Mecânica dos Solos

Origem e Formação dos Solos

A origem dos solos.

Todos os solos se originam da decomposição das rochas que constituíam inicialmente a crosta terrestre. A decomposição é decorrente de agentes físicos e químicos. Variações de temperatura provocam trincas, nas quais penetra a água, atacando quimicamente os minerais. O congelamento da água nas trincas, entre outros fatores, exerce elevadas tensões, do que decorre maior fragmentação dos blocos.

A origem dos solos.

A presença da fauna e flora promove o ataque químico, através de hidratação, oxidação, lixiviação, troca de cátions, carbonatação, etc.

Pedologia

Assim se denomina a ciência que tem por objeto o estudo das camadas superficiais da crosta terrestre, em particular a sua formação e classificação.

Em pedologia, as camadas que constituem um *perfil* são denominadas *horizontes* .

Pedologia

O - Horizonte com predominância de restos orgânicos.
A- Horizonte mineral escurecido pela acumulação de matéria orgânica.
E- Horizonte de cores claras, de onde as argilas e outras partículas finas foram lixiviadas pelas águas percolantes.
B- Horizonte de acumulação de materiais provenientes dos horizontes superiores, nomeadamente argilas.
Pode apresentar cores avermelhadas, devido à presença de óxidos e hidróxidos de ferro.
C-Horizonte constituído por material não consolidado.
R- Rocha consolidada.

Solos residuais, Sedimentares e de Formação Orgânica

Solos residuais (ou autóctones) – São os que permanecem no local da rocha de origem, observando-se uma gradual transição do solo até a rocha.

Solos residuais maduro: superficial ou sotoposto a um horizonte " poroso", e que perdeu toda a estrutura original da rocha-mãe e tornou-se relativamente homogêneo.

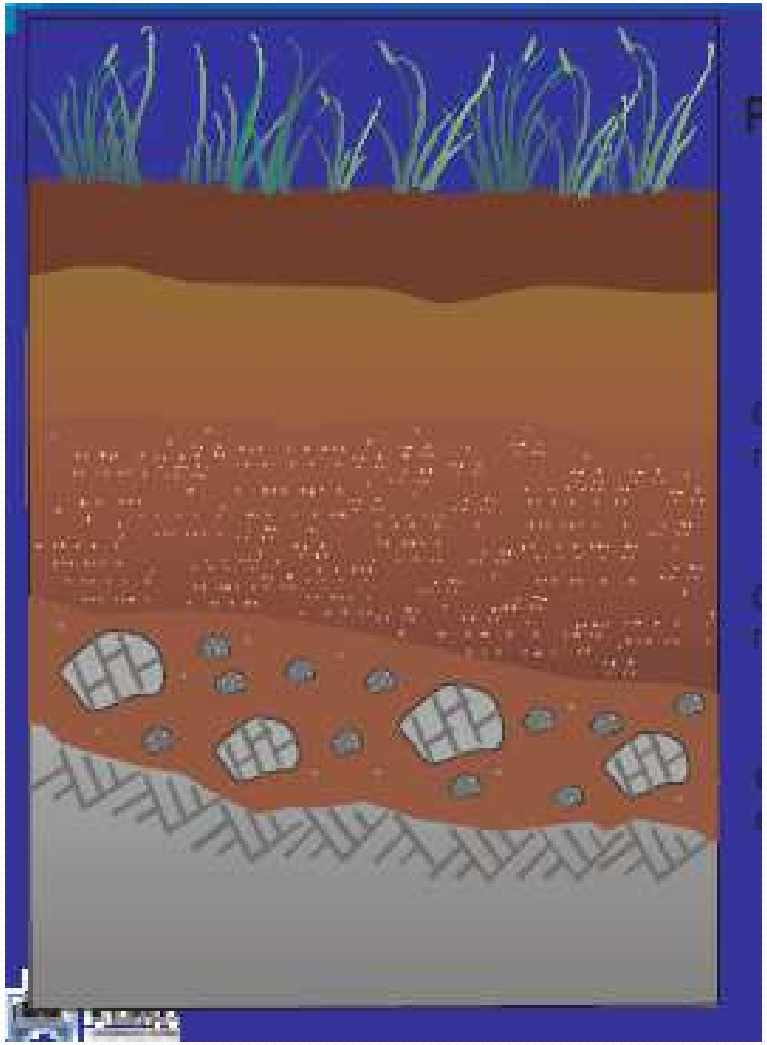
Solos residuais, Sedimentares e de Formação Orgânica

Saprolito : solo que mantém a estrutura original da *rocha-mater*, inclusive veios intrusivos fissuras e xistosidade, mas perdeu a consistência da rocha, é também chamado de solo residual jovem ou solo de alteração de rocha.

Solos residuais, Sedimentares e de Formação Orgânica

Rocha alterada: horizonte em que a alteração progrediu ao longo de fraturas ou zonas de menor resistência, deixando intactos grandes blocos da rocha original.

Solos residuais, Sedimentares e de Formação Orgânica



Perfil do solo Residual

Aterro

Horiz.A: solo superficial orgânico:
Camada constituída de matéria orgânica.

