maranhão e no Distrito Federal.

São divididos em 3 subordens:

- Plintossolos Pétricos: bem drenados com horizonte concrecionário e/ou petroplíntico;
- Plintossolos Argilúvicos: drenagem restrita e horizonte e plíntico;
- Plintossolos Háplicos: drenagem restrita e horizonte e plíntico.

Os Plintossolos Argilúvicos e Háplicos, quando usados para agricultura, para o plantio de arroz por exemplo, tem de ser submetido a práticas de manejo especiais para o controle da dinâmica da água, porque com a drenagem da água *pode haver endurecimento da plintita*.

Os Plintossolos Pétricos são considerados *problemáticos para agricultura*, devido à *presença de concreções que dificultam o crescimento radicular e as operações das máquinas*.

e) GLEISSOLOS

Gleissolos são comuns nas **baixadas úmidas, saturadas com água**, por períodos suficientes para que o **Fe seja reduzido, removido e o solo torne-se descolorido, com padrões acinzentados característicos**.

Eles são definidos pelo material constitutivo predominantemente mineral, com **horizonte glei** nos primeiros 150 cm e com menos de 50% de plintita, abaixo de um horizonte A ou H pouco espesso.

São 2 horizontes mais típicos: *horizonte superficial espesso e escurecido (húmico ou hístico) e o A moderado*.

A maioria dos Gleissolos situa-se em **várzeas**, que permanecem encharcadas a maior parte do ano, com elevação do lençol freático.

Para serem **utilizadas na agricultura** precisam primeiramente ser **drenadas e com proteção contra inundação**. Em alguns locais constituem **depósitos argilosos acinzentados ou “barro de olaria”**, que podem ser extraídos para fabricação de telhas e tijolos.

São 4 subordens:

- Gleissolos Tiomórficos: com presença de enxofre;
- Gleissolos Sálícos: altos teores de sais solúveis;
- Gleissolos Melânicos: horizonte superficial mais escuro;
- Gleissolos Háplícos: horizonte superficial mais claro (A moderado).

f) LUVISSOLOS

Luvissolos são pouco ou medianamente intemperizados, ricos em bases e com acúmulo de argila no horizonte B.

São definidos por um **horizonte B textural** imediatamente abaixo do horizonte A ou E, com acúmulo de argila de atividade alta e *elevada saturação por bases*.

Estes solos variam de bem a imperfeitamente drenados, sendo normalmente pouco profundos, com sequência de horizontes A, Bt e C; e nítida diferenciação entre os horizontes A e Bt devido ao contraste de textura, cor e/ou estrutura entre eles. A transição para o horizonte B textural é clara ou abrupta, e grande parte dos solos desta classe possui mudança textural abrupta. Podem ou não apresentar pedregosidade na parte superficial e caráter solódico ou sódico na parte subsuperficial.

As 2 subordens são:

- Luvisolos Crômicos: A delgado e B avermelhado;
- Luvisolo Háptico: A moderado e B cor brunada.

A pequena espessura dos Luvisolos Crômicos do Nordeste é devida à escassez de chuvas, que *dificulta a intemperização das rochas* e assim o aprofundamento do solo.

Os Luvisolos ocorrem em **regiões climáticas muito distintas** o que faz com que existam muitas diferenças em relação à aptidão agrícola.

Os Crômicos são encontrados na região Semi-Árida, enquanto os Hápticos estão na região Sul e da Amazônia, em áreas com leve deficiência hídrica.

No Nordeste semi-árido, a acentuação deficiência hídrica, aliada a características físicas pouco favoráveis à agricultura, como solos com pouca espessura e presença de pedras na superfície, faz com que seu principal uso seja para *pecuária extensiva*. No Sul, os Hápticos são usados para *lavoura ou pastagens*.

g) CAMBISSOLOS

Cambissolos são solos no início de sua formação, ou embriônicos, com poucas características diagnósticas.

São definidos pelo **horizonte B incipiente** subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, desde que o perfil não apresente os requisitos para Chernossolos, Plintossolos e Gleissolos. Têm sequência de horizontes A ou hístico, Bi, C, com ou sem R.

O nome Cambissolo (do latim Cambiare – mudança) refere-se ao **material em estado de transformação**.

Os perfis mais típicos ocorrem em área de **relevo acidentado**.

São **pouco profundos, com argila de atividade alta, discreta variação de textura, presença de minerais primários** facilmente intemperizáveis, e algumas apresentam também **fragmentos de rochas**.

