UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

0534 – MECÂNICA DOS SOLOS I - TEORIA

PROFESSORES:

PEDRO M.M.M. MARCÃO

NILENE JANINI DE OLIVEIRA SEIXAS

2019

INDICE

CAPÍTULO 1

ÍNDICES FÍSICOS

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

CAPÍTULO 2

CÁLCULO DE PRESSÕES

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

BIBLIOGRAFIA

⇒ **Introductory Soil Mechanics and Foundations**
George B. Sowers and George F. Sowers
Third Edition

⇒ **Soil Mechanics**
T. William Lambe and Robert V. Whitman

⇒ **Introdução à Mecânica dos Solos**
Milton Vargas
Editora Mc Graw – Hill do Brasil, LTDA

⇒ **Mecânica dos Solos e suas aplicações**
Volume 1, 2, 3 e 4
Homero Pinto Caputo
Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

⇒ **Introdução à Mecânica dos Solos em 16 aulas**
Carlos de Souza Pinto
Oficina de Textos
www.ofitexto.com.br

⇒ **Curso Básico de Mecânica dos Solos – Exercícios Resolvidos**
Carlos de Souza Pinto
Oficina de Textos
www.ofitexto.com.br

Capítulo I

Índices Físicos

1. O estado em que o solo se encontra

Num solo, só parte do volume total é ocupada pelas partículas sólidas, que se acomodam formando uma estrutura. O volume restante costuma ser chamado de vazios, embora esteja ocupado por água e ar. Pode-se dizer, portanto, que o solo é constituído de três fases: partículas sólidas, água e ar.

Em princípio, as quantidades de água e ar podem variar. A evaporação pode fazer diminuir a quantidade de água substituindo-a por ar. Ou a compressão do solo pode provocar a saída de água e ar do solo, reduzindo o volume de vazios. O solo, no que se refere às partículas que o constituem, permanece o mesmo, mas o seu estado se altera. As diversas propriedades do solo dependem do estado em que se encontra. Quando diminui o volume de vazios, por exemplo, a resistência aumenta.

Para identificar o estado do solo, empregam-se índices que correlacionam os pesos e os volumes das três fases (Figura – 1).

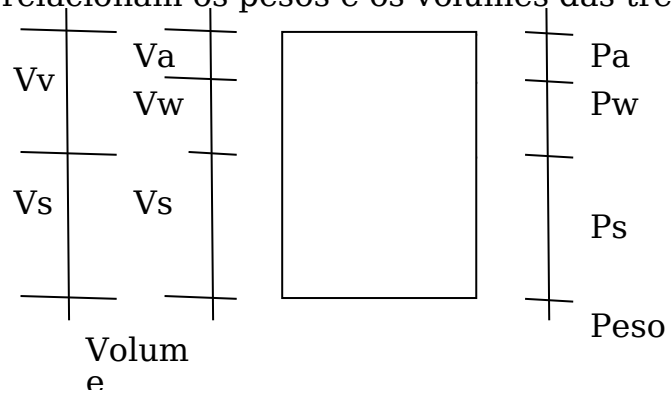


Fig. 1 Estrutura do solo, a relação entre peso e volume

Agora vamos citar os índices físicos.

Umidade (w) Relação entre peso da água e peso dos sólidos. É expresso pela letra **w**. Para sua determinação pesa-se o solo no estado natural (Ph), seca-se o solo em uma estufa a 105 graus centígrados até constância do peso (Ps), e pesa-se novamente. Tem-se o peso das duas fases, com que a umidade é calculada. É a operação mais freqüente em um laboratório de solos. Os teores de umidade dependem do tipo de solo, mas situa-se geralmente entre 10 a 40% podendo ocorrer valores muito baixos (solos secos) ou muito altos (150% ou mais).

$$w = \frac{Pw}{Ps}.100\% \quad (1) \qquad w = \frac{Peso\ \text{água}}{Peso\ \text{sólidos}}$$

$$w = \frac{Ph - Ps}{Ps}.100\% \quad (2)$$

Índices de vazios (e) Relação entre volume de vazios e o volume das partículas sólidas. É expresso pela letra **e.** Não pode ser determinado diretamente, mas é calculado a partir dos outros índices. Costuma se situar entre 0,5 e 1,5, mas argilas orgânicas podem ocorrer com índices de vazios superior a 3. (volume de vazios no caso água, superior a 3 vezes o volume de partículas sólidas)

$$e = \frac{Vv}{Vs} \quad (3) \qquad e = \frac{\text{Volume vazios}}{\text{Volume sólidos}}$$

Porosidade (n) Relação entre volume de vazios e volume total. Indica a mesma coisa que os índices de vazios. É expressa pela letra **n**. Valores geralmente entre 30 a 70%.

$$n = \frac{Vv}{V}.100\% \quad (4) \qquad n = \frac{\text{Volume vazios}}{\text{Volume total}}$$

Grau de saturação (S) Relação entre o volume de água e o volume de vazios. Expresso pela letra ***S.*** Não é determinado diretamente, mas calculado. Varia de zero (solo seco) a 100 (solo saturado).

$$S = \frac{Vw}{Vv}.100\% \quad (5) \qquad S = \frac{\text{Volume água}}{\text{Volume vazios}}$$

Peso específico dos grãos (ou dos sólidos) (γ_s) É uma característica dos sólidos. Relação entre o peso das partículas sólidas e o seu volume. É expresso pelo símbolo γ_s.

O peso específico dos sólidos varia pouco de solo para solo, e por si só, não permite identificar o solo em questão. É necessário para cálculos de outros índices. Os valores se situam em torno de 27 kN/m^3, sendo este valor adotado quando não se dispõe do valor específico para o solo em estudo. Grãos de quartzo (areia) costumam apresentar peso específico de 26,5 kN/m^3 e argilas lateríticas, em virtude de deposição de sais de ferro, valores até 30 kN/m^3.

$$\gamma_s = \frac{P_s}{V_s} \quad (6) \qquad \gamma_s = \frac{\text{Peso sólidos}}{\text{Volume sólidos}}$$

Peso específico da água (γ_w) Embora varie um pouco com a temperatura, adota-se sempre como igual a 10 kN/m^3, a não ser em certos procedimentos de laboratório. É expresso pelo símbolo (γ_w).

Peso específico natural (γ_{nat}) Relação entre peso total do solo e seu volume total. É expresso sempre pelo símbolo (γ_{nat}).

Para sua determinação, molda-se um cilindro do solo, cujas dimensões conhecidas permitem calcular o volume. O peso total, dividido pelo volume, é o peso específico natural. Pode também ser determinado a partir de corpos irregulares, obtendo-se o volume por meio do peso imerso na água, para este procedimento o corpo deve ser previamente envolto na parafina.

O peso específico natural não varia muito entre diferentes solos, e por isto, quando não conhecido é estimado como igual a 20 kN/m^3. Pode ser um pouco maior 21kN/m^3 ou pouco menor 18 kN/m^3. Casos especiais, como as argilas orgânicas moles, podem apresentar peso específico natural de 14 kN/m^3.

$$\gamma_{nat} = \frac{P}{V} \quad (7) \qquad \gamma_{nat} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volume}}$$

2. Relação entre os índices físicos

Dos índices vistos acima, só três são determinados diretamente em laboratório: umidade (w);

peso específico dos sólidos (γ_s) e;

peso específico natural ((γ_{nat}).

Os demais são calculados através de fórmulas que relacionam os índices físicos entre si:

grau de saturação (S);

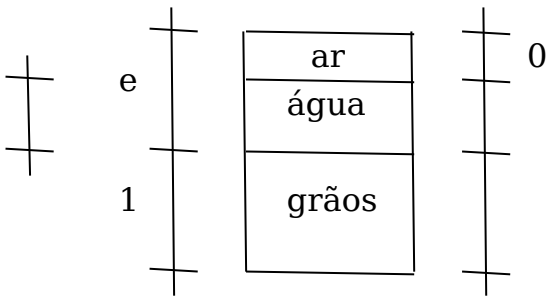
porosidade (n) e ;

índice de vazios (e)

Agora vamos admitir (volume de sólidos) $V_s = 1$, em relação ao índice de vazios.

$e = \frac{V_v}{V_s}$, vem: $e = V_v$

Para o volume de água virá: $S = \frac{V_w}{V_v} \Rightarrow \mathrm{V_w} = S.V_v = S.e$



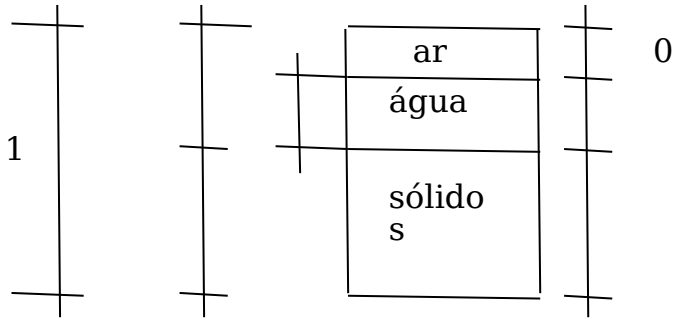
Volume X Densidade = Pesos

Por definição: $w = \frac{P_w}{P_s}$ (8)

Substituindo, vem: $w = \frac{S.e.\gamma_w}{\gamma_s}$ (9)

Também: $\gamma_{nat} = \frac{Peso}{Volume}$ $\gamma_{nat} = \frac{S.e.\gamma_w + \gamma_s}{1+e}$ (10)

Agora vamos admitir (volume total) V=1, em relação à porosidade.



Volume X Densidade = Peso

$n = \frac{V_v}{V}$ Admitindo $V = 1 \Rightarrow n = V_v$

O volume da água virá:

$S = \frac{V_w}{V_v} \Rightarrow V_w = S.V_v \Rightarrow V_w = S.n$

Umidade:

$w = \frac{P_w}{P_s} \Rightarrow w = \frac{S.n.\gamma_w}{\gamma_s(1-n)}$ (11)

Igualando 9 e 11 vem:

$\frac{S.e.\gamma_w}{\gamma_s} = \frac{S.n.\gamma_w}{\gamma_s(1-n)} \Rightarrow e = \frac{n}{1-n}$ (12)

O peso específico natural fica:

$\gamma_{nat} = \frac{Peso}{Volume} = \frac{S.n.\gamma_w + \gamma_s(1-n)}{1} = S.n.\gamma_w + \gamma_s(1-n)$

Se o solo estiver seco S=0

$\gamma_d = \gamma_s(1-n)$ (13)

Também: $\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1+e}$ (14)

Igualando 13 e 14, vem:

$$\gamma_s(1-n) = \frac{\gamma_s}{1+e} \Rightarrow n = \frac{e}{1+e} \quad (15)$$

Relação de umidade (w)

$$w = \frac{Pw}{Ps} \Rightarrow Pw = Ps.w \quad (16)$$

$$P = Ps + Pw + Par$$

Par = 0

Substituindo na equação 16

$$P = Ps + Ps.w$$

$$P = Ps.(1+w)$$

Dividir pelo volume

$$\frac{P}{V} = \frac{Ps}{V}.(1+w)$$

$$\gamma n = \gamma d.(1+w) \quad (17)$$

Exercícios Resolvidos

1) Uma amostra de argila foi colocada numa cápsula e o seu peso (P1) foi 72,49gramas. Após a secagem seu peso foi 61,28 gramas (P2). O peso da cápsula segundo a lista do laboratório (P3) é 32,54 gramas. Outro ensaio no picnômetro nos deu o valor de $\gamma_s = 2{,}69 g/cm^3$. Supondo-se que a amostra estava saturada $S = 100\%$ calcular:

a) Teor de umidade;
b) Porosidade;
c) Índice de vazios e;

d) Peso específico natural

Solução

a) $P_1 = 72{,}49gr \qquad P_2 = 61{,}28gr \qquad P_3 = 32{,}54gr$

$$w = \frac{P_1 - P_2}{P_2 - P_3} = \frac{72{,}49 - 61{,}28}{61{,}28 - 32{,}54} \bullet 100 = 39{,}0\%$$

$$w = \frac{S.e.\gamma_w}{\gamma_s} \Rightarrow e = \frac{w.\gamma_s}{S.\gamma_w} = \frac{0{,}39.2{,}69}{1.1} = 1{,}05$$

$$n = \frac{e}{1+e} = \frac{1{,}05}{1+1{,}05} = 0{,}512 = 51{,}2\%$$

$$\gamma_{nat} = \frac{S.e.\gamma_w + \gamma_s}{1+e} = \frac{1.1{,}05.1{,}0 + 2{,}69}{1+1{,}05} = 1{,}82g/cm^3 = 18kN/m^3$$

2) Uma amostra saturada tem um volume de 30dm^3 e pesa 70 kg. O peso específico dos grãos é $\gamma s = 2{,}79g/cm3$

Calcular: a) Índice de vazios

b) Teor de umidade

Repetir os cálculos anteriores para o caso de saturação de água salgada (γ água salgada = 1,025 g/cm^3).

Solução

a) $\gamma_{nat} = \frac{70.000}{30.000} = 2{,}33 g/cm^3$

$$\gamma_{nat} = \frac{S.e.\gamma_w + \gamma_s}{1+e} \Rightarrow 2{,}33 = \frac{e.1{,}0 + 2{,}79}{1+e} \Rightarrow e = 0{,}346$$

b) $$w = \frac{S.e.\gamma_w}{\gamma_s} = \frac{1{,}0.0{,}346.1{,}0}{2{,}79} = 0{,}123 = 12{,}3\%$$

No caso de água salgada:

$$2{,}33 = \gamma_{nat} = \frac{1{,}0.e.1{,}025 + 2{,}79}{1+e} \Rightarrow e = 0{,}352$$

$$w = \frac{1{,}0.0{,}352.1{,}025}{2{,}79} = 12{,}9\%$$

3) Uma amostra de solo seco tem $e = 0{,}65$ **e** $\gamma_s = 2{,}8 g/cm^3$

a) Determinar o seu peso específico natural;

b) Em seguida foi adicionada água à amostra e S atingiu 60%. O valor de **e** não mudou. Determinar então o teor de umidade e o peso específico natural e;

c) A amostra foi mergulhada na água até S = 95%. Determinar o peso específico submerso (γ_{sub})

Solução

a) $e = 0{,}65$ $\qquad \gamma_{nat} = \frac{\gamma_s}{1+e} = \frac{2{,}8}{1+0{,}65} = 1{,}70 g/cm^3$ = 17 kN/m^3

$\gamma_s = 2{,}8 g/cm^3$ **S = 0 (solo seco)**

b) $e = 0{,}65$ $\qquad w = \frac{S.e.\gamma_w}{\gamma_s} = \frac{0{,}6.0{,}65.1{,}0}{2{,}8} = 13{,}9\%$

$\gamma_s = 2{,}8 g/cm^3$ $\qquad \gamma_{nat} = \frac{0{,}6.0{,}65.1 + 2{,}8}{1+0{,}65} = 1{,}93 g/cm^3$ = 19kN/m^3

$S = 0{,}6$

c) $S = 95\%$ $\qquad \gamma' = \gamma_{nat} - \gamma_w = \frac{S.e..\gamma_w + \gamma_s}{1+e} - \gamma_w$

$\gamma' = \frac{0{,}95.0{,}65.1{,}0 + 2{,}8}{1+0{,}65} - 1{,}0 = 1{,}07 g/cm^3$

4) São conhecidos o teor de umidade $w = 24\%$, peso específico natural $\gamma_{nat} = 1{,}88 t/m^3$, e o grau de saturação $S = 74{,}5\%$ de uma amostra de solo. Determinar:

a) Peso específico dos grãos;
b) Peso específico seco;
c) Índice de vazios e;
d) Porosidade

Solução

a) $w = \frac{S.e.\gamma_w}{\gamma_s}$ $\gamma_s = \frac{S.e.\gamma_w}{w} = \frac{0{,}745.e.1{,}0}{0{,}24} = 3{,}11e$

$$\gamma_{nat} = \frac{S.e.\gamma_w + \gamma_s}{1+e} = \frac{0{,}745e.1{,}0 + 3{,}11e}{1+e} = 1{,}88 g/cm^3$$

$e = 0{,}95$

Assim: $\gamma_s = 3{,}11.0{,}95 = 2{,}96 g/cm^3$

b) $\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1+e}$ $\gamma_d = \frac{2{,}96}{1+0{,}95}$ $\gamma_d = 1{,}51 g/cm^3$

c) Calculado no item a)

d) $n = \frac{e}{1+e}$ $n = \frac{0{,}95}{1+0{,}95}$ $n = 48{,}7\%$

5) Uma amostra de argila da cidade do México tem um teor de umidade $w = 300\%.$ Depois de adensada seu teor de umidade passou a ser $w = 100\%.$

Sabendo-se que o peso específico dos grãos é $\gamma_s = 2{,}65 g/cm^3$ determinar:

a) Peso específico seco antes e depois do adensamento e;
b) A variação do volume da amostra, sabendo-se que a amostra inicial tinha um volume de 28,317cm^3. Supor a argila saturada

Solução

a) Antes de adensada

$$w = \frac{S.e.\gamma_w}{\gamma_s} \qquad S.e.\gamma_w = h.\gamma_s \qquad e = h.\gamma s \qquad e = 3.\ 2{,}65$$

$$e = 7{,}95$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1+e} = \frac{2{,}65}{1+7{,}98} = 0{,}296 g/cm^3$$

Depois de adensada:

$$e_1 = w_1.\gamma_s = 1.\ 2{,}65 \qquad e_1 = 2{,}65$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1+e_1} = \frac{2{,}65}{1+2{,}65} \qquad \gamma_d = 0{,}727 g/cm^3$$

b) Variação do volume da amostra:

$$V_0 = \frac{P_s}{\gamma_d} \qquad P_s = V_0.\gamma_d = 28{,}317.0{,}296 = 8{,}382gr$$

$$V_1 = \frac{P_s}{\gamma_d} \qquad V_1 = \frac{8{,}382}{0{,}726} = 11{,}54cm^3$$

$$\Delta V = 28{,}317 - 11{,}540 = 16{,}777cm^3 \quad (59{,}2\%)$$

→ A variação do volume é associada à variação do índice de vazios, uma vez que não há perda do material: $\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta e}{1+e}$

1º Lista

Exercícios de Índices Físicos

1) São conhecidos o teor de umidade w = 24% peso específico natural γ_n = 1,88 t/m^3, e o grau de saturação S = 74,5% de uma amostra de solo. Determinar os seguintes índices físicos:
   a) peso específico dos grãos;
   b) peso específico seco;
   c) índice de vazios e;
   d) porosidade

2) Uma amostra de solo com 500cm^3 de volume pesa 880gr e tem um grau de saturação de 48%. Sabendo-se que $\gamma_s = 28$ kN/m^3, determinar o peso específico desse solo quando S=100%.

3) Uma amostra de solo seco tem e = 0,65 e γ_s = 2,8 g/cm^3.
   a) determinar o peso específico natural e;
   b) em seguida foi adicionada água à amostra e a saturação atingiu 60%. O valor do **e** não mudou. Determinar então o teor de umidade e o peso específico natural.

4) Para a moldagem de um corpo de prova em laboratório utilizou-se uma amostra de solo com w = 20%. Sabendo-se que o diâmetro do mesmo é de 3,57cm e altura 7,5 cm, calcule a quantidade de solo que é necessária para moldar o corpo de prova, de forma que o seu índice de vazios seja 0,60.

   Dados $\gamma_s = 26{,}5$ kN/m^3.

5) Dadas 3 amostras de um mesmo solo com umidades respectivamente iguais 7%, 12% e 20%, se misturarmos uma porção igual de cada, qual a umidade final da mistura?

6) Uma amostra de argila tem w=17% peso específico dos sólidos γ_s = 26,5 kN/m^3 e sua porosidade 47%. Determinar.
    a) peso específico aparente natural;
    b) peso específico seco;
    c) grau de saturação;
    d) índice de vazios e;
    e) quantidade de água que deve ser acrescentada a 1kg da amostra para que a mesma fique saturada.

7) Uma amostra de argila foi retirada a 2m de profundidade num terreno de várzea nas margens do rio Tietê, estando abaixo do nível d'água. Sua umidade é de 95%. Estime só com este dado seu índice de vazios e seu peso específico natural.
   Obs: O peso específico dos grãos de solo varia muito pouco, pode-se estimar que seja 26,5 kN/m^3.

8) Para construção de uma barragem de terra é previsto um volume de 400.000m^3 de terra, com índice de vazios 0,6. Dispõe-se de três jazidas A,B e C. O índice de vazios do solo de cada uma delas bem como a estimativa de custo do movimento de terra até o local da barragem é indicados no quadro abaixo. Qual a jazida mais barata?

Jazida	E	Custo do movimentode terra/m^3
A	0,9	R$ 20,00
B	1,3	R$ 17,00
C	1,6	R$ 15,00

9) Uma amostra de solo arenoso apresentava os seguintes índices físicos: γ_n =18,9kN/m^3, γ_s = 27,2 kN/m^3 e w =13%. Com a elevação do nível de água subterrânea a amostra foi saturada sem que houvesse variação de volume.

Pergunta-se: De quanto variou a umidade para que a saturação fosse atingida?

Capítulo II

Tensões Atuantes Num Maciço de Terra

1.Introdução

Os esforços no interior de certa massa de solo são produzidos, genericamente, pelas cargas externas aplicadas ao solo e pelo peso próprio do solo. As considerações acerca dos esforços introduzidos por um carregamento externo são bastante complexas e o seu tratamento, normalmente se dá, a partir das hipóteses formuladas pela teoria da elasticidade.

2.Esforços Geostáticos

No caso das tensões ocasionadas pelo peso próprio do solo (tensões geostáticas), é fácil verificar que, se a superfície do terreno for horizontal, as tensões totais, a uma profundidade qualquer, são obtidas considerando apenas o peso do solo sobrejacente (**Figura 2**).

Sendo a superfície do terreno, horizontal, não existem tensões de cisalhamento nos planos horizontais, e dessa forma a tensão vertical total causada pelo solo é uma tensão principal.

Freqüentemente, a massa específica varia com a profundidade. Se o solo é estratificado e a massa específica de cada estrato é diferente **(Figura 3),** pode-se calcular as tensões verticais totais da seguinte forma:

$$\sigma_v = \sum Y_i z_i$$

O valor de Y_i a considerar será a massa específica natural ou a saturada, dependendo das condições em que o solo se encontre.

Estando o solo submerso, podem-se calcular a tensão total (σ), e a pressão neutra (u) e a tensão efetiva (σ_e).

Vale lembrar que a tensão efetiva (σ_e) num plano qualquer, poderá ser calculada diretamente, utilizando as massas específicas submersas dos solos sobrejacentes no plano considerado.

É de fundamental importância notar que no elemento de solo, além da tensão vertical, por causa do peso próprio, também ocorrem tensões horizontais, que são uma parcela da tensão vertical atuante, ou seja:

$$\sigma_h = k.\sigma_v$$

na qual k é denominado coeficiente de empuxo.

Quando não ocorrem deformações na massa de solo, temos o coeficiente em repouso $(k = k_0)$ que pode ser determinado pela Teoria da Elasticidade, admitindo-se o solo como homogêneo e isotrópico.

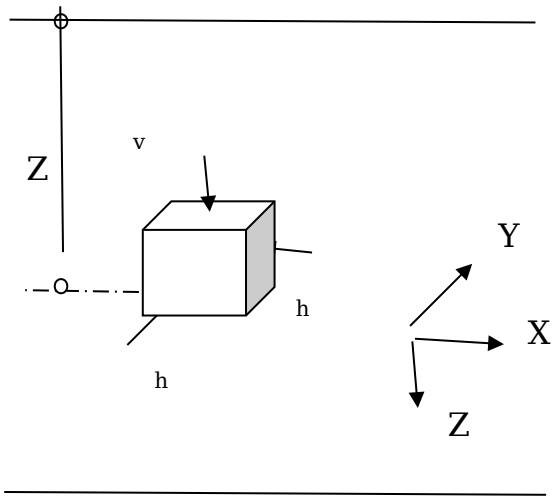


Figura 03

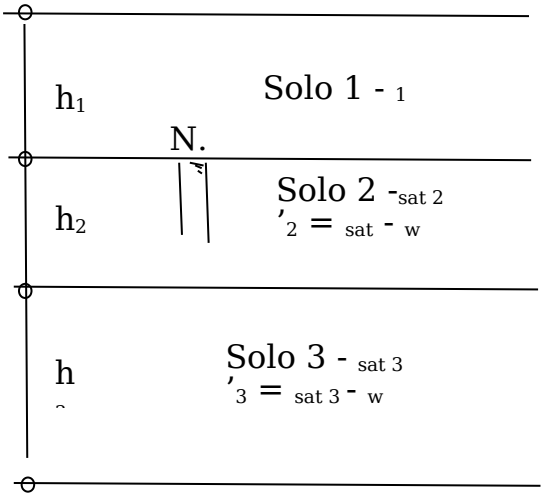


Figura 02

O conhecimento do coeficiente de empuxo é de fundamental importância para a resolução de muitos problemas de Engenharia de Solos (muros de arrimo, escavações etc.), pois permite determinar as tensões horizontais na massa de solo e, por extensão, a resultante dessas tensões é denominada empuxo.

No caso de a superfície do terreno não ser horizontal, considerando o caso de um talude infinito, tem-se que o peso da coluna de solo (P) tem a mesma linha de ação da resultante (R) uma vez que (F_e) e (F_d) são iguais, por estarem à mesma profundidade, e tem-se a mesma linha de ação para que haja equilíbrio estático. Disso resulta que $(R = P)$.

O valor de P, considerando largura unitária no plano normal ao papel, será:

$$P = \gamma.b.h$$

Porém, como $b = b_0 \cos i, \quad P = \gamma . b_0 . h . \cos i$

Tem-se ainda que

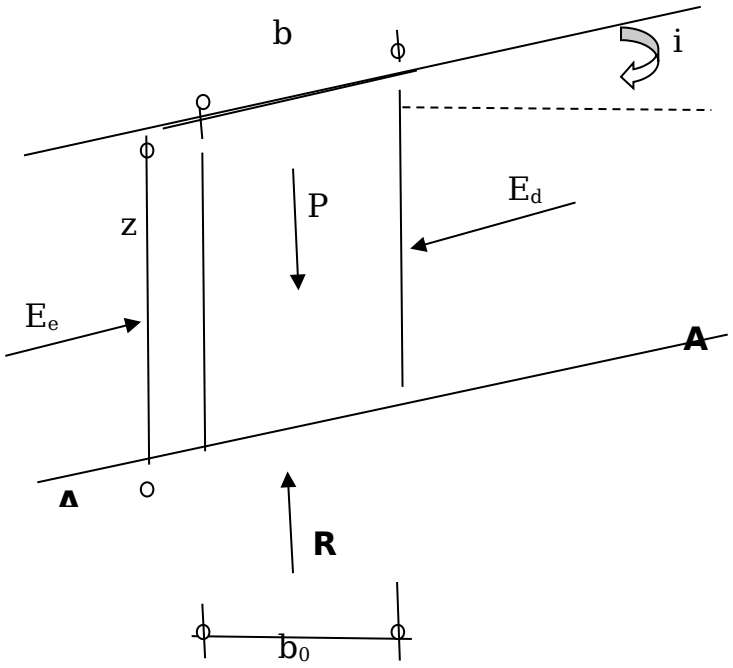
$N = p . \cos i$ e $T = P . sen\, i$

Tais forças agem numa seção igual a $b_0 x 1$, portanto:

$$\sigma_v = \frac{P}{b_o} \qquad \sigma_v = \gamma . h . \cos i$$

$$\sigma_h = \frac{N}{b_0} \qquad \sigma_h = \gamma . h . \cos^2 i$$

$$\tau = \frac{T}{b_0} \qquad \tau = \gamma . h . sen\, i . \cos i$$



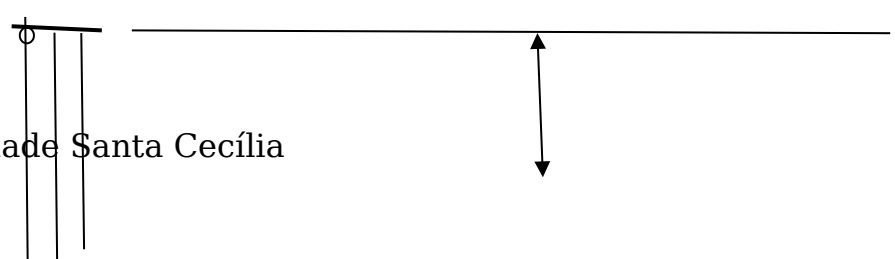
3 Princípio das Tensões Efetivas

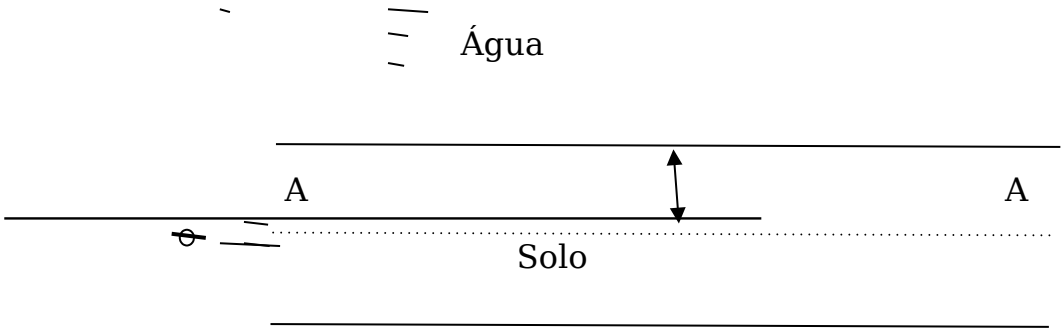
3.1 Definições

O comportamento de solo quando submetido a carregamentos pode ser mais bem visualizado, quando se imagina o solo composto das três fases físicas sólida, líquida e/ou gasosa ocupando os poros. De imediato decorre que as tensões cisalhamento induzidas deverão ser suportadas pelo esqueleto sólido, uma vez que a água (ar) não oferece resistência ao cisalhamento.

Por outro lado as tensões normais, que se desenvolvem em qualquer plano, serão suportadas, parte pelo esqueleto sólido e parte pela fase fluida. Particularmente, no caso dos solos saturados, teríamos uma parcela de tensão normal atuando nos contactos interparticulares e a outra parcela atuando como pressão na água situada nos vazios.

A pressão que atua na água intersticial é chamada de pressão neutra (u) e a sua origem pode-se dar pelas mais variedades razões algumas delas bastante complexas, como por exemplo, pelo cisalhamento ou adensamento do solo. A situação mais simples é a que ocorre pela submersão do solo.





01. Perfil de solo submerso

Neste caso, como os poros se interligam, a água intersticial está em contato com a água situada sobre o solo e, portanto a pressão neutra em qualquer ponto do plano **a-a** será a pressão hidrostática.

$$u = \gamma_a h_a = \gamma_a (h_1 + h_2)$$

A pressão que atua nos contatos interparticulares é denominada tensão efetiva

$$\sigma_e = \sigma - u$$

Portanto, a tensão efetiva (σ_e) corresponde à diferença entre a tensão total (σ) e a pressão neutra (u).

Vale ressaltar ainda que as considerações, aqui feitas, se aplicam somente ao caso em que não haja movimento de água no solo, e que a pressão neutra, sendo hidrostática, num ponto qualquer, tenha a mesma intensidade, em qualquer direção.

1. Massa Específica Submersa

Seja o perfil de solo esquematizado na Figura 01. A tensão total (σ) no plano a-a se deverá à contribuição do peso de água e do peso de solo.

$$\sigma = \gamma_a . h_1 + \gamma_{sat} . h_2$$

A pressão neutra (u) no plano considerado corresponde à pressão hidrostática.

$$u = \gamma_a (h_1 + h_2)$$

Dessa forma a tensão efetiva será:

$$\sigma_e = \sigma - u = \gamma_a . h_1 + \gamma_{sat} . h_2 - \gamma_a . (h_1 + h_2)$$

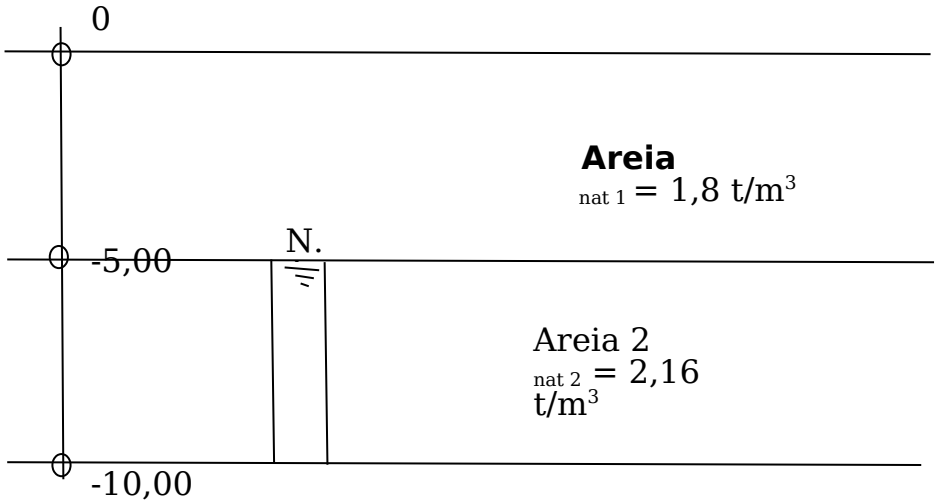
$$\sigma_e = (\gamma_{sat} - \gamma_a) . h_2 = \gamma_{sub} . h_2$$

A massa específica submersa ou efetiva (γ_{sub}), que corresponde à diferença entre a massa específica saturada do solo e a massa específica da água, permite calcular a tensão efetiva, em qualquer plano de um solo submerso.

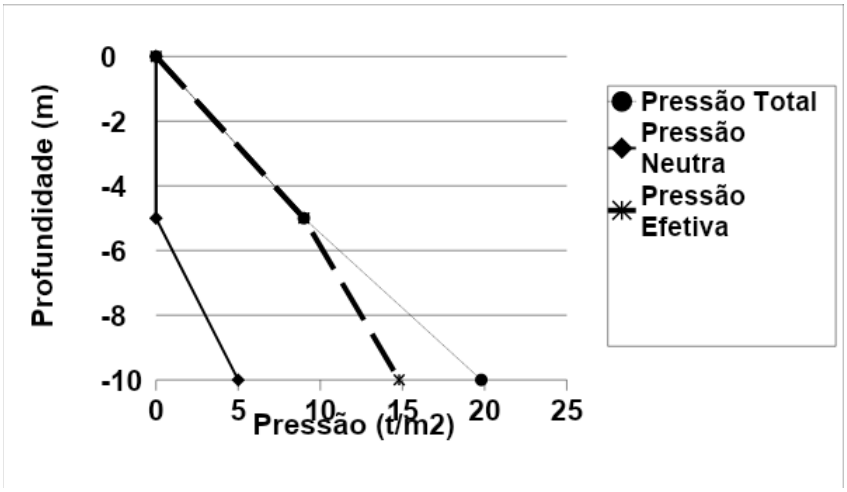
O valor de γ_{sub} pode ser obtido, também, tendo em conta o Princípio de Arquimedes.

Exercícios Resolvidos

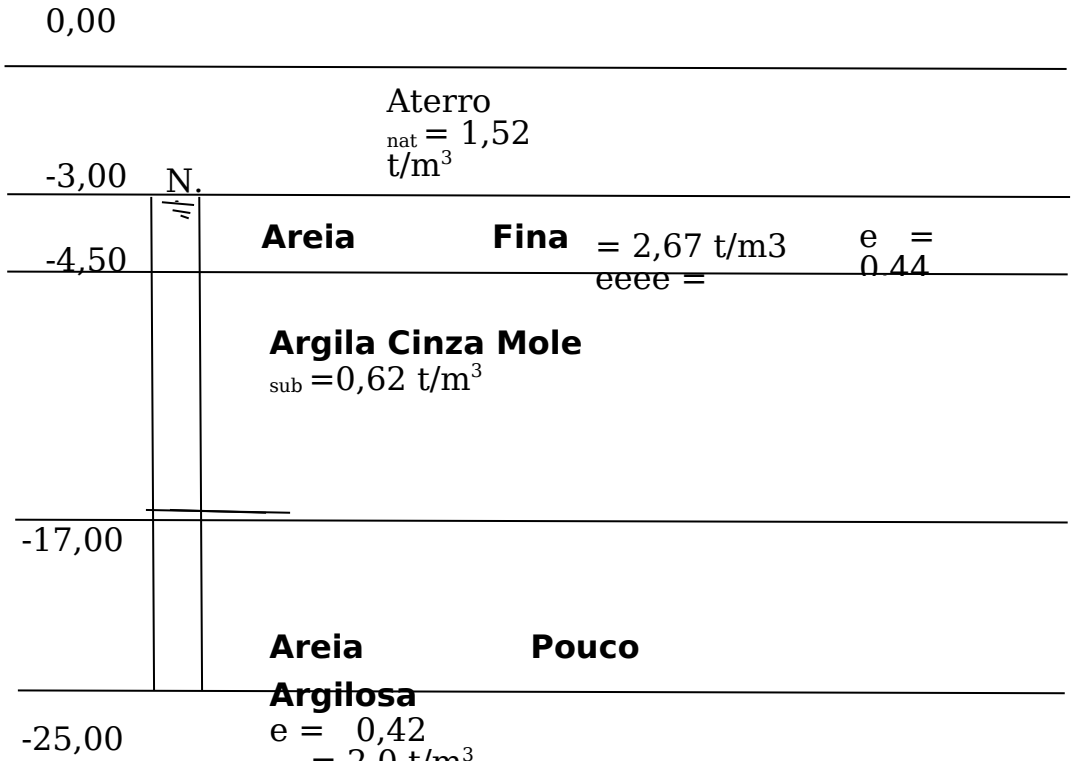
1) Determinar a distribuição das pressões verticais totais, efetivas e neutras nos seguintes profundidades: 0, -5,-10:



Profundidade	Pressão Total	Pressão Neutra	Pressão Efetiva
0	0	0	0
-5	1,8 x 5 = 9	0	9
-10	9+ (2,16x5)= 19,8	1x5=5	14,8



2) Dado o perfil do terreno, traçar um gráfico mostrando a variação das pressões totais, efetivas e neutras com a profundidade.



Ponto - 3,00

$\sigma_t = 3.1{,}52 = 4{,}56t/m^2$ $\sigma_t = 3x1{,}52 = 4{,}56t/m^2$

$u = 0t/m^3$

$\sigma_e = 4{,}56t/m^3$

Ponto – 4,50

$$\gamma_{sat} = \frac{S.\varepsilon.\gamma_a + \gamma_s}{1+e} = \frac{1.0{,}44.1 + 2{,}67}{1+0{,}44} = 2{,}16t/m^3$$

$\sigma_t = 1{,}50.2{,}16 + 4{,}56 = 7{,}8t/m^3$

$u = 1{,}5.1{,}0 = 1{,}5t/m^3$

$\sigma_e = 6{,}3t/m^3$

Ponto -17,00

$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$

$\gamma_{ssat} = \gamma' + \gamma_w$

$\gamma_{sat} = 0.62 + 1{,}0 = 1{,}62t/m^3$

$\sigma_t = 12{,}5.1{,}62 + 7{,}8 = 28{,}05t/m^2$

$u = 12,5.1 + 1,5 = 14,0t/m^2$

$\sigma_e = 14,05t/m^2$

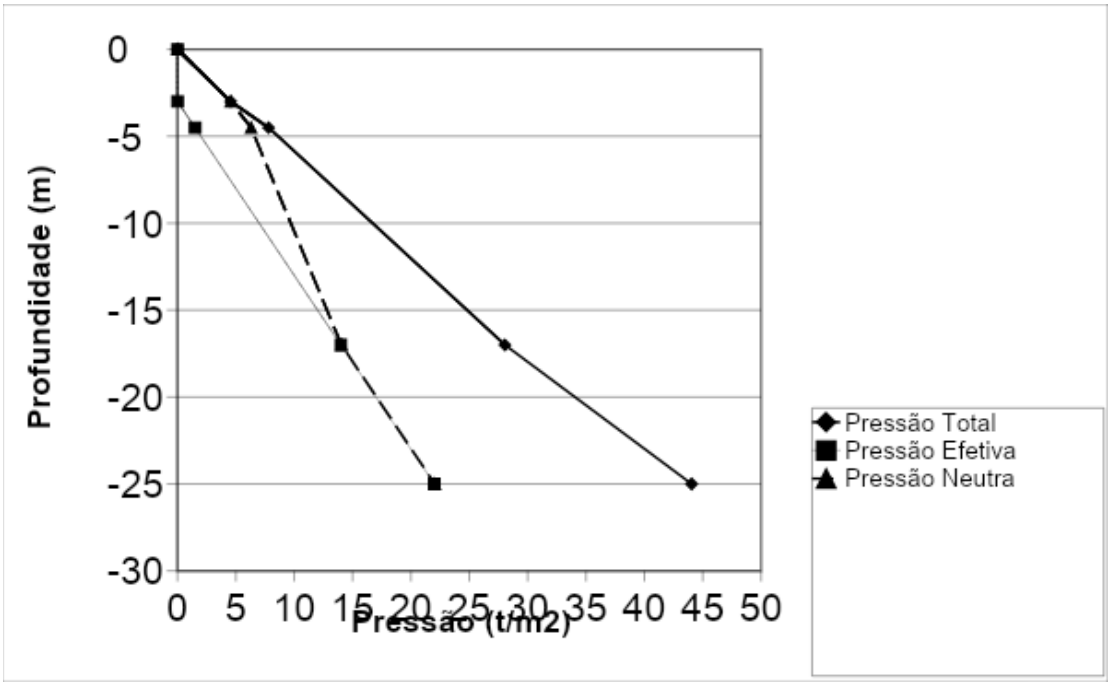
Ponto – 25,0

$\sigma_t = 8.2,0 + 28,05 = 44,05t/m^2$

$u = 8.1,0 + 14,0 = 22t/m^2$

$\sigma_e = 22,05t/m^2$

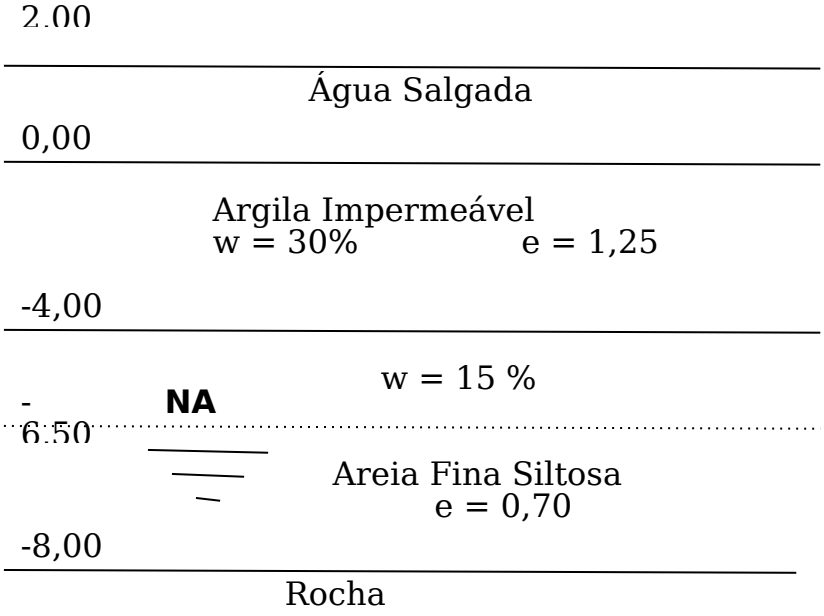
Profundidade	Pressão Total	Pressão Neutra	Pressão Efetiva
0	0	0	0
-3	3x1,52=4,56	0	4,56
-4,5	4,56 + 2,16 x 1,5 = 7,8	1 x 1,5 = 1,5	6,3
-17	7,8 + (1,62 x 12,5) =28,05	1,5 + (1 x 12,5) = 14	14,05
-25	28,05 + (2x8) = 44,05	14 + (1 x 8) = 22	22,05



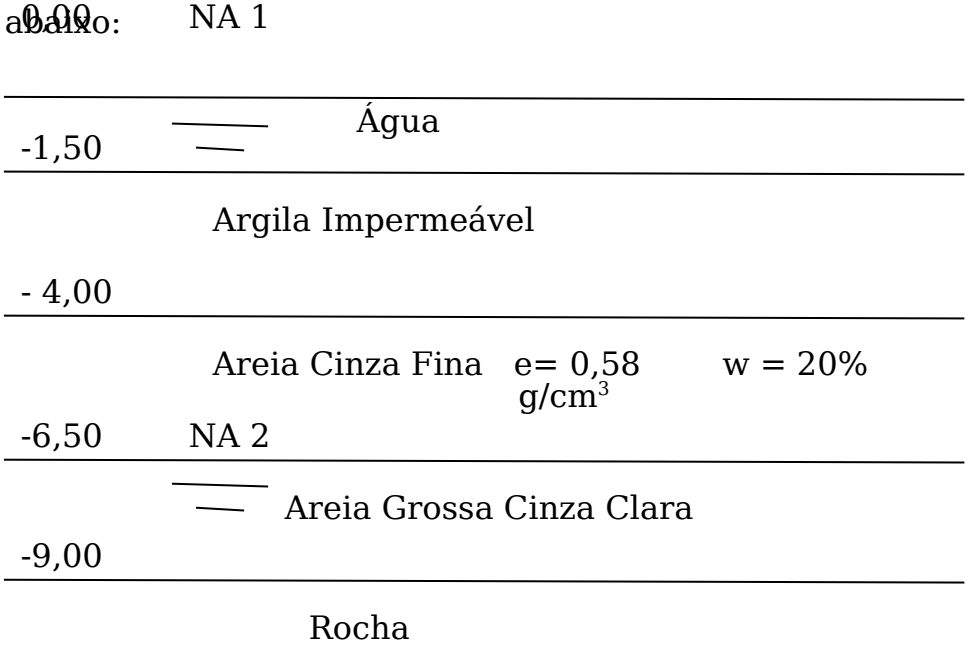
2º Lista de Exercícios

Pressões

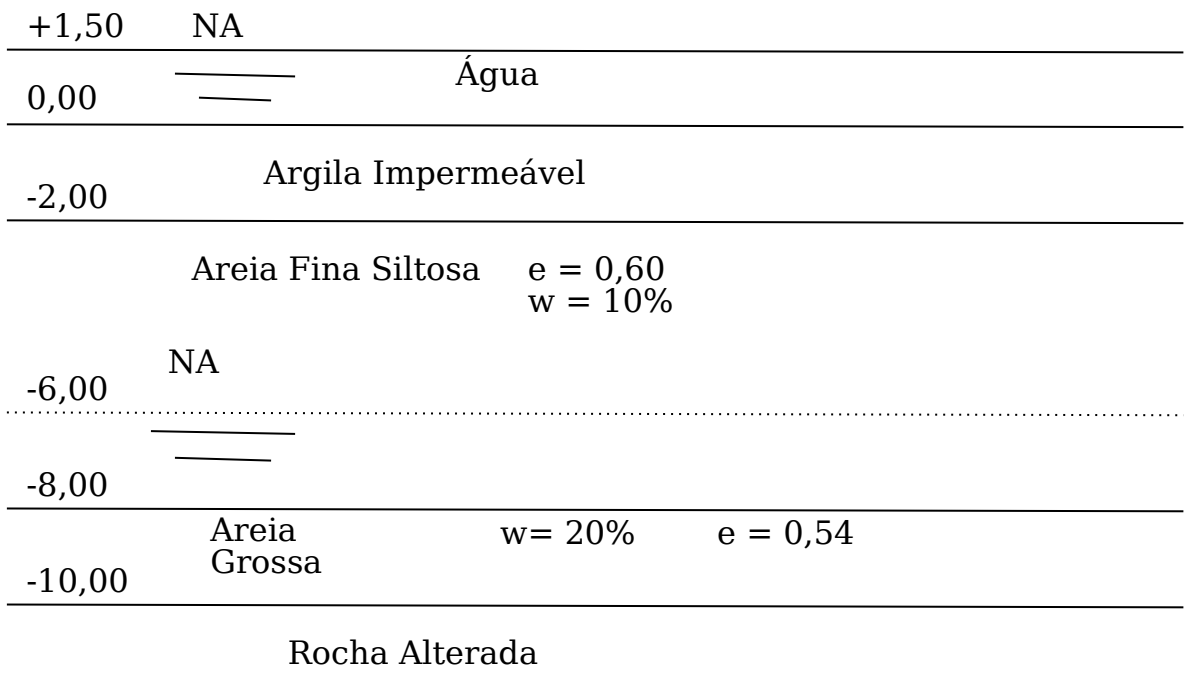
1- Determinar a distribuição das tensões totais, efetivas e neutras no perfil abaixo.



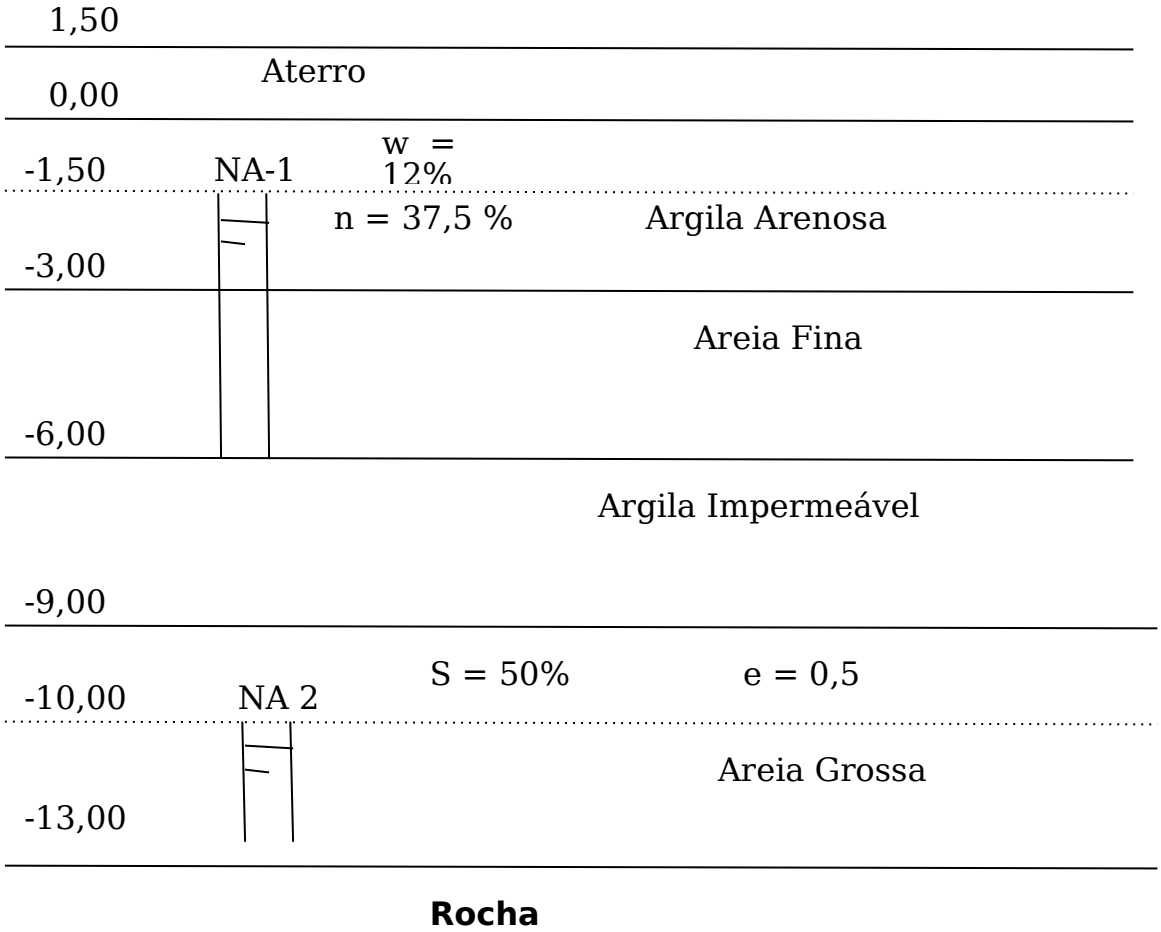
2) Calcular a distribuição de pressões totais, efetivas e neutras no perfil abaixo:



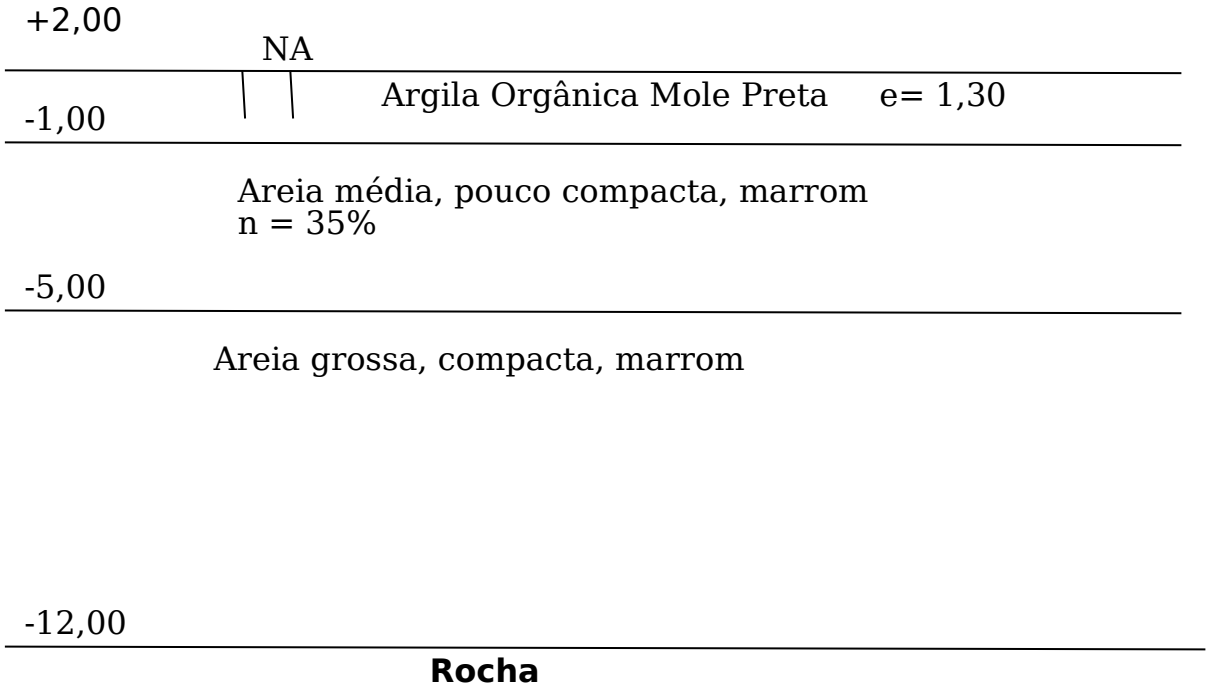
3) Calcular a distribuição de pressões verticais totais, efetivas e neutras para o perfil mostrado na figura abaixo.



4) Determinar a distribuição das pressões verticais, totais, efetivas e neutras, no perfil.



5) Traçar o diagrama de pressões totais, efetivas e neutras para o perfil abaixo:



6) Traçar o diagrama de pressões totais, efetivas e neutras para o perfil abaixo:

