

TENSÕES EM SOLOS - EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

- 1) O peso específico de um solo seco pré-adensado ($k_0 = 1,5$), é $\gamma_d = 19,6 \text{ kN/m}^3$. Se a superfície do terreno for horizontal, pode-se então afirmar que a tensão horizontal em qualquer ponto representa a tensão principal maior σ_1 . Pede-se determinar através da construção do círculo de Mohr:
 - As componentes de tensão normal e de cisalhamento (que atuam no plano AA' da figura abaixo. Verificar a solução analiticamente.
 - O valor da máxima, tensão de cisalhamento nesta profundidade.

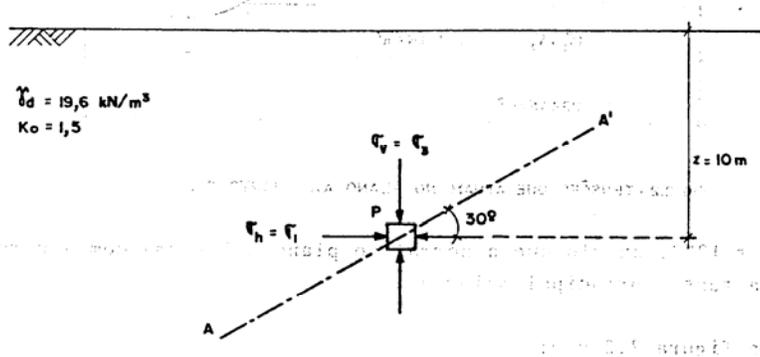


FIG. 2.1 - ESTADO DE TENSÃO NO PONTO P

- O valor da tensão normal nos planos de cisalhamento máximo.

Resolução:

1.1) Construção do círculo de Mohr:

Convenção de sinais adotada:

Tensão normal positiva --- compressão

Tensão cisalhante positiva --- tendência a provocar rotação no sentido anti-horário do plano em que atua.

a) Cálculo de $\sigma_v(\sigma_3)$ e $\sigma_h(\sigma_1)$:

$$\sigma_v = \gamma_d \cdot z$$

$$\sigma_v = 19,6 \times 10 = 196 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_h = k_0 \sigma_v \text{ (solo seco, } \sigma_h = \sigma_h' \text{ e } \sigma_v = \sigma_v')$$

$$\sigma_h = 1,5 \times 196 = 294 \text{ kN/m}^2$$

b) Círculo de Mohr:

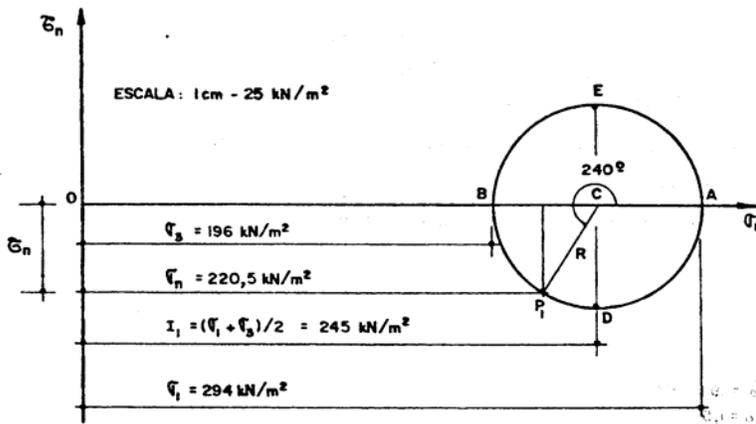


FIG. 2.2 - TENSÕES QUE ATUAM NO PLANO AA' (PONTO P₁)

$\alpha = 120$, ângulo que a normal ao plano AA' forma com a direção da tensão principal maior σ_1 .

Da figura 2.2 vem: $\sigma_n = 220,5 \text{ kN/m}^2$ $\tau_n = -42,4 \text{ kN/m}^2$

c) Verificação da solução analiticamente:

Da Resistência dos Materiais vem:

$$\sigma_n = (\sigma_1 + \sigma_3)/2 + (\sigma_1 - \sigma_3)/2 \cos 2\alpha;$$

$$\tau_n = (\sigma_1 - \sigma_3)/2 \sin 2\alpha;$$

$$\sigma_n = (294 + 196)/2 + (294 - 196)/2 \cdot (-1/2) = 220,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_n = (294 - 196)/2 \cdot (-0,87) = -42,4 \text{ kN/m}^2$$

d) Uma solução alternativa: o método do polo:

Polo (O_p) é um ponto do círculo de Mohr com a seguinte propriedade:

"Uma reta traçada de O_p a qualquer ponto P do círculo de Mohr será paralela ao plano sobre o qual atuam as tensões representadas por P".

Como determinar o polo:

d.1) Selecionar um ponto do círculo de Mohr que represente as tensões atuantes sobre um plano cuja orientação seja previamente conhecida. Neste exemplo, podem ser escolhidos os pontos A ou B.

d.2) Traçar a partir deste ponto uma reta paralela à direção do plano. Sua intersecção com o círculo de Mohr determinará um ponto com as propriedades de polo. Verificar.

