

II – EXERCÍCIOS – ESTADO DO SOLO

Exercícios resolvidos:

2.1) As leituras para a determinação da massa específica dos sólidos para um solo arenoso são apresentadas a seguir. Efetuar os cálculos necessários para determinar a massa específica dos grãos sólidos (δ).

	INÍCIO		
AMOSTRA (g)	105,05		
w (%)	1,03%		
SOLO SECO (g)	103,98 g		
DETERMINAÇÃO	1	2	3
PICNÔMETRO N°	8	8	8
PIC. + SOLO + ÁGUA (g)	725,20	724,22	723,22
PIC. + ÁGUA (g)	660,12	659,13	657,80
TEMPERATURA (° C)	17,0	26,0	34,0
γ_a a T °C (g/cm ³)	0,9988	0,9968	0,9944
δ (g/cm ³)	2,670	2,665	2,681

Cálculos efetuados:

$$\delta = \left(\frac{M_s}{M_2 - M_1 + M_s} \right) \left(\frac{\gamma_{ar}}{\gamma_{a4^\circ c}} \right)$$

M_s → Massa de solo seco

M_1 → Pic. + solo + água

M_2 → Pic. + água

Das três determinações pode-se obter o valor médio, pois as determinações não variam mais que 0,02 g/cm³ entre si:

$$\delta = \frac{2,670 + 2,665 + 2,681}{3} = 2,672 \text{ g/cm}^3$$

2.2) Um corpo de prova cilíndrico de um solo argiloso tinha $H = 12,5$ cm, $\phi = 5,0$ cm e sua massa era de 478,25 g a qual, após secagem, passou a 418,32 g. Sabendo-se que a massa específica dos sólidos é 2,70 g/cm³, determinar:

- massa específica aparente seca (γ_s);
- índice de vazios (e);
- porosidade (n);
- grau de saturação (S);
- teor de umidade (h).

Resolução:

Massa do C.P úmido: 478,25 g
 Massa do C.P seco: 418,32 g
 Massa de água: 59,93 g

Volume ocupado pelos sólidos:

$$\delta = \frac{M_s}{V_s} \quad V_s = \frac{M_s}{\delta} = \frac{418,32}{2,70} = 154,93 \text{ cm}^3$$

Volume do corpo de prova:

$$V = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \cdot H = \frac{3,14 \times (5,0)^2}{4} \times 12,5 = 245,44 \text{ cm}^3$$

Volume de água:

$$V_a = \frac{M_a}{\gamma_a} = \frac{59,93}{1} = 59,93 \text{ cm}^3$$

Volume de vazios:

$$V_t = V_V + V_S$$

$$V_V = V_t - V_S = 245,44 - 154,93 \quad V_V = 90,51 \text{ cm}^3$$

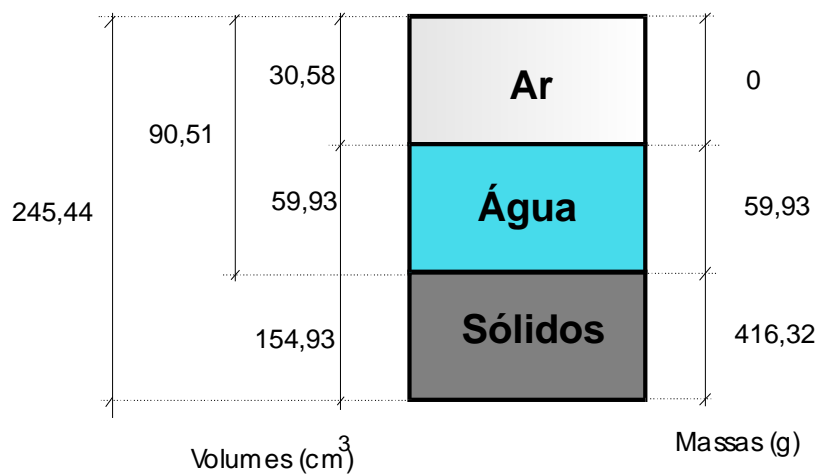


FIGURA 1 - Massas e Volumes das diversas fases

A figura 1, mostra o corpo de prova separado idealmente nas três fases físicas, as quais estão expressas à direita em termos de massas e à esquerda de volumes.

