

## MECÂNICA DOS SOLOS

### NOTAS DE AULA

#### **CAPÍTULO 1 – PROPRIEDADES E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS E ROCHAS**

- 1.1 – Introdução
- 1.2 – Origem e formação dos solos e rochas
- 1.3 – Classificação dos solos quanto à origem
- 1.4 – Terminologia de acordo com a textura
- 1.5 – Propriedades físicas dos solos
- 1.6 – Relações básicas entre as fases constituintes dos solos

#### **1.1 – Introdução**

A necessidade do homem trabalhar com solos, encontra sua origem nos tempos mais remotos, podendo-se mesmo afirmar ser tão antiga quanto a civilização. Constate-se, entre outros, os problemas de fundações e de obras de terra que surgiram nas grandes construções (pirâmides do Egito).

No entanto, nos primeiros trabalhos sobre o comportamento quantitativo dos solos, são encontrados somente a partir do século XVII.

Uma série de numerosos acidentes, como escorregamentos de terra, ruptura de barragens, ocorridos no fim do século XIX e princípios do século XX, veio mostrar a inadequada percepção dos princípios até então admitidos e por outro lado a insuficiência de conhecimentos para a tomada de nova orientação.

Face às lições desses acidentes e às contribuições a que deram lugar ao esforço para compreendê-los e estudá-los, surgiu uma nova orientação para o estudo dos solos.

Nascia então a Mecânica dos Solos, que pode ser definida como “a ciência que aplica as leis da mecânica e da hidráulica no estudo do comportamento e propriedades dos solos cujos problemas estejam relacionados com a engenharia”.

O objetivo da Mecânica dos Solos é substituir por métodos científicos, os métodos empíricos de projetos aplicados, no passado, na engenharia de fundações e obras de terra.

A definição do que é solo depende, em muitos casos, de quem o utiliza. Na agricultura o solo é a camada de terra tratável, que suporta as raízes das plantas.

Para a engenharia:

- SOLO: é qualquer agrupamento de partículas fracamente ou não cimentadas formado geralmente por intemperismo de rocha.
- ROCHA: é definido como um material endurecido que para ser escavado necessita de explosivos e outros procedimentos de “força bruta”.

Alguns autores preferem diferenciar solos e rochas pela sua resistência à compressão:

- SOLO: Resistência à compressão  $< 15.0 \text{ kg/cm}^2$
- ROCHA: Resistência à compressão  $\geq 15.0 \text{ kg/cm}^2$

O solo, sob o ponto de vista da engenharia geotécnica, poderá ser utilizado tanto em suas condições naturais quanto como material de construção. Em sua condição natural será usado como elemento de suporte de uma estrutura ou como a própria estrutura, nem sempre sendo possível melhorar suas propriedades de forma econômica. Na Tabela 1.1 estão indicados, resumidamente, alguns aspectos de utilização do solo em sua condição natural e como material de construção.

CONDIÇÃO NATURAL	FUNDAÇÃO	ESTRUTURA	Edifícios, pontes, viadutos
		PAVIMENTO	Piso industrial, pátio, estrada, aeroporto
		ESTRUTURA ENTERRADA	Casa de força, tubulações, galerias
		ATERRO	Barragem, estrada
SOLO ESTRUTURAL	VALA	CORTE	Estrada, mineração
		VALA	Galeria
MATERIAL DE CONSTRUÇÃO	ATERRO		Barragem
	BASES E SUB BASES		Estrada, pátios

Tabela 1.1 – Utilização do solo na Engenharia Civil

## 1.2 - Origem e formação dos solos e rochas

Os solos podem também ser conceituados de uma maneira mais generalizada, abrangendo aspectos de sua origem e formação geológica. Deste modo, o conceito genético de solo caracteriza-se como produto resultante do intemperismo físico e químico das rochas.

Segundo o conceito exposto, a ação dos agentes do intemperismo, como os ventos a água e a temperatura atuando sobre as rochas provocam sua desintegração, cuja decomposição final transformam-nas em solos.

A destruição das rochas ao longo dos tempos se dá por ação dos agentes químicos e físicos, denominados agentes do intemperismo.

O intemperismo físico ou desintegração manifesta-se através da atuação de agentes físicos como a ação da água, temperatura, vegetação, deslocamento das rochas, ventos ou mesmo efeitos tectônicos de acomodação da crosta terrestre.

O produto principal de formação imediata deste processo são os solos de granulação grossa, tais como pedregulhos e areia, embora possa ocorrer a formação de siltes.

