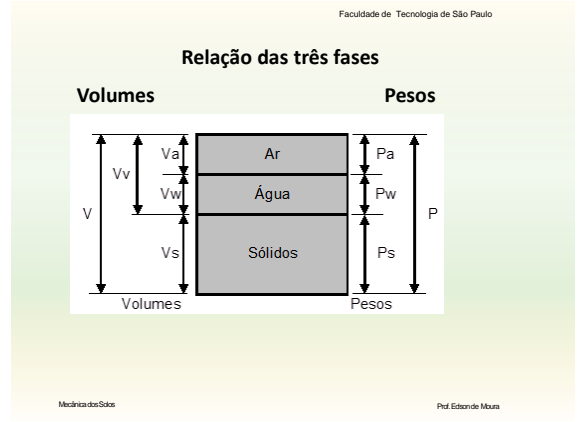




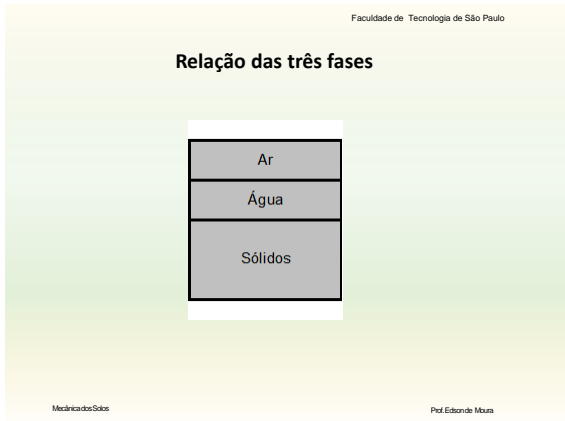
Faculdade de Tecnologia de São Paulo

1º semestre 2024

1



4



2

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Relação das três fases

Para os propósitos da física do solo, esse pode ser assumido como um sistema multicomponente, integrado pelas 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.

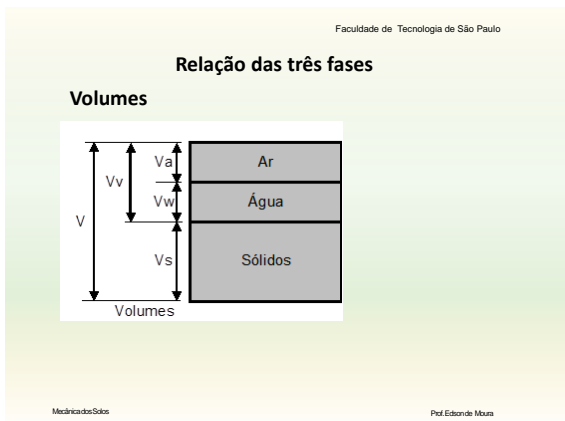
A fase sólida é constituída de partículas minerais em sua grande maioria e, em menor quantidade de substâncias orgânicas. Esses compostos orgânicos e os minerais sólidos são de várias formas, tamanhos e composições químicas e constituem o que se chama de matriz do solo.

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.

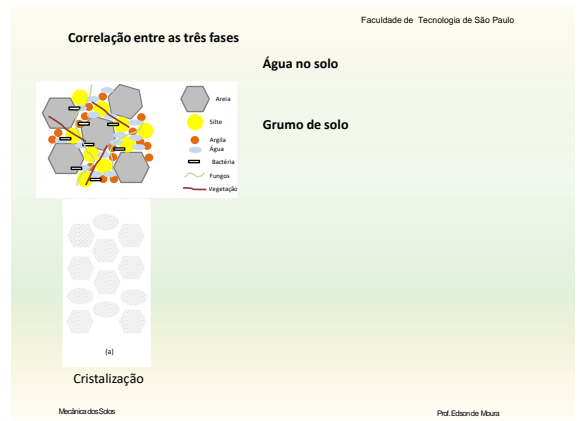
O solo, no que se refere às partículas que o constituem, permanece o mesmo, mas seu estado se altera. As diversas propriedades do solo dependem do estado em que as três fases se encontram. Quando diminui o volume de vazios, por exemplo, a resistência aumenta.

Medeiros dos Santos Prof. Edson de Moura

5



3



6

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Correlação entre as três fases

Água no solo

Grumo de solo

(a) Crístalização (b) Higroscópica

Medicinas/Sólos Prof. Edson de Moura

7

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

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 (P_w) e o peso de sólidos (P_s).

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

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

$$w = \frac{P_w}{P_s} * 100$$

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

Medicinas/Sólos Prof. Edson de Moura

10

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Correlação entre as três fases

Água no solo

Grumo de solo

(a) Crístalização (b) Higroscópica (c) Capilar

Medicinas/Sólos Prof. Edson de Moura

8

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

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

$$w = \frac{P_w}{P_s} * 100 = \frac{4,85}{45,06} * 100$$

Teor de umidade (w) 10,7%

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

Medicinas/Sólos Prof. Edson de Moura

11

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Correlação entre as três fases

Água no solo

Grumo de solo

(a) Crístalização (b) Higroscópica (c) Capilar (d) Livre

Medicinas/Sólos Prof. Edson de Moura

9

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Correlação entre as três fases

Massa Específica Aparente Seca

Símbolo (γ_s) – unidade (g/cm^3), 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.

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

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/cm^3 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/m^3 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/cm^3).

Medicinas/Sólos Prof. Edson de Moura

12

Correlação entre as três fases

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).

$$w = \frac{P_w}{P_s} = \frac{P_u - P_s}{P_s} \Rightarrow P_s * w = P_u - P_s \Rightarrow P_s * w + P_s = P_u$$

$$\Rightarrow P_u = P_s(1 + w) \Rightarrow P_s = P_u * \frac{1}{1 + w} \rightarrow FC$$

$$FC = \frac{1}{1 + w}$$

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

MedicinasSólas

Prof. Edson de Moura

13

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.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad V_v = V - V_s \quad e = \frac{(V - V_s)}{V_s} \quad e = \frac{V}{V_s} - 1$$

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%.

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

MedicinasSólas

Prof. Edson de Moura

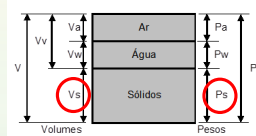
16

Correlação entre as três fases

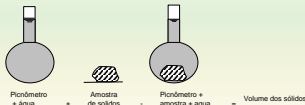
Massa Específica dos Sólidos

Símbolo (γ_d) – 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.

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



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



MedicinasSólas

Prof. Edson de Moura

14

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.

$$S = \frac{V_w}{V_v}$$

MedicinasSólas

Prof. Edson de Moura

17

Correlação entre as três fases

Massa Específica dos Sólidos



$$V = (\text{massa do picnômetro} + \text{água}) + \text{amostra} - (\text{picnômetro com água} + \text{amostra}).$$

MedicinasSólas

Prof. Edson de Moura

15

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		107	
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	799,9	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	

MedicinasSólas

Prof. Edson de Moura

18

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Ex 2 - resolvido

Exercício 2 - Uma caixa de 1,0 m³ contém uma amostra de solo saturada. A massa de sólidos da amostra Ps = 1356 kg e o solo possui uma massa específica dos sólidos - γd = 2,67 g/cm³. Pedir-se: w, Ps, γu, γs, e, n, S

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

Resolução

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

Medicina de Solos Prof. Edson de Moura

19

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Ex 3 - resolvido

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 está acondicionada em recipiente cilíndrico com 50 mm de diâmetro e 75 mm de altura, onde ocupa todo o seu volume. Pedir-se: Ms, γu, γs, e, n, S

Dados:	Pu = 285,36 g	Péde-se	Ps	264,7124 g
	w = 7,8 %		γs	1,94 g/cm ³
	γd = 2,72 g/cm ³		γu	1,80 g/cm ³
	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 / (1 + w/100) 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 cm ³
Volume da amostra	V = área * altura V = (5,0 * 3,1415/4) * 7,5 V = 147,19 cm ³	Índice de vazios (e)	e = Vv / Vs e = 49,89/97,30 e = 0,51
massa esp. ap. úmida (γu)	γu = Pu/V γu = 285,36/147,19 γu = 1,94 g/cm ³	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/cm ³	Volume da água	Pw = w * Ps Pw = 0,078 * 264,71 Pw = 20,6 g γw = 1 g/cm ³ Vw = Pw/γw Vw = 20,6/1 Vw = 20,6 cm ³
Volume de sólidos	Vs = Ps/γd Vs = 264,71/2,72 Vs = 97,30 cm ³	Saturação	S = Vw/Vv S = 20,6/49,94 S = 41,25 %

Medicina de 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

Medicina de Solos Prof. Edson de Moura

21