Uma grande parte dos Cambissolos está na **região montanhosa de difícil acesso e manejo**. *A pouca espessura do solo, a pedregosidade e a baixa saturação por bases restringem muito o uso para a agricultura.*

São 3 subordens: Cambissolos Húmicos; Cambissolos Flúvicos; Cambissolos Háplicos.

h) VERTISSOLOS

Vertissolos são os solos que **quando secos formam FENDAS**, por conterem muita *argila com capacidade de expansão (quando molhada) e contração (quando seca)*. São definidos pelo **horizonte vértico** entre 25 a 100 cm de profundidade, formando **fendas verticais** de pelo menos 1 cm de largura e até 50 cm de profundidade.

O nome Vertissolos refere-se ao **constante revolvimento natural do material interno do solo**, provocado pela expansão e contração das argilas com a dinâmica da água no solo. Muitos eram conhecidos como “Grumossolos” e no Nordeste são popularmente chamados de “**Massapé**”.

Os perfis mais representativos são cinza-escuros, com *insignificante diferenciação entre os horizontes* e a *presença de fendas na estação seca*.

Apesar da **alta fertilidade natural**, os Vertissolos apresentam **muitos problemas para agricultura**, por suas propriedades físicas, pois o material argiloso é muito **plástico e pegajoso quando úmido**, e muito **duro quando seco**, o que dificulta as operações das máquinas agrícolas e o crescimento radicular.

i) ESPODOSSOLOS

Espodossolos tem um horizonte claro arenoso sobre outro escuro, com **acúmulo eluvial de compostos de Al e/ou Fe e/ou húmus**.

São definidos pela presença de um *horizonte B espódico* imediatamente abaixo de um horizonte A, E ou hístico. Os perfis mais típicos apresentam **horizonte B escuro e cimentado**. Esse horizonte se forma, pois a decomposição de matéria orgânica do horizonte O acidifica muito a solução, que leva à dissolução de alguns minerais, que liberam íons de Fe e Al.

A intensa translocação de compostos de Fe, Al e matéria orgânica **forma um horizonte eluvial**, cimentando-o quando esses compostos se reorganizam em forma de *precipitados que preenchem* o horizonte B.

Esses solos apresentam, usualmente, sequência de horizontes A, E, B espódico, C, com nítida diferenciação de horizontes.

A cor do horizonte A varia de cinzenta até preta e a do horizonte E desde cinzenta ou acinzentada-clara até praticamente branca. A cor do horizonte espódico varia desde cinzenta, de tonalidade escura ou preta, até avermelhada ou amarelada.

São desenvolvidos principalmente de materiais arenoquartzosos sob condições de umidade elevada, em clima tropical e subtropical, em relevo plano, suave ondulado, áreas de depressões. Nas regiões costeiras, em geral, estão associados à vegetação genericamente denominada de Restinga. Os Espodossolos que ocorrem na Amazônia e nos Tabuleiros Costeiros frequentemente estão associados a vegetações conhecidas como Campinarana e Muçununga, respectivamente.

Quase todos Espodossolos do Brasil são **arenosos, pobres em nutrientes e mal drenados**. Por isso são **pouco usados para agricultura**, exceto em algumas áreas do Nordeste são usados para o plantio de coqueiros e cajueiros.

São 3 subordens:

- Espodossolos Humilúvicos: acúmulo de C e Al no horizonte espódico;
- Espodossolos Ferrilúvicos: acúmulo de Fe no horizonte espódico;
- Espodossolos Ferrihumilúvicos: acúmulo de C e Fe no horizonte espódico.

j) PLANOSSOLOS

Os Planossolos têm horizontes superficiais de textura arenosa e horizonte subsuperficial de textura argilosa e adensada.

São definidos pelo horizonte A ou E seguidos de um horizonte **B plânico** (tipo especial de horizonte textural adensado e com mudança textural abrupta), não coincidente com o horizonte plântico ou glei.

Os perfis mais típicos tem o **horizonte A pouco espesso**, seguido do horizonte E de **coloração pálida**, e com mudança **abrupta** para o horizonte B adensado, pouco permeável e com aumento do teor de argila.

É típica do horizonte B a presença de estrutura forte e grande em blocos angulares, frequentemente com aspecto cúbico, ou estrutura prismática ou colunar, pelo menos na parte superior do referido horizonte. Geralmente apresenta consistência dura a extremamente dura quando seco.

Os solos desta classe ocorrem preferencialmente em áreas de relevo plano ou suave ondulado, onde as condições ambientais e do próprio solo favorecem vigência periódica anual de excesso de água, mesmo que de curta duração, especialmente em regiões sujeitas à estiagem prolongada e até mesmo sob condições de clima semiárido.