Pelas definições dos diversos índices físicos, têm-se:

$$\text{a) } \gamma_s = \frac{M_s}{V} = \frac{418,32}{245,44} = 1,70 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{b) } e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{90,51}{154,93} = 0,58$$

$$\text{c) } n = \frac{V_v}{V} = \frac{90,51}{245,44} \times 100 = 36,38 \%$$

$$\text{d) } S_r = \frac{V_a}{V_v} = \frac{59,93}{90,51} \times 100 = 66,21\%$$

2.3) Um solo apresenta massa específica igual a $1,72 \text{ g/cm}^3$, teor de umidade 28% e massa específica dos sólidos $2,72 \text{ g/cm}^3$. Determinar a massa específica seca (γ_s), o índice de vazios (e), a porosidade (n), o grau de saturação (S) e a quantidade de água que deve ser adicionada ao solo para saturá-lo.

De acordo com as fórmulas de correlação entre os diversos índices físicos:

$$\gamma_t = \gamma_s \cdot (1 + h) \qquad \gamma_s = \frac{1,72}{1 + 0,28} = 1,34 \text{ g/cm}^3$$

$$e = \frac{\delta}{\gamma_s} - 1 \qquad e = \frac{2,72}{1,34} - 1 = 1,02$$

$$n = \frac{e}{1 + e} \qquad n = \frac{1,02}{1 + 1,02} \times 100 = 50,4\%$$

$$S_r = \frac{\delta \cdot h}{e \cdot \gamma_a} \qquad S_r = \frac{2,72 \times 0,28}{1,02 \times 1,0} \times 100 = 74,6\%$$

teor de umidade necessário para saturar o solo:

$$S_r = 100\% \rightarrow h = \frac{S \cdot e \cdot \gamma_a}{\delta} = \frac{1,02 \times 1,0 \times 1,0}{2,72} \times 100 = 37,50\%$$

$$w = 37,50\% \qquad M = M_s \cdot (1 + w) = 1,34 \cdot (1 + 0,375) = 1,825 \text{ t}$$

$$\Delta M_a = 1,825 - 1,72 = 0,1225 \text{ t}$$

$$\Delta V_a = 122,5 \text{ l por m}^3 \text{ de solo}$$

2.4) A massa específica de um solo foi obtida através de medida direta sobre um corpo de prova de amostra indeformada e através do cilindro cortante. No primeiro caso obteve-se $\gamma_1 = 1,75 \text{ g/cm}^3$ e no segundo $\gamma_2 = 1,83 \text{ g/cm}^3$. Sabendo-se que o teor de umidade natural do solo é 43,5% e que a massa específica dos sólidos é $2,75 \text{ g/cm}^3$, qual dos dois valores estará mais correto?

Resolução:

Verificaremos os diversos índices físicos dos dois corpos de prova.

C.P. 1

$$\gamma_1 = 1,75 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_s = \frac{1,75}{1,435} = 1,22 \text{ g/cm}^3$$

$$w = 43,5\%$$

$$e = \frac{2,75}{1,22} - 1,0 = 1,26$$

$$\delta = 2,75 \text{ g/cm}^3$$

$$S_r = \frac{2,75 \times 0,435}{1,26} \times 100 = 94,94\%$$

C.P. 2

$$\gamma_1 = 1,83 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_s = \frac{1,83}{1,435} = 1,28 \text{ g/cm}^3$$

$$w = 43,5\%$$

$$e = \frac{2,75}{1,28} - 1,0 = 1,15$$

$$\delta = 2,75 \text{ g/cm}^3$$

$$S_r = \frac{2,75 \times 0,435}{1,15} \times 100 = 104,72\%$$

A primeira determinação deverá estar mais correta, pois para o segundo corpo de prova obteve-se $S_r > 100\%$, o que é impossível.

2.5) Um solo de uma área de empréstimo tem $n = 58\%$ e $\delta = 2,70 \text{ g/cm}^3$. Deseja-se utilizar esse solo para construção de um aterro com um volume de 100.000 m^3 . Que volume deverá ser escavado se o aterro deverá ser construído com $\gamma_t = 1,80 \text{ g/cm}^3$ e $w = 15\%$?

ATERRO

$$\gamma_t = 1,80 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_s = \frac{1,80}{1 + 0,15} = 1,57 \text{ g/cm}^3$$

$$w = 15\%$$

$$e = \frac{2,70}{1,57} - 1,0 = 0,73$$

$$\delta = 2,70 \text{ g/cm}^3$$

$$V = V_s \cdot (1 + e)$$

$$V = 100.000 \text{ m}^3$$

$$V_s = \frac{100.000}{1 + 0,73} = 57.803,5 \text{ m}^3$$

EMPRÉSTIMO

$$e = \frac{n}{1-n} = \frac{0,58}{1-0,58} = 1,38$$

$$n = 58\%$$

$$\delta = 2,70 \text{ g/cm}^3$$

$$V = V_s \cdot (1 + e) \begin{cases} V_s = 57.803,5 \text{ m}^3 \\ e = 1,38 \end{cases}$$

$$V = 57.803,5 \times (1 + 1,38)$$

$$V = 137.627,4 \text{ m}^3$$

2.6) A uma amostra de solo que tinha um teor de umidade $w = 17,2\%$ adicionou-se água de tal forma que w passou a $25,6\%$. Qual foi o acréscimo de peso da amostra?

Resolução:

$$\begin{array}{c} M_1 \\ w = 17,2\% \end{array}$$

$$\begin{array}{c} M_2 \\ w = 25,6\% \end{array}$$

$$M_1 = M_s \cdot (1 + 0,172)$$

$$M_2 = M_s \cdot (1 + 0,256)$$

$$M_2 - M_1 = M_s \cdot (0,256 - 0,172) = \Delta M_a$$

$$\Delta M_a = 0,084 \cdot M_s \quad \text{ou} \quad \Delta M_a = \frac{0,084}{1 + 0,172} \cdot M_1$$

$$\Delta M_a = 0,072 \cdot M_1 \text{ ou } 7,2\% \text{ sobre a massa inicial}$$

Exercícios propostos:

2.7) Partindo das definições, demonstre que:

a) $G \cdot w = e \cdot S$

b) $\gamma_t = \frac{1+w}{1+e} \cdot G \cdot \gamma_a$

c) $\gamma_s = \frac{\gamma_t}{1+w}$

2.8) Completar a tabela abaixo com base nas expressões que relacionam as fases de um volume de solo, sabendo que:

- γ_t – Massa específica total (g/cm^3)
 γ_s – Massa específica do solo seco (g/cm^3)
 e – índice de vazios
 n – porosidade
 w – teor de umidade
 G – densidade dos grãos

Solo nº	γ_t (g/cm^3)	γ_s (g/cm^3)	e	n (%)	w (%)	G	Volume (cm^3)	Peso (g)	
								úmido	Seco
1	1,800		0,800				---	---	---
2				48,0	34,0	2,65	---	---	---
3	1,720		0,730			2,71	---	---	---
4		1,450				2,71	---	19,1	14,4
5				78,0		2,45	---	---	---
6						2,65	86,0	162,0	126,4
7	1,800					2,68	31,0	---	48,5

Obs: considerar $S = 100\%$, no caso de falta de dados

2.9) Se $150.000 m^3$ de solo são escavados de um empréstimo, no qual o índice de vazios médio é de 1,22, qual será o volume correspondente de aterro se o índice de vazios médio obtido no mesmo é de 0,70? Sabendo-se que o teor de umidade no empréstimo é de 8% e que o aterro depois de pronto terá uma umidade de 12%, calcular o volume de água que deverá ser adicionado ao material escavado. Estime os valores dos índices físicos necessários.

Observação: Adotar $G = 2,67$

2.10) O volume de uma amostra de argila siltosa, determinado por imersão em mercúrio, foi de $14,98 cm^3$. O seu peso no estado natural foi 28,81 g, enquanto o peso seco foi 24,83 g. Sabendo que $G = 2,70$, calcule o índice de vazios e o grau de saturação da amostra.

2.11) Uma argila saturada possui um teor de umidade de 39,3% e um massa específica saturada igual à $1,84 g/cm^3$. Determinar a densidade das partículas e o índice de vazios.

2.12) Para a construção de uma barragem de terra foi prevista a utilização de um volume de 300.000 m³ de terra, com um índice de vazios igual a 0,8. Dispõe-se de três jazidas designadas por A, B e C. O índice de vazios do solo de cada uma delas, bem como a estimativa do custo do movimento de terra até o local da barragem, são indicadas no quadro abaixo. Qual a jazida explorável economicamente?

JAZIDA	ÍNDICE DE VAZIOS	CUSTO DO MOVIMENTO DE TERRA / m ³
A	0,99	R\$ 11,22
B	2,20	R\$ 9,90
C	1,76	R\$ 10,34

2.13) Demonstrar as seguintes relações:

a) $\gamma_t = \gamma_s \cdot (1 + w)$

b) $\gamma_s = \frac{\delta \cdot S_r \cdot \gamma_a}{S_r \cdot \gamma_a + \delta \cdot h}$

2.14) Determinar a massa específica dos sólidos para o solo cujas leituras do ensaio são apresentadas a seguir:

DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE			
RECIPIENTE N°	08	10	12
RECIP. + AMOSTRA ÚMIDA (g)	152,73	164,38	148,33
RECIPIENTE (g)	61,77	74,17	56,83
SOLO ÚMIDO (g)			
RECIP. + AMOSTRA SECA (g)	150,44	162,49	146,13
SOLO SECO (g)			
ÁGUA (%)			
UMIDADE (%)			
DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA			
DETERMINAÇÃO N°	1	2	3
PICNÔMETRO N°	1	1	1
PIC. + SOLO + ÁGUA (g)	712,66	711,73	711,13
PIC. + ÁGUA (g)	656,74	655,85	655,05
TEMPERATURA (° C)	16,0	24,0	30,0
γ_a a T °C (g/cm ³)	0,9990	0,9978	0,9957
δ (g/cm ³)			
δ médio (g/cm ³)			

2.15) Uma amostra de solo arenoso ($G = 2,67$) em seu estado natural tem 126 cm^3 de volume e 210 g de massa. Quando seca sua massa é de $184,21 \text{ g}$. Determinar γ_t , γ_s , e , n , S_r .

Resposta:

$$\begin{array}{lll} w = 14\% & \gamma_t = 1,667 \text{ g/cm}^3 & \gamma_s = 1,462 \text{ g/cm}^3 \\ e = 0,826 & n = 45,24 & S_r = 45,25 \% \end{array}$$

2.16) Um solo saturado tem $w = 38\%$ e $\delta = 2,85 \text{ g/cm}^3$. Determinar: e , n , γ_t .

Resposta

$$e = 1,08 \quad n = 52,07 \% \quad \gamma_t = 1,89 \text{ g/cm}^3$$

2.17) Uma amostra de solo com 500 cm^3 de volume pesa 880 g e tem um grau de saturação de 48% . Sabendo-se que $\delta = 2,82 \text{ g/cm}^3$, determinar a massa específica desse solo quando $S = 100\%$.

2.18) Uma areia no estado mais solto possível apresenta $e_{\text{máx}} = 1,02$ e no estado mais compacto, $e_{\text{min}} = 0,47$. Sabendo que um estrato natural dessa areia tem $4,30 \text{ m}$ de espessura, que possui uma compactidade relativa de 47% e $G=2,67$, pede-se:

- Determinar γ_s e γ_{sat} da areia nas condições em que ela se encontra;
- Se, devido a vibrações, a compactidade relativa se altera para 68% , qual será a nova espessura da camada de areia?

Resposta

$$\begin{array}{ll} \text{a) } \gamma_s = 1,517 \text{ g/cm}^3 & \gamma_{\text{sat}} = 1,949 \text{ g/cm}^3 \\ \text{b) } H = 4,02 \text{ m} & \end{array}$$

2.19) Uma amostra de argila saturada com $D = 6,5 \text{ cm}$ e $H = 2,5 \text{ cm}$, foi comprimida até que sua altura baixou para $1,85 \text{ cm}$ sem alteração de diâmetro. O índice de vazios inicial era $1,42$ e $\delta = 2,42 \text{ g/cm}^3$. Admitindo que toda compressão tenha se dado por expulsão de água dos vazios, determinar o novo índice de vazios e a variação do teor de umidade.

2.20) Determinar a compactidade relativa de uma areia ($\delta=2,67 \text{ g/cm}^3$) que apresenta em seu estado natural uma massa específica de $1,80 \text{ g/cm}^3$ e um teor de umidade de $16,5\%$. Sabe-se que no estado mais solto possível $e = 1,05$ e no mais compacto $e = 0,62$.

2.21) Obter a fórmula de compactidade relativa em termos de massas específicas aparentes secas.

$$D_r = \frac{e_{máx} - e}{e_{máx} - e_{min}}$$

2.22) Calcular a quantidade de solo e de água que devem ser utilizados para moldar um corpo de prova cilíndrico de 10,0 cm de altura e 5,0 cm de diâmetro, sabendo-se que o solo se encontra com um teor de umidade de 9% e que o corpo de prova deverá ter $\gamma_t = 2,05 \text{ g/cm}^3$ e $w = 18\%$.

2.23) Calcular a quantidade de água que é necessário adicionar a 1000 g de um solo cujo teor de umidade é de 10% para que esse teor de umidade aumente de 5%.

Resposta

Quantidade de água a adicionar = $45,45 \text{ cm}^3$

2.24) Uma amostra indeformada de um solo apresenta porosidade $n = 52\%$, grau de saturação $S = 86\%$ e massa específica $\gamma_t = 1,58 \text{ g/cm}^3$. Determinar δ , e , γ_s .

2.25) Um solo cujo $\gamma_t = 1,95 \text{ g/cm}^3$ e $w = 14\%$, foi deixado secar até que $\gamma_t = 1,88 \text{ g/cm}^3$. Admitindo que não houve variação de volume, qual será o novo teor de umidade desse solo?

Resposta:

$w = 10\%$

2.26) Numa determinada região, a capacidade de transporte do vento é de 12% do seu volume em sólidos e, nessas condições sabe-se que a massa específica do “vento” é de $0,32 \text{ g/cm}^3$. Uma amostra do sedimento formado por esse vento apresentou $\gamma_t = 1,25 \text{ g/cm}^3$ e $S = 12\%$.

Pede-se determinar:

- A massa específica dos sólidos;
- A porosidade do sedimento e do “vento”;
- A relação entre o volume do sedimento e do vento.

Observação:

Adotar os dados que julgar necessários à resolução do problema.

Resposta:

Admitindo que o vento não transporte água, tem-se:

a) $\gamma_s = 2,67 \text{ g/cm}^3$

b) $n_{\text{sed}} = 55,7\% \quad n_{\text{vento}} = 88\%$

c) $\frac{V_{\text{sed}}}{V_{\text{vento}}} = 0,27$

2.27) Determinar γ_s para uma amostra de solo que apresenta $S = 80\%$ e $n = 50\%$.

2.28) Calcular a porosidade (n) para um solo cujo $S = 60\%$, $\delta = 2,75 \text{ g/cm}^3$ e $w = 15\%$.

Qual a massa específica desse solo?

Resposta:

$n = 40,74\% \quad \gamma_t = 1,874 \text{ g/cm}^3$

2.29) Determinar o grau de saturação (S) para um solo que apresenta $\gamma_s = 1,58 \text{ g/cm}^3$, $\delta = 2,67 \text{ g/cm}^3$ e $w = 21\%$.

2.30) Uma amostra de solo apresenta $n = 48\%$, $w = 21\%$ e $\delta = 2,67 \text{ g/cm}^3$. Calcular os demais índices físicos.