O intemperismo químico ou decomposição manifesta-se através da atuação de agentes químicos (oxidação e carbonatação).

A água neste caso atua como agente que conduz os mecanismos de ataque como oxidação, hidratação, carbonatação ou mesmo efeitos químicos de decomposição de vegetais.

Neste processo formam-se os solos de granulação fina como as argilas na sua fase final de transformação.

A maneira mais simples de se entender o fenômeno é considerar uma rocha sã, sujeita à ação do intemperismo ao longo dos tempos. Devido à expansão e contração térmicas alteradas das rochas, começam a aparecer as primeiras rachaduras, que podem ser agravadas pela possibilidade de ocorrerem forças expansivas de certos minerais constituintes das rochas. Assim também as fendas estarão sujeitas à penetração de raízes dos vegetais que contribuirão para maior fendilhamento. A água contendo substâncias agressivas penetrando por essas fissuras ataca quimicamente os minerais constituintes. Deste modo apresenta-se um processo de decomposição da superfície para o interior rochoso. Podemos considerar então que o maciço se decompôs em um sistema de blocos independentes, os quais serão sucessivamente transformados e decompostos sob a ação contínua do intemperismo, formando o solo cuja primeira fase de transformação se caracteriza por termos ilhas de rochas disseminados na massa de solo formado.

## 1.3 - Classificação dos solos quanto à origem

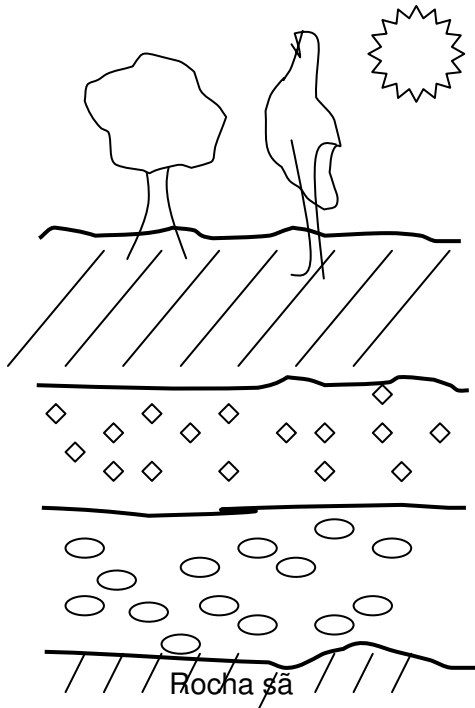
Podemos considerar que o solo do ponto de vista genético pode ser:

- residual ou autóctones;
- transportados ou sedimentares;
- de formação orgânica;

- de evolução pedogênica.

1.3.1 - Solo residual ou autóctones: produto do intemperismo das rochas, permanece no local onde foi formado. Observa-se uma gradual transição do solo até a rocha.

Perfil típico do solo residual

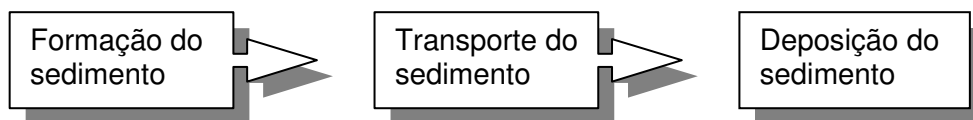


A – zona superior, alto grau de intemperismo  
Solo maduro

B – zona intermediária, solo jovem  
Mesma textura da rocha mãe

C – zona parcialmente intemperizada  
Transição entre material intemperizado e rocha mãe.

1.3.2 - Solo transportado ou sedimentar: são solos que sofrem a ação de agentes transportadores, sedimentando-se em outro local.



De acordo com o agente de transporte, podem ser divididos em:

a) Transportados pela água – solos aluvionares (rio)  
solos lacustres (lago)  
solos marinhos (mar)

A água é o agente mais ativo para transporte do solo. Ela mistura solos de origens diferentes, seleciona e deposita de acordo com o tamanho dos grãos.

Ex.: areias, seixos rolados

b) Transportados pelos ventos - solos eólicos

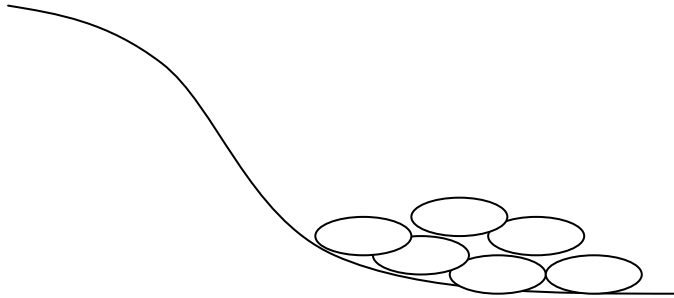
O vento já é um agente mais seletivo, pois não consegue levar partículas grandes. O grande problema do solo eólico é a movimentação constante.

Ex.: dunas (Itaúnas, Cabo Frio)

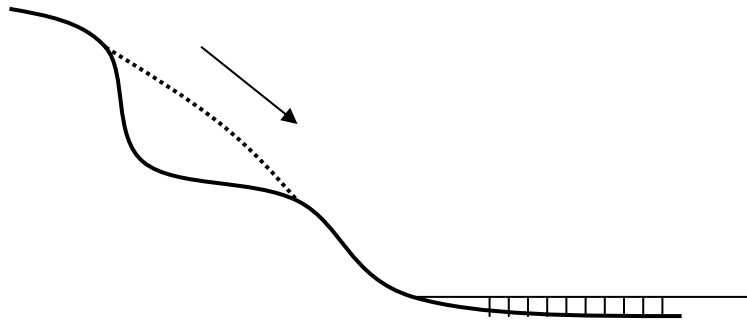
c) Transportados pela gravidade - solos coluvionares

São solos transportados pela ação do seu próprio peso, acumulando-se ao pé do talude. Pode ser de dois tipos:

- Talus: blocos de pedras no pé das encostas

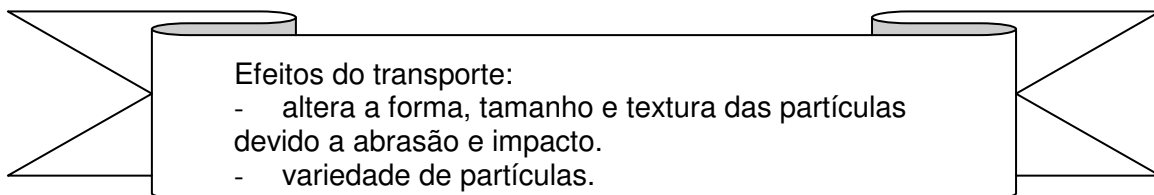


- Colúvio: escorregamento de uma massa de solo



d) Transportados pela ação de geleiras - solos glaciares

Ex.: cascalhos



1.3.3 - Solo de formação orgânica: são solos de natureza essencialmente orgânica, seja vegetal (plantas, raízes), seja animal (conchas, estrume).

Ex.: Turfa – solo proveniente da deposição sobre o solo de grande quantidade de folhas, caules e troncos de árvores.

1.3.4 - Solo de evolução pedogênica: são solos que sofreram a ação de um processo de lixiviação, tornando-se porosos.

Lixiviação: processo pelo qual extrai-se determinado constituinte de um material, através da circulação da água pela massa desse material.

#### 1.4 - Terminologia de acordo com a textura

Os solos são classificados pela:

- granulometria
- compactidade
- consistência
- plasticidade

Classificação dos solos de acordo com a granulometria segundo a ABNT

Coesão – capacidade de formar torrões  
Plasticidade – capacidade de ser moldado

A) Pedregulho

- $4,8 \text{ mm} < \varnothing < 76 \text{ mm}$
- granulação grossa
- sem coesão
- sem plasticidade

B) Areia

- $0,05 \text{ mm} < \varnothing < 4,8 \text{ mm}$
- granulação grossa
- sem coesão
- sem plasticidade
- constituída basicamente de quartzo

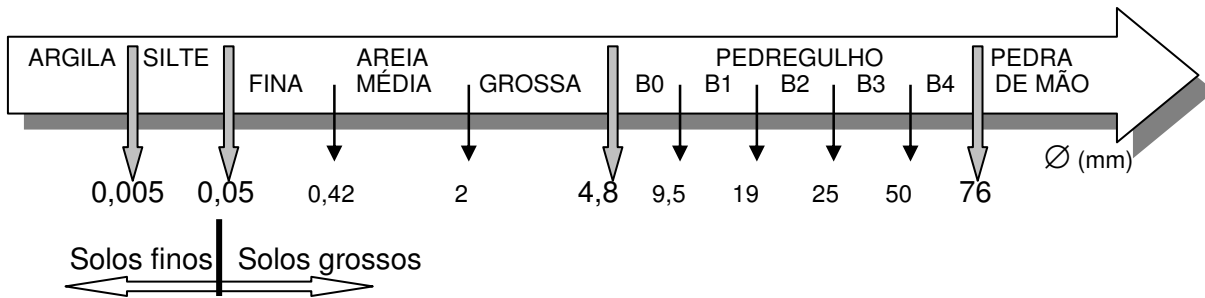
C) Silte

- $0,005 \text{ mm} < \varnothing < 0,05 \text{ mm}$
- granulação fina
- com pouca coesão (forma torrões de fácil desagregação)

D) Argila

- $\varnothing < 0,005 \text{ mm}$
- granulação fina
- alta coesão
- grande plasticidade

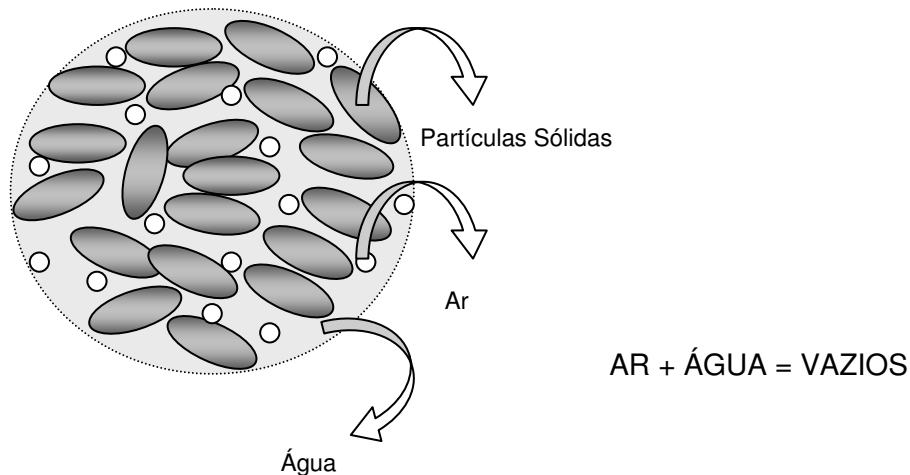
Pesquisas revelam que as argilas são constituídas de pequenos minerais cristalinos que podem ser divididos em 3 grupos principais: caolinitas, montmorilonitas, ilitas.



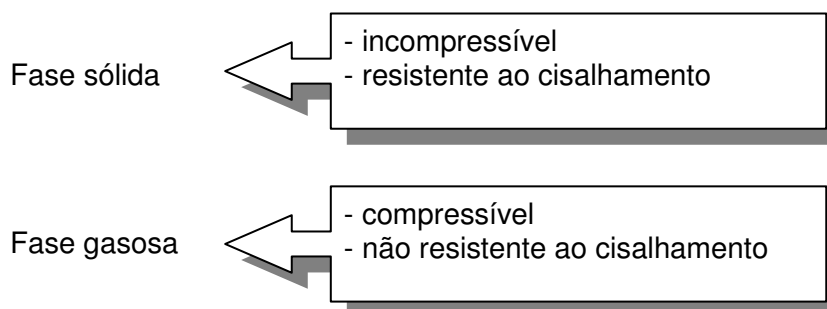
## 1.5 - Propriedades físicas dos solos

O solo é composto por um grande número de partículas, com dimensões e formas variadas, que formam o seu esqueleto sólido. Esta estrutura não é maciça e por isso não ocupa todo o volume do solo. Ela é porosa e, portanto, possui vazios. Esses vazios podem estar totalmente preenchidos por água (solo saturado), podem estar completamente ocupados pelo ar (solo seco) ou com ambos que é a forma mais comum na natureza. Por isso, de modo geral, dizemos que o solo é composto por três fases: sólidos, água e ar.