São subdivididos em 2 subordens:

- Planossolos Háplicos;
- Planossolos Nátricos: alta saturação de sódio.

A maior parte dos Planossolos possuem **restrição física para agricultura**. Apesar dessas restrições, no Rio Grande do Sul são utilizados para o plantio de **arroz e pastagens**.

k) NITOSSOLOS

Os Nitossolos são *medianamente profundos, bastante intemperizados e com fraca diferenciação entre os horizontes*, mas com *macroagregados nítidos e reluzentes* no horizonte B. São definidos por um horizonte B nítico logo abaixo de um horizonte A ou E. **B nítico**: caracterizado sem aumento de argila e com estrutura em blocos e com nítidas superfícies brilhantes. Além disso, o B nítico tem atividade de argila baixa ou caráter ácido (argila com atividade alta e alta saturação por Al).

Os Nitossolos apresentam textura *argilosa a muito argilosa*, sem aumento significativo em profundidade, transição graduação ou difusa entre os horizontes A e B.

Apresenta estrutura com agregados na forma de blocos com *nítidas e brilhantes superfícies*, comumente descritas como *cerosidade*.

Os perfis de Nitossolos considerados típicos apresentam predomínio da *cor vermelha* em todo o perfil, diferenciação gradual entre os horizontes, *média a alta saturação por bases*, e desenvolvem-se em rochas básicas.

No SiBCS, estão subdivididos em 3 subordens: *Nitossolo Vermelho, Nitossolo Bruno, e Nitossolo Háptico*. Os Nitossolos Vermelhos e Nitossolos Brunos constituem uma classe de solo de *grande importância agrônômica*, juntamente com os Latossolos Eutroféricos, são considerados os mais produtivos dos trópicos úmidos.

l) CHERNOSSOLOS

Compreendem solos constituídos por material mineral que têm como características diferenciais: alta saturação por bases e horizonte A chernozêmico sobrejacente a horizonte B textural ou B incipiente, ambos com argila de atividade alta ou sobrejacente a horizonte C carbonático, horizonte cálcico ou petrocálcico ou ainda sobrejacente à rocha, quando o horizonte A apresentar alta concentração de carbonato de cálcio.

São solos normalmente de bem a imperfeitamente drenados, tendo sequências de horizontes A-Bt-C ou A-Bi-C, com ou sem horizonte cálcico, e A-C ou A-R.

m) ORGANOSSOLOS

Compreendem solos pouco evoluídos, com preponderância de características devidas ao material orgânico, de coloração preta, cinzenta muito escura ou brunada, resultantes de acumulação de resíduos vegetais, em graus variáveis de decomposição, em condições de drenagem restrita (ambientes de mal a muito mal drenados) ou saturados com água por apenas poucos dias durante o período chuvoso, como em ambientes úmidos e frios de altitudes elevadas.

Eles são definidos pelo **horizonte hístico** com mais de 40 cm de profundidade.

São 4 subordens:

- Organossolos Tiomórficos: com presença de enxofre;
- Organossolos Fólicos: áreas montanhosas úmidas e frias;
- Organossolos Mésicos: teores intermediários de matéria orgânica;
- Organossolos Hápticos: menor densidade e maior teor de matéria orgânica.

Com excessão dos Fólicos, os demais Organossolos constituem-se das **turfas**, onde a *taxa de adição de matéria orgânica é maior que a taxa de decomposição*.

Seu aproveitamento para **agricultura é problemático**, em função de *elevados teores de água e baixa aeração*, por isso requerem drenagem e proteção contra inundação.

17. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Icone, 9ª Ed. 2014, 355p.

BRADY, N.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Tradutor I.F. Lepsch: Editora Bookman, 2013. 685p.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. Ed. Revisada e ampliada. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2014.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1107206/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em junho, 2021.

LEPSCH, I.F. **19 Lições de Pedologia**. Ed. Oficina de textos. São Paulo. 2012. 456p.

MENDONÇA, J. F. B. **Solo: substrato da vida**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2010. 129 p.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. EMBRAPA Solos, 2018.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C, L. (Eds.). Livro-texto **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Editora UFV, 2007, 1017p.

PEREIRA, V. P. **Solo: manejo e controle da erosão hídrica**. Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campos de Jaboticabal (FCAV/UNESP), 1998.

PRIMAVESI, A. **O manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais**. São Paulo, Nobel, 2002. 541p.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo**. 7. ed. Viçosa: SBCS, 2015. 101p.

VIEIRA, L. S. E VIEIRA, M. N. F. **Manual de morfologia e classificação de solos**. Editora Agronômica Ceres Ltda., 1983.