Horiz.B: solo residual maduro:
Camada superficial,constituída por minerais secundários ou transportados.

Horiz.C: solo residual jovem:
Camada que ainda guarda caracteríscas herdadas da rocha de origem.

Rocha alterada

Solos residuais, Sedimentares e de Formação Orgânica

É de grande interesse a indicação da rocha-mãe, pois ela condiciona, entre outras coisas, a própria composição física. Solos residuais de basalto são predominantemente argilosos, gnaisse são siltosos e dos granitos apresentam teores aproximadamente iguais de areia, silte e argila, etc.

Solos residuais, Sedimentares e de Formação Orgânica

Dentre os solos residuais merecem destaques os *solos lateríticos*, os *expansivos* (como o "massapê" da Bahia) e os porosos (ex.: solos de Brasília) também conhecidos como "solos colapsíveis".

Solos residuais, Sedimentares e de Formação Orgânica

Solos sedimentares (ou alotóctones) – São os que sofrem a ação de agentes transportadores, podendo ser *aluvionares* (quando transportados pela água), *eólicos* (quando pelo vento), *coluvionares* (pela ação da gravidade) e *glaciares* (pelas geleiras).

Solos residuais, Sedimentares e de Formação Orgânica

Solos de formação orgânica –São chamados solos orgânicos àqueles que contém uma quantidade apreciável de matéria decorrente de decomposição de origem vegetal ou animal, em vários estágios de decomposição. Geralmente argilas ou areias finas, os solos orgânicos são de fácil identificação, pela cor escura e pelo odor característico. São problemáticos por serem muito compressíveis.

Composição Química e mineralógica dos solos

Os minerais encontrados nos solos são os mesmos das rochas de origem (minerais primários), além de outros que se formam na decomposição (minerais secundários).

Quanto a composição química dos principais minerais componentes dos ***solos grossos*** são eles:

Composição Química e mineralógica dos solos

silicatos – feldespato, mica, quartzo, serpentina, clorita, talco;

óxidos – hematita, magnetita, limonita;

carbonatos – calcita, dolomita;

sulfatos – gesso, anidrita.

*Um mineral é uma substância inorgânica e natural, com composição química estruturada definidas. O que mais importa para o engenheiro é a densidade e a dureza .

Composição Química e mineralógica dos solos

Dureza de um mineral refere-se, por comparação, ao número indicativo da conhecida *escala de Mohs*, onde um elemento risca todos os precedentes e é riscado pelos subseqüentes:

1- Talco
2- Gesso } *riscados pela unha*

3 – Calcita
4 – Fluorita } *riscados pelo aço*

Composição Química e mineralógica dos solos

5- Apatita
6 – Ortósia
7 – Quartzo
8 – Topázio
9 – Coridon
10 - Diamante

riscam o vidro

Composição Química e mineralógica dos solos

Os ***feldspatos*** são silicatos duplos de Al(alumínio) e de um metal alcalino ou alcalino-terroso [K(potássio), Na(sódio) ou Ca(cálcio)].

Os feldspatos sofrem decomposição mais ou menos acentuada pelos agentes da natureza; pela ação da água carregada de CO_2 (dióxido de carbono) é característica a alteração em argila branca, denominada *caulim*.

Composição Química e mineralógica dos solos

feldspato

Composição Química e mineralógica dos solos

As *micas* são, geralmente, ortossilicatos de Al, Mg (magnésio), K, Na ou Li(lítio) e mais raramente Mn(manganês) e Cr(cromo). Os principais tipos são a *muscovita* (mica branca) e a *biotita* (mica preta).

Nos solos as micas aparecem sob a forma de pequenas escamas brilhantes, conferindo-lhes um brilho característico.

Composição Química e mineralógica dos solos

micas

Composição Química e mineralógica dos solos

O ***quartzo*** é o mais importante dos minerais do grupo dos silicatos. Seus cristais são facilmente identificados macroscopicamente, é um dos minerais mais resistentes ao intemperismo, tal como a água e a variação de temperatura, por isso passa quase inalterado da rocha aos solos.

Composição Química e mineralógica dos solos

quartzo

Composição Química e mineralógica dos solos

A *hematita* (Fe_2O_3), a *magnetita*(Fe_2O_4) e a *limonita*($Fe_2O_3 . H_2O$) são os principais minerais entre os óxidos de ferro.

hematita

magnetita

limonita

Composição Química e mineralógica dos solos

No grupo dos carbonatos, os mais importantes minerais são a *calcita* (CO_3Ca) e a *dolomita* [$(CO_3)_2CaMg$]. A dolomita difere da calcita pela sua maior dureza.

calcita

dolomita

Composição Química e mineralógica dos solos

Dentre os sulfatos citam-se o *gesso* ($SO_4Ca.2H_2O$) e a *anidrita* (SO_4Ca).

gesso

anidrita.

Composição Química e mineralógica dos solos

Minerais Argílicos

As argilas são constituídas de pequeníssimos minerais cristalinos, chamados *minerais argílicos*, dentre os quais distinguem-se três grupos principais: caolinitas, montmotilonitas e ilitas.

Composição Química e mineralógica dos solos

As *caolinitas* (Al_2O_3 $.2SiO_2.H_2O$) são formadas por unidades de silício e alumínio, que se unem alternadamente, conferindo-lhes uma estrutura rígida. Em conseqüência, as argilas caolinítica são relativamente estáveis em presença de água.

Composição Química e mineralógica dos solos

As *montmorilonitas* $[(OH)_4Si_8Al_4O_{20}H_2O]$ são estruturalmente formadas por uma unidade de alumínio entre duas unidades de silício. A ligação entre essas unidades, não sendo suficiente firme para impedir a passagem das moléculas de água, torna as argilas montmoriloníticas muito expansivas e, portanto instáveis em presença de água.

Composição Química e mineralógica dos solos

As *ilitas* $[(OH)_4K_y(Si_{8-y}Al_y)(Al_4Fe_4Mg_4Mg_6)O_{20}]$ são estruturalmente análogas às montmorilonitas, sendo porém menos expansivas.

Composição Química e mineralógica dos solos

Superfície Específica

Denomina-se *superfície específica s* de um solo, a soma das superfícies de todas as partículas contidas na unidade de volume (ou peso) do solo.

Imaginando-se uma partícula de forma cúbica, com 1cm de aresta, e subvidindo-a decimalmente, em cubos cada vez menores, podemos organizar o quadro a seguir.

Composição Química e mineralógica dos solos

Quadro 2-1

Aresta	Volume total	Nº de cubos	Área total	Superfície específica (s)
1 cm	$1\ cm^3$	1	$6\ cm^2$	$6\ cm^2/cm^3$
$1\ mm = 10^{-1}\ cm$	$1\ cm^3$	10^3	$60\ cm^2$	$6 \times 10\ cm^2/cm^3$
$0{,}1\ mm = 10^{-2}\ cm$	$1\ cm^3$	10^6	$600\ cm^2$	$6 \times 10^2\ cm^2/cm^3$
$0{,}01\ mm = 10^{-3}\ cm$	$1\ cm^3$	10^9	$6\ 000\ cm^2$	$6 \times 10^3\ cm^2/cm^3$
$0{,}001\ mm = 1\mu = 10^{-4}\ cm$	$1\ cm^3$	10^{12}	$60\ 000\ cm^2 = 6\ m^2$	$6 \times 10^4\ cm^2/cm^3$

Quadro de valores(Caputo, 2000)

Propriedades das Partículas do Solo

Natureza das Partículas

No que diz respeito à natureza das partículas, vimos que o solo é constituído por grãos minerais, podendo conter matéria orgânica. As frações grossas são predominantemente de grãos silicosos, enquanto os minerais que ocorrem nas frações argilosas pertencem aos três grupos principais: caolinita, montmorilonita e ilita.

Propriedades das Partículas do Solo

Peso Específico das Partículas

O peso específico das partículas (γ_g) de um solo é por definição:

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

ou seja o peso da substância sólida por unidade de volume.

Propriedades das Partículas do Solo

Densidade relativa (δ)das partículas é a razão entre o peso da partícula sólida e o peso de igual volume de água pura a 4°C. Uma vez que $\delta = \dfrac{\gamma_g}{\gamma_a}$, onde é $\gamma_g = 1g/cm^3$ o peso específico da água a 4°C, tem-se que:

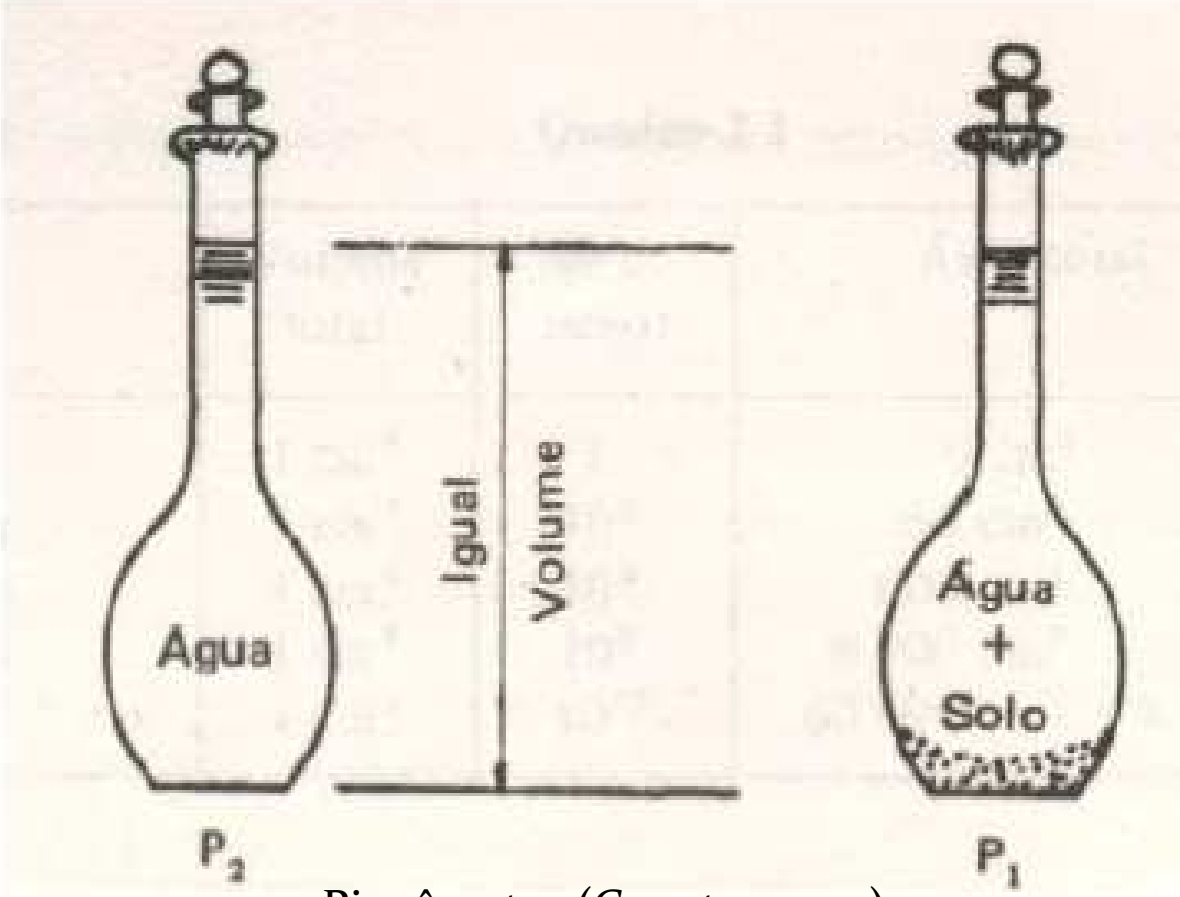
$$\gamma_g = \delta \gamma_a$$

Propriedades das Partículas do Solo

Assim, δ e γ_g são expressos pelo mesmo número, sendo que δ é adimensional e γ_g tem dimensão . A densidade relativa do quartzo é 2,67 e seu peso específico é 2,67g/cm^3.

Propriedades das Partículas do Solo

Sua determinação é feita pelo clássico método do picnômetro.



Picnômetro.(Caputo, 2000)

Propriedades das Partículas do Solo

$$P_1 - P_s = P_2 - P_s \frac{\delta_{aT}}{\delta}$$

ou

$$\delta = \frac{P_s . \delta_{aT}}{P_s + P_2 - P_1}$$

onde:

P_1 = peso do picnômetro, solo e água

P_2 = peso do picnômetro com água pura

P_s = peso do solo seco

δ_{aT} = densidade da água à temperatura T °C do ensaio

Propriedades das Partículas do Solo

Forma das partículas

A *forma* das partículas dos solos tem grande influência sobre suas propriedades.

Distinguem-se principalmente as seguintes formas:

a) Partículas *arredondadas* ou com forma poliédrica. São as que predominam nos predegulhos, areias e siltes.

Propriedades das Partículas do Solo

b)Partículas *lamelares*, isto é, semelhantes a lamelas ou escamas. São as que se encontram nas argilas.

c) Partículas *fibrilares* , características dos solos turfosos.

Propriedades das Partículas do Solo

Atividade da Superfície dos Solos Finos

As investigações sobre as propriedades das frações muito finas dos solos mostram que a superfície da partícula sólida possui carga elétrica negativa, cuja a intensidade depende de suas características mineralógicas; as atividades físicas e químicas decorrentes dessa carga constituem

Propriedades das Partículas do Solo

a chamada *atividade da superfície* do mineral. Dos três grupos de minerais argílicos, as caolinitas são as menos ativas e as montmorilonitas as mais ativas.

Segundo Skempton a atividade dos solos define-se pela razão $A = \dfrac{IP}{\% < 0{,}002mm}$ entre o índice de plasticidade e a porcentagem em peso de partículas menores que 0,002mm.

Propriedades das Partículas do Solo

Em função do seu valor as argilas classificam-se *inativas* se A< 0,75, *normais* se 0,75 < A < 1,25 *e ativas se* A > 1,25, sendo as primeiras, freqüentemente, as que se formam nos depósitos em água doce.

Propriedades das Partículas do Solo

Bentonitas

As bentonitas são as argilas ultra-finas, formadas, em sua maioria, pela alteração química de cinzas vulcânicas. Em sua composição predomina a montmorilonita, o que explica sua tendência ao inchamento. Graças a esta propriedade,as injeções de bentonita são usadas para vedação em barragens e escavações.