Fases constituintes dos solos



Compressão = redução dos vazios pelo rearranjo dos grãos  
Cisalhamento = maior ou menor dificuldade dos grãos se rearranjarem devido à coesão e o atrito das partículas



Fase líquida

- incompressível
- não resistente ao cisalhamento

A água contida no solo pode ser classificada em:

- a) água de constituição – faz parte da estrutura molecular da partícula sólida.
- b) água adesiva – película de água que está eletricamente ligada à partícula
- c) água higroscópica – permanece num solo seco ao ar livre
- d) água livre – preenche os vazios do solo
- e) água capilar – sobe além da superfície livre de água pelos canais finos deixados pelas partículas sólidas

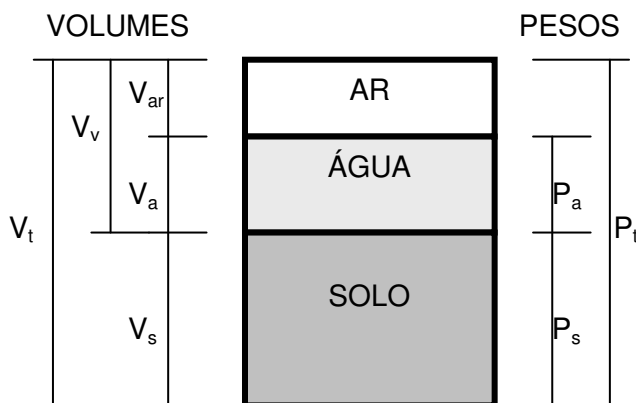
Obs.: as águas higroscópica, livre e capilar evaporam na estufa.

### 1.6 - Relações básicas entre as fases constituintes dos solos

O estado do solo é decorrente da proporção em que as tres fases se apresentam, e isso irá determinar o seu comportamento. Se os vazios de um solo são reduzidos através de um processo mecânico de compactação, por exemplo, a sua resistência aumenta.

Os índices físicos são indicadores que relacionam o volume e o peso das fases do solo e que permitem determinar o estado do solo.

A figura abaixo mostra, de forma esquemática, as tres fases que compõem o solo.



$$V_t = V_v + V_s$$

$$V_v = V_{ar} + V_a$$

$$V_t = V_{ar} + V_a + V_s$$

$$P_t = P_a + P_s$$

Onde:  $V_{ar}$  = volume de ar  
 $V_v$  = volume de vazios  
 $V_s$  = volume de solo  
 $V_t$  = volume total  
 $V_a$  = volume de água

$P_t$  = peso total  
 $P_a$  = peso de água  
 $P_s$  = peso de solo

### 1.6.1) Relações entre volumes

a) Índice de vazios (porcentagem de vazios em relação a parte sólida)

$$\varepsilon = \frac{V_v}{V_s}$$

b) Porosidade (porcentagem de vazios de um solo)

$$N\% = \frac{V_v}{V_t} \times 100$$

c) Grau de Saturação (porcentagem de água contida nos vazios de um solo)

$$S\% = \frac{V_a}{V_v} \times 100$$

d) Grau de Aeração (porcentagem de ar contido nos vazios de um solo)

$$A\% = \frac{V_{ar}}{V_v} \times 100$$

### 1.6.2) Relação entre pesos

e) Umidade (porcentagem de água existente no solo em relação a parte sólida)

$$h\% = \frac{P_a}{P_s} \times 100$$

### 1.6.3) Relações entre pesos e volumes

f) Peso específico aparente úmido ( $h\% \neq 0$ )

$$\gamma_t = \frac{P_t}{V_t}$$



g) Peso específico das partículas

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

h) Peso específico aparente seco ( $h\% = 0$ )

$$\gamma_s = \frac{P_s}{V_t}$$

i) Densidade relativa das partículas

$$\delta = \frac{\gamma_g}{\gamma_a}$$

onde:  $\gamma_a = 1 \text{ g/cm}^3$  ou  $1 \text{ t/m}^3$

j) Peso específico saturado

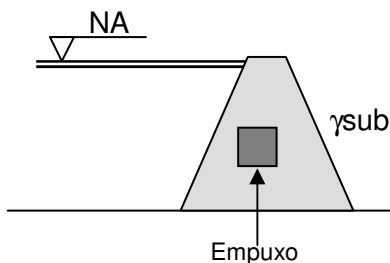
$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{\delta + \epsilon}{1 + \epsilon} \times \gamma_a$$

k) Peso específico submerso

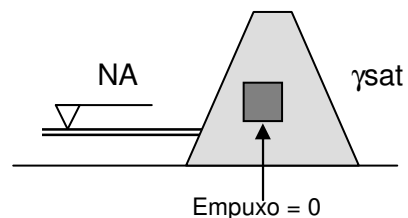
$$\gamma_{\text{sub}} = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_a$$

Obs: Diferença entre solo saturado e solo submerso

Reservatório cheio



Reservatório esvaziado rapidamente



1.5.4) Outras relações

l) Grau de Compacidade

É usado para solos não coesivos (areias e pedregulhos)

$$G_c = \frac{\gamma_s \text{ nat} - \gamma_s \text{ mín}}{\gamma_s \text{ máx} - \gamma_s \text{ mín}} \times \frac{\gamma_s \text{ máx}}{\gamma_s \text{ nat}}$$

Onde:

$\gamma_s \text{ nat}$  = peso específico aparente seco no estado natural

$\gamma_s \text{ mín}$  = peso específico aparente seco no estado mais solto possível

$\gamma_s \text{ máx}$  = peso específico aparente seco no estado mais compacto possível

Podemos classificar as areias de acordo com a compactidade:

- $0 \leq G_c < 1/3 \rightarrow$  Areia fofa
- $1/3 \leq G_c < 2/3 \rightarrow$  Areia mediamente compacta
- $2/3 \leq G_c < 1 \rightarrow$  Areia compacta

Outra forma de se encontrar o  $G_c$  é através da fórmula de índice de vazios

$$G_c = \frac{\epsilon_{\text{máx}} - \epsilon_{\text{nat}}}{\epsilon_{\text{máx}} - \epsilon_{\text{mín}}}$$

Onde:  $\epsilon_{\text{máx}}$  = índice de vazios no estado mais solto possível

$\epsilon_{\text{mín}}$  = índice de vazios no estado mais compacto possível

$\epsilon_{\text{nat}}$  = índice de vazios no estado natural

QUADRO RESUMO DE FÓRMULAS

Índices Físicos	Símbolo	Fórmula Básica	Fórmulas derivadas
Índice de vazios	$\epsilon$	$\epsilon = \frac{V_v}{V_s}$	$\epsilon = \frac{\gamma_g - 1}{\gamma_s}$
Porosidade	N%	$N\% = \frac{V_v}{V_t} \times 100$	$N = \frac{\epsilon}{1 + \epsilon}$
Grau de saturação	S%	$S\% = \frac{V_a}{V_v} \times 100$	$S \epsilon = \delta h$
Grau de aeração	A%	$A\% = \frac{V_{ar}}{V_v} \times 100$	$A = 1 - S$
Umidade	h%	$h\% = \frac{P_a}{P_s} \times 100$	$S \epsilon = \delta h$
Peso específico aparente úmido	$\gamma_t$	$\gamma_t = \frac{P_t}{V_t}$	$\gamma_t = \frac{\delta + S \epsilon}{1 + \epsilon} \gamma_a \quad \gamma_t = \frac{1 + h}{1 + \epsilon} \gamma_g$
Peso específico das partículas	$\gamma_g$	$\gamma_g = \frac{P_s}{V_s}$	$\gamma_g = \delta \gamma_a$
Peso específico aparente seco	$\gamma_s$	$\gamma_s = \frac{P_s}{V_t}$	$\gamma_s = \frac{\gamma_g}{1 + \epsilon} \quad \gamma_s = \frac{\gamma_t}{1 + h} \quad \gamma_s = \gamma_g (1 - N)$
Densidade relativa das partículas	$\delta$	$\delta = \frac{\gamma_g}{\gamma_a}$	
Peso específico saturado	$\gamma_{sat}$	$\gamma_{sat} = \frac{\delta + \epsilon}{1 + \epsilon} \times \gamma_a$	$\gamma_{sat} = \gamma_s + N \gamma_a$
			$\gamma_{sat} = [\delta (1 - N) + N] \gamma_a$
Peso específico submerso	$\gamma_{sub}$	$\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_a$	$\gamma_{sub} = [(1 - N) (-1)] \gamma_a$
			$\gamma_{sub} = \frac{\delta - 1}{1 + \epsilon} \gamma_a$
Grau de compactidade	Gc	$Gc = \frac{\gamma_s \text{ nat} - \gamma_s \text{ mín}}{\gamma_s \text{ máx} - \gamma_s \text{ mín}} \times \frac{\gamma_s \text{ máx}}{\gamma_s \text{ nat}}$	$Gc = \frac{\epsilon_{máx} - \epsilon_{nat}}{\epsilon_{máx} - \epsilon_{mín}}$

Bibliografia:

- CARDOSO, L. R.; Apostila de Mecânica dos Solos, ETFES, Vitória, 1995.
- CAPUTO, H. P.; Mecânica dos Solos e suas Aplicações, Livros Técnicos e Científicos, São Paulo, 1994.