MECÂNICA DOS SOLOS
Índices Físicos

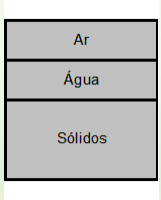
Prof. Edson de Moura

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

2º semestre 2024

1

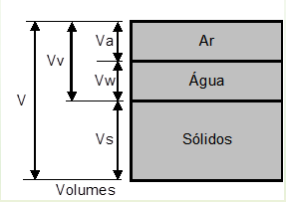
Relação das três fases



2

Relação das três fases

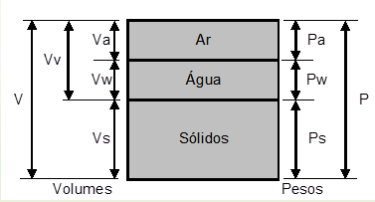
Volumes



3

Relação das três fases

Volumes Pesos



4

Relação das três fases

Para os propósitos da física do solo, esse pode ser assumido como um sistema multicomponente, integrado pela fases: sólida, líquida e gasosa. Essas duas últimas complementares: a máxima presença de uma implica na ausência da outra.

A porção do espaço poroso não ocupado pela fase líquida é complementada pela fase gasosa. Portanto, a fase líquida pode estar presente nos poros do solo se completamente é dito saturado e se parcialmente, não saturado.

A fase sólida é constituída de partículas minerais em sua grande maioria e, em menor quantidade de substâncias orgânicas. Esses compostos orgânicos e os minerais sólidos são de várias formas, tamanhos e composições químicas e constituem o que se chama de matriz do solo.

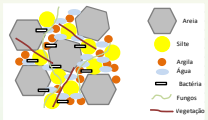
Assim, as quantidades de água e ar podem variar. A evaporação faz a água diminuir, substituindo o volume, ora ocupado pela água, ser substituído por ar; a compressão do solo pode provocar a saída de água e ar, reduzindo o volume de vazios.

O solo, no que se refere às partículas que o constituem, permanece o mesmo, mas seu estado se altera. As diversas propriedades do solo dependem do estado em que as três fases se encontram. Quando diminui o volume de vazios, por exemplo, a resistência aumenta.

5

Correlação entre as três fases

Água no solo



Grumo de solo

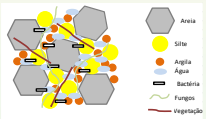
Cristalização

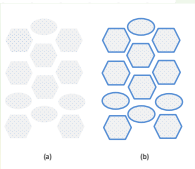
6

Correlação entre as três fases

Água no solo

Grumo de solo





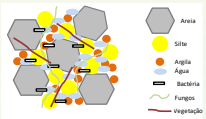
Cristalização Higroscópica

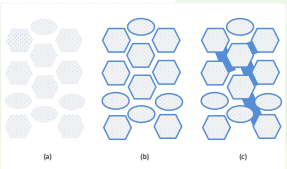
7

Correlação entre as três fases

Água no solo

Grumo de solo





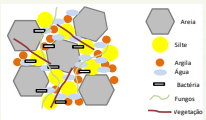
Cristalização Higroscópica Capilar

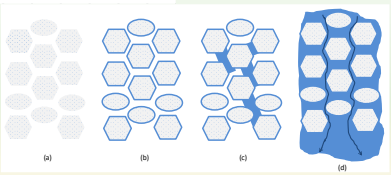
8

Correlação entre as três fases

Água no solo

Grumo de solo





Cristalização Higroscópica Capilar Livre

9

Correlação entre as três fases

Umidade

Símbolo (**w**) - expressa a quantidade de água existente numa dada porção de solo úmido, é a relação entre o peso da água (Pw) e o peso de sólidos (Ps).

Para sua determinação, inicialmente, mede-se o peso de solo úmido (Pu), em seguida esse solo úmido é colocado em uma estufa à temperatura de 105ºC a 110ºC, a água irá evaporar, amostra deverá permanecer na estufa até constância de peso, em seguida, mede-se o peso da porção de solo seco (Ps).

A diferença entre os dois pesos (Pu - Ps) é o peso da água que evaporou e que dividido pelo peso de sólidos (Ps) tem-se o teor de umidade:

$$w = \frac{Pw}{Ps} * 100$$

Onde
w – teor de umidade (%)
Pw – peso da massa de água (g)
Ps – peso dos sólidos (g)

10

Correlação entre as três fases

Umidade

Exemplo

Cápsula número		(n.)	45
Cápsula - massa da cápsula – (tara)		(g)	25,76
Cápsula + Peso úmido	(Cap + Pu)	(g)	75,67
Cápsula + peso de sólidos	(Cap + Ps)	(g)	70,82
Peso da água	(Pw)	(g)	4,85
Peso dos sólidos	(Ps)	(g)	45,06

$$w = \frac{Pw}{Ps} * 100 \qquad w = \frac{4{,}85}{45{,}06} * 100$$

Teor de umidade (w) 10,7%

Expressar o valor de umidade com uma casa após a vírgula!

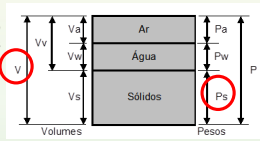
11

Correlação entre as três fases

Massa Específica Aparente Seca

Símbolo (**γs**) – unidade (g/cm³), é a relação entre o massa dos sólidos e o volume ocupado pelos sólidos. O volume considerado inclui os vazios entre os grãos dos sólidos. Os valores deverão ser expresso com 3 algarismos significativos.

$$\gamma s = \frac{Ps}{V}$$



Como se trata de massa e massa tem o grama (g) como unidade no sistema internacional de medidas (SI), logo, temos massa específica aparente seca e g/cm³ como unidade. Utiliza-se também o peso e peso é a massa x a aceleração da gravidade, temos a unidade kN no sistema internacional de medidas (SI), assim, peso específico aparente seco temos o kN/m³ como unidade.

Ainda existe a *densidade* relativa que é expressa em relação a massa específica aparente da água, logo, não se utiliza unidade para densidade. Nessas notas de aula será utilizado o termo: massa específica aparente seca, com unidade (g/cm³).

12

Correlação entre as três fases

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Fator de Conversão

Conforme exposto anteriormente, o teor de umidade de um solo é a relação entre o peso da água contida nele pelo peso de sólidos e, como essa relação **não** é sobre a peso total (peso de sólidos + peso da água) mas somente sobre o peso de sólidos (Ps), para transformação de massa úmida em massa seca aplica-se o fator de conversão (FC).

$$w = \frac{Pw}{Ps} = \frac{Pu - Ps}{Ps} = Ps * w = Pu - Ps = Ps * w + Ps = Pu$$

$$= Pu = Ps(1 + w) = Ps = Pu * \frac{1}{1 + w} \rightarrow FC$$

$$FC = \frac{1}{1 + w} \qquad FC = \frac{100}{100 + w\%}$$

Mecânica dos Solos

Prof. Edson de Moura

13

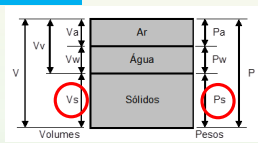
Correlação entre as três fases

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

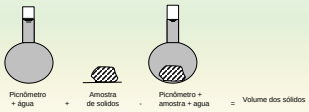
Massa Específica dos Sólidos

Símbolo (γd) – unidade (g/cm³), é a relação da massa dos sólidos (Ps) pelo volume dos sólidos (Vs). Os valores deverão ser expressos com 3 algarismos significativos.

$$\gamma_d = \frac{Ps}{V_s}$$



Ensaio de fácil assimilação e de difícil execução. A dificuldade esta em obter o volume da amostra, essa, pode ser obtida indiretamente, com pesagem hidrostática.



Mecânica dos Solos

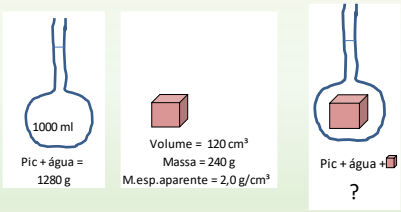
Prof. Edson de Moura

14

Correlação entre as três fases

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Massa Específica dos Sólidos



V = (massa do picnômetro + água) + amostra – (picnômetro com água + amostra).

Mecânica dos Solos

Prof. Edson de Moura

15

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Correlação entre as três fases

Índice de Vazios

Símbolo (**e**), exprime a quantidade de vazios em relação a quantidade de sólidos. Obtém-se indiretamente através de outros índices. Os valores médios situam-se entre 0,5 e 1,5.

$$e = \frac{Vv}{Vs} \qquad Vv = V - Vs \qquad e = \frac{(V - Vs)}{Vs} \qquad e = \frac{V}{Vs} - 1$$

Porosidade

Símbolo (**n**), a semelhante ao índice de vazios, é relação do volume de vazios pelo volume total. Normalmente se encontra valores entre 30% e 70%.

$$n = \frac{Vv}{V}$$

Mecânica dos Solos

Prof. Edson de Moura

16

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Correlação entre as três fases

Saturação

Símbolo (**S**) indica o grau de saturação do solo, é a relação do volume de água pelo volume de vazios. Solo saturado tem grau de saturação = 100% e se o solo estiver seco = 0%. Sua determinação é feita indiretamente.

$$S = \frac{Vw}{Vv}$$

Mecânica dos Solos

Prof. Edson de Moura

17

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Exercício 1 – determinar os teores de umidade / massas esp. ap. secas e úmidas

Determinação do teor de umidade (w) (%)										
Amostra	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Tara	26,25	30,91		18,45	24,55		28,72	27,87	32,04	28,85
Tara + Pu	79,45	90,63	77,63	79,81	81,02	95,54	98,91		117,33	
Tara + Ps	70,31	80,56		71,68			88,71		107,25	80,20
Ps			40,88		44,68			69,87		
Pw			7,74			10,05				
w(%)								15,1	13,4	

Determinação das massas secas (Ps) ou úmidas (Pu) com base nas umidades correspondentes acima										
Amostra	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Pu (g)	1695,6		1250,5		3695,2	2025,9		7896,5	799,5	2153,0
Ps (g)		1852,0		1963,5	3155,0	1727,0	785,6			1872,2

Determinação das massas específicas (γs) ou úmidas (γu) com base nas umidades correspondentes acima										
Amostra	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
γu (g/cm³)	1,89				1,65	1,84	1,72			1,82
γs (g/cm³)		1,78	1,92	1,989				1,59	1,69	

Mecânica dos Solos

Prof. Edson de Moura

18

Ex 2 - resolvido

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Exercício 2 - Uma caixa de 1,0 m^3 contém uma amostra de solo saturada. A massa de sólidos da amostra Ps = 1356 kg e o solo possui uma massa espescífica dos sólidos - γd = 2,67 g/cm3. Pede-se: w, Ps, γu, γs, e, n, S

Dados:			Péde-se		
	Ps =	1356 kg		Pu	1848 kg
	γd	2,67 g/cm3		w	36,3 %
	V =	1 m3		γs	1,36 g/cm3
				γu	1,85 g/cm3
				e	0,97
				n	97 %
				S	100 %

Resolução

Volume de sólidos	Vs = Ps/γd Vs = 1356/2670 Vs = 0,508 m3	Massa esp. ap. seca (γs)	γs = Ps / V γs = 1356/1000 γs = 1,36 g/cm3
Volume de vazios	Vv = V - Vs Vv = 1 - 0,508 Vv = 0,492 m3 Vv = Vw (amostra saturada) Pw = Vw*γw Pw = 0,492*1,0 Pw = 0,492 t = 492 kg	índice de vazios (e)	e = Vv / Vs e = 492/508 e = 0,97
		Porosidade	n = Vv/V n =0,492/1 n = 49,2 %
Umidade (w)	w = Pw/Ps w = 492/1356 w = 36,3 %	Saturação	S = Vw/Vv S = 492/492 S = 100,0 %

Mecânica dos Solos — Prof. Edson de Moura

19

Ex 3 - resolvido

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Ex-3 - Uma porção de amostra de solo tem peso úmido Pu = 285,36g e apresenta teor de umidade w = 7,8%. γd = 2,72 g/cm3. Essa amostra esta acondicionada um recipiente cilíndrico com 50 mm de diâmeto e 75 mm de altura, onde ocupa todo o seu volume. Pede-se: Ms, γu, γs, e, n, S

Dados:			Péde-se		
	Pu =	285,36 g		Ps	264,7124 g
	w	7,8 %		γs	1,94 g/cm3
	γd	2,72 g/cm3		γu	1,80 g/cm3
	diâm. do cil. =	50 mm		e	0,51
	Altura do cil. =	75 mm		n	34,6 %
				S	44,7 %

Resolução

Peso seco - Ps	Ps = Pu *Fc Ps = 285,36 *(100/(100+7,8) Ps = 264,71 g	Volume de vazios	Vv = V - Vs Vv = 147,19 - 97,30 Vv = 49,89 cm3
Volume da amostra	V = área * altura V = (5,0 *3,1415/4)*7,5 V = 147,19 cm3	índice de vazios (e)	e = Vv / Vs e = 49,89/97,30 e = 0,51
massa esp. ap. úmda (γu)	γu = Pu/V γu = 285,36/147,19 γu = 1,94 g/cm3	Porosidade	n = Vv/V n = 49,89/147,19 n = 0,34 %
Massa esp. ap. seca (γs)	γs = Ps/V γs = 264,71/147,19 γs = 1,80 g/cm3	Volume da água	Pw = w*Ps Pw = 0,078*264,71 Pw = 20,6 g γw = 1 g/cm3 Vw = Pw/γw Vw = 20,6/1 Vw = 20,6 cm3
Volume de sólidos	Vs = Ps/γd Vs = 264,71/2,72 Vs = 97,30 cm3	Saturação	S = Vw/Vv S = 20,6/49,94 S = 41,25 %

Mecânica dos Solos — Prof. Edson de Moura

20

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Resolver os exercícios de 4 a 33 da apostila + Questionário (respostas discursivas)

RUMO A P1

Mecânica dos Solos — Prof. Edson de Moura

21