Propriedades das Partículas do Solo

Granulometria

Segundo as dimensões das suas partículas e dentro de determinados limites convencionais, as “frações constituintes” dos solos recebem designações próprias que se identificam com as acepções usuais dos termos. Essas frações, de acordo com a escala granulométrica brasileira (ABNT), são:

Propriedades das Partículas do Solo

pedregulho – conjunto de partículas cujas dimensões(diâmetros equivalentes) estão compreendidas entre 76 e 4,8mm;

areia, entre 4,8 e 0,05mm,

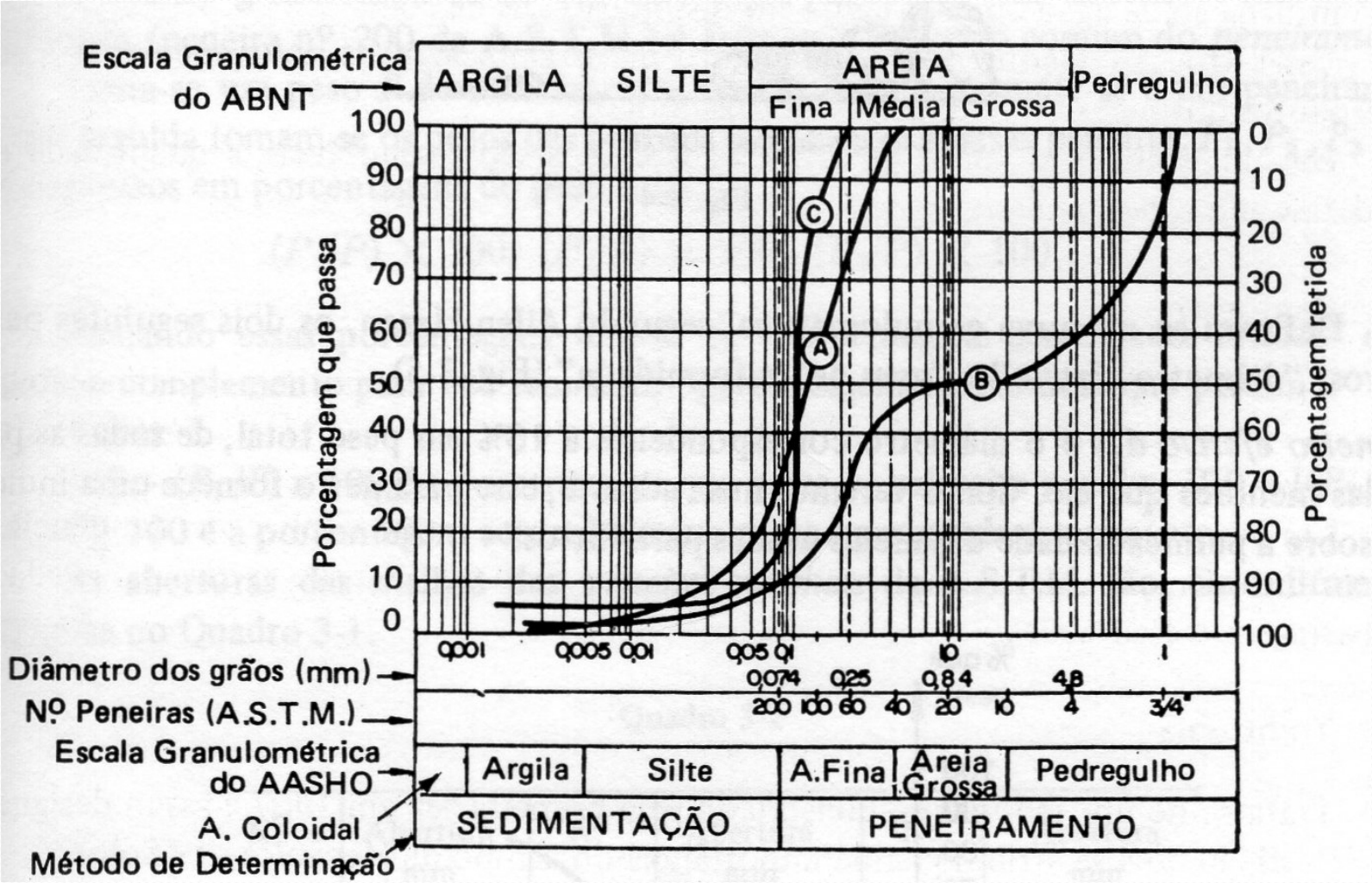
silte, entre 0,05 e 0,005mm;

argila, inferiores a 0,005 mm.

Propriedades das Partículas do Solo

A *análise granulométrica*, ou seja a determinação das dimensões das partículas do solo e das proporções relativas em que elas se encontram, é representada, graficamente, pela *curva granulométrica*. Esta curva é traçada por pontos em um diagrama semi-logarítmico, no qual, sobre o eixo das abscissas, são marcados os logaritmos das dimensões das partículas e sobre o eixo das ordenadas as porcentagens, em peso de material que tem dimensão média menor que a dimensão considerada.

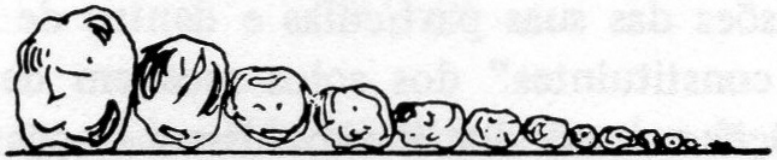
Propriedades das Partículas do Solo



Propriedades das Partículas do Solo

Segundo a forma podemos distinguir os diferentes tipos de granulometria. Assim, teremos uma granulometria *contínua* (curva A) ou *descontínua* (curva B); uniforme (curva C); *bem graduada* (curva A), neste último caso um melhor comportamento sob o ponto de vista de engenharia. As partículas menores ocupam os vazios correspondentes às maiores, criando um entrosamento , do qual resulta menor compressibilidade e maior resistência), ou *mal graduado*.

Propriedades das Partículas do Solo



Solo bem graduado

Solo de graduação uniforme

Solo de graduação aberta

Propriedades das Partículas do Solo

Três parâmetros são utilizados para dar uma informação sobre a curva granulométrica:

Diâmetro efetivo (D10): É o ponto característico da curva granulométrica para medir a finura do solo, que corresponde ao ponto de 10%, tal que 10% das partículas do solo possuem diâmetro inferiores a ele. Como veremos mais adiante, esse parâmetro fornece uma indicação sobre a permeabilidade das areias usadas para filtros.

Propriedades das Partículas do Solo

Coeficiente de uniformidade (C_u) é a razão entre os diâmetros correspondentes a 60% e 10%, tomados na curva de granulométrica.

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Os solos que apresentam $C_u < 5$ são denominados uniformes; e com $C_u > 15$ desuniformes. Para valores de C_u entre 5 e 15 são denominados de medianamente uniformes.

Propriedades das Partículas do Solo

Coeficiente de curvatura (Cc) detecta melhor o formato da curva granulométrica e permite identificar eventuais descontinuidades ou concentração muito elevada de grãos mais grossos no conjunto.

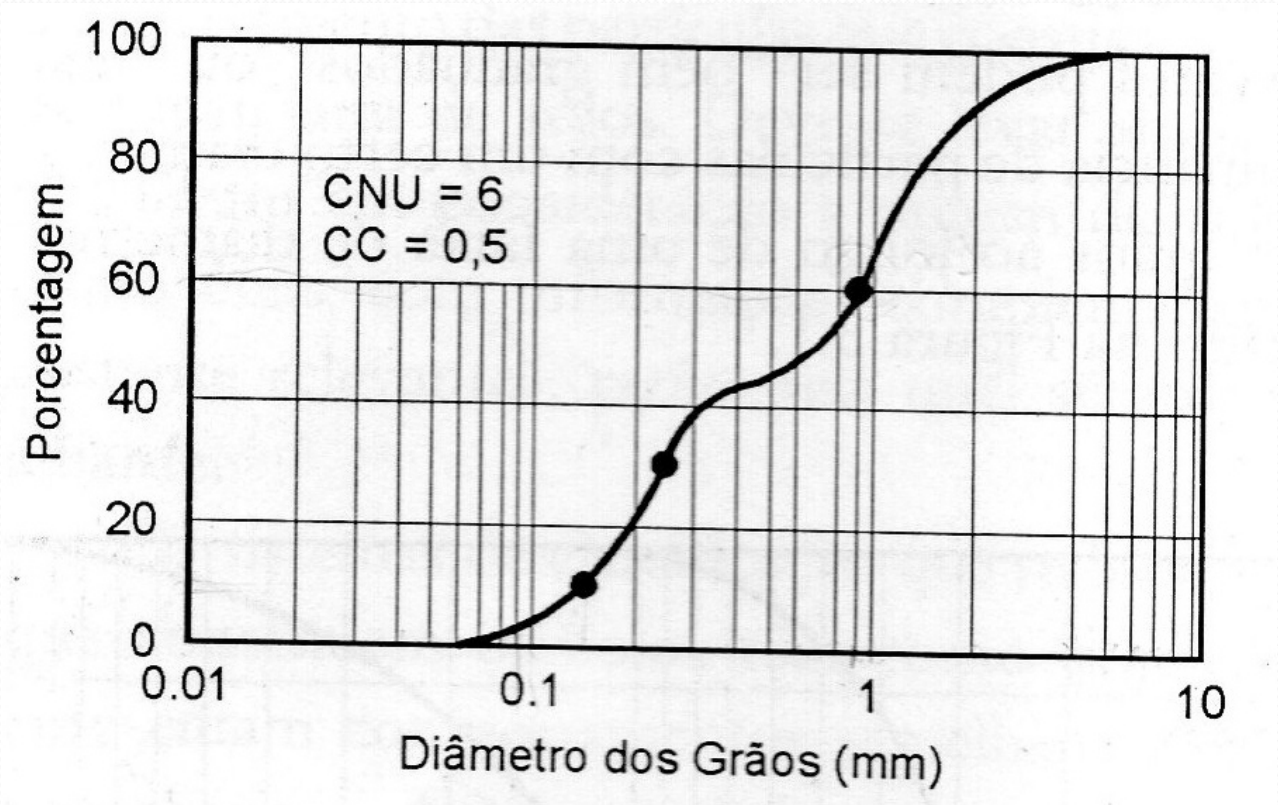
$$C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{60} x d_{10}}$$

Propriedades das Partículas do Solo

- D30 → diâmetro correspondente a 30%

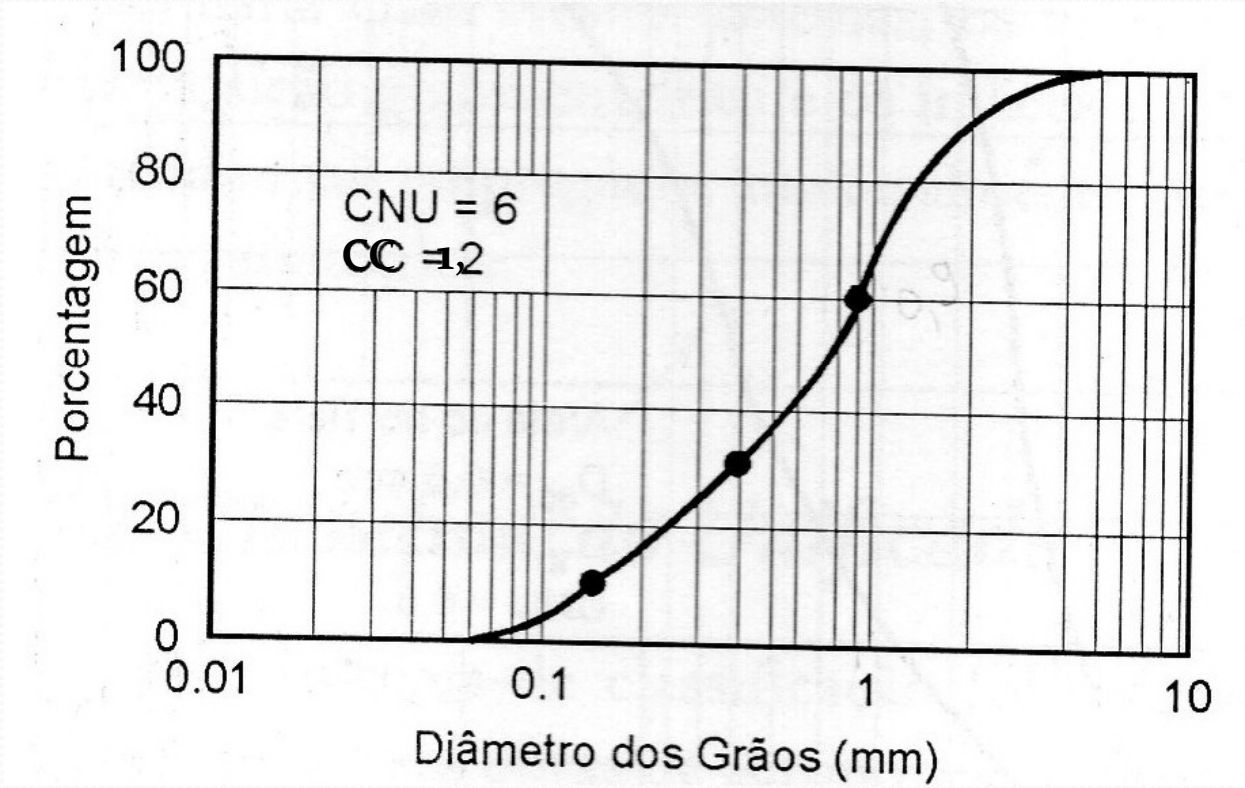
- Considera-se que o material é bem graduado quando o *Cc* está entre 1 e 3 .

Propriedades das Partículas do Solo



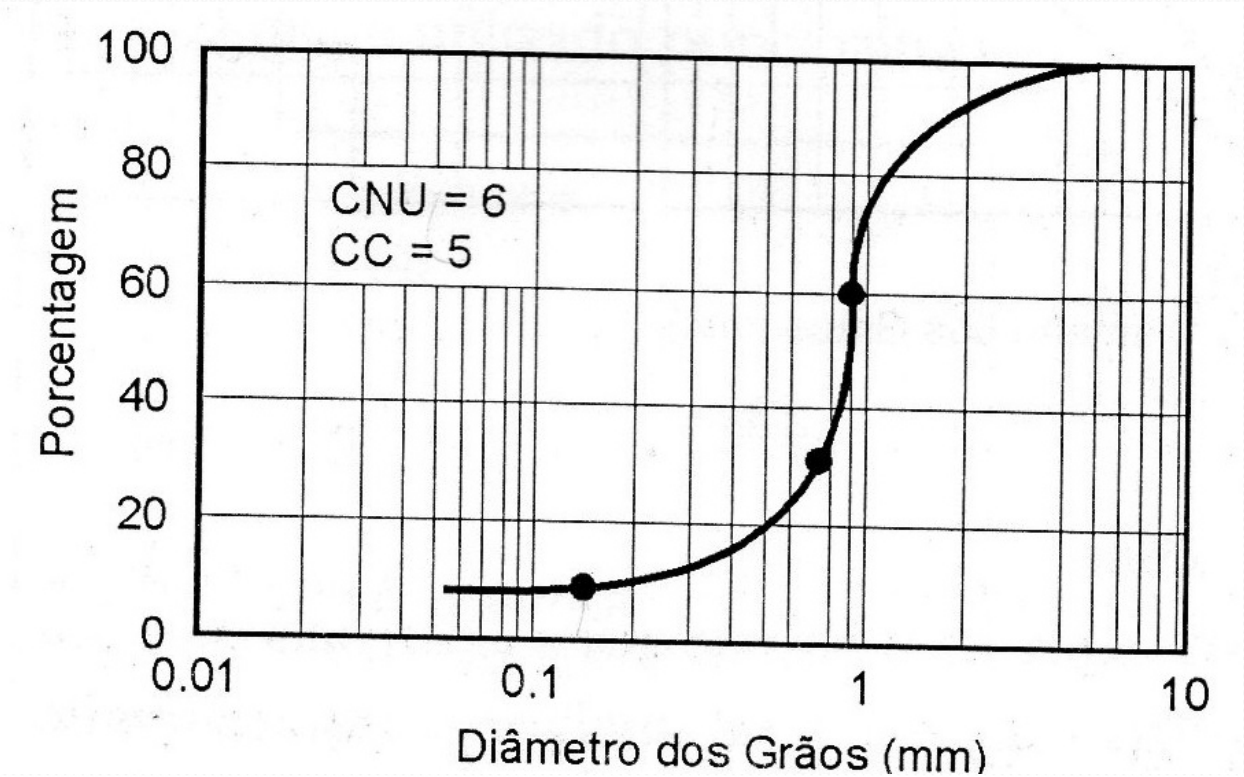
Curva granulométrica de areias com diferentes coeficientes de curvatura. (Pinto ,2000)

Propriedades das Partículas do Solo



Curva granulométrica de areias com diferentes coeficientes de curvatura. (Pinto ,2000)

Propriedades das Partículas do Solo



Curva granulométrica de areias com diferentes coeficientes de curvatura. (Pinto ,2000)

Propriedades das Partículas do Solo

Peneiramento

A distribuição granulométrica da fração grossa do solo (com dimensão das partículas maior que 0,074 mm - peneira 200) é usualmente determinada pelo peneiramento ou análise das peneiras. O peso do solo seco retido em cada peneira é determinado e baseado nesses pesos é determinada a percentagem acumulada que passa nas peneiras.

Propriedades das Partículas do Solo

Toma-se um peso P de uma amostra de solo seco e submete-se a uma peneiramento; em seguida tomam-se os pesos das porções retidas nas diversas peneiras: P1, P2, P3,... Ou expressos em porcentagens do peso total:

(P1/P) x 100, (P2/P) x 100, (P3/P) x 100,...

Somando essas porcentagens têm-se as "porcentagens acumuladas retidas" e tomando-se o complemento para 100 têm-se

Propriedades das Partículas do Solo

"as porcentagens acumuladas que passam".

Assim:

100- (P1/P) x 100 é a porcentagem que passa na primeira peneira; 100 – [(P1/P) +(P2/P)] x 100 é a porcentagem acumulada que passa na segunda peneira; etc.

Propriedades das Partículas do Solo

As aberturas das malhas das peneiras normais da A.S.T.M.(American Society for Testing and Materials) são em milímetros indicadas no quadro abaixo:

Nº	Abertura mm	Nº	Abertura mm	Nº	Abertura mm
200	0,074	45	0,350	14	1,41
140	0,105	40	0,420	12	1,68
120	0,125	35	0,500	10	2,00
100	0,149	30	0,590	8	2,38
80	0,177	25	0,710	7	2,83
70	0,210	20	0,840	6	3,36
60	0,250	18	1,00	5	4,0
50	0,297	16	1,19	3/16"	4,76

Propriedades das Partículas do Solo

Para os solos finos, com dimensões menores que 0,074mm, não poderíamos utilizar o processo de peneiramento, utilizando-se, então o *método de sedimentação contínua em meio líquido*.

Dentre os diversos métodos de análise por sedimentação, o mais simples é o desenvolvido por Casagrande.

Propriedades das Partículas do Solo

Ele é baseado na Lei de Stokes(1850), a qual estabeleceu uma relação entre o diâmetro da partículas e sua velocidade de sedimentação em um meio líquido de viscosidade e peso específico conhecidos.

$$\upsilon = \frac{\gamma_g - \gamma_a}{1800\eta} D^2$$

Propriedades das Partículas do Solo

Onde:

η = coeficiente de viscosidade do meio dispersor (varia com a temperatura);

D = "*diâmetro equivalente*" da partículas, isto é , o diâmetro de uma esfera de mesmo peso específico e que sedimenta com a mesma velocidade;

γg = peso específico das partículas do solo;

γa = peso específico do meio dispersor;

υ = velocidade de sedimentação da esfera. (velocidade de queda numa distância z num tempo t) .

Propriedades das Partículas do Solo

A lei de Stokes nos dá, assim, o diâmetro equivalente da partícula e não o seu verdadeiro valor.

$$D = \sqrt{\frac{1800\eta\upsilon}{\gamma_g - \gamma_a}}$$

Referências Bibliográficas

PINTO, Carlos de Souza. Curso Básico de Mecânica dos Solos, em 16 Aulas. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 247 p.

CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos Solos e suas Aplicações. 6 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 2000. 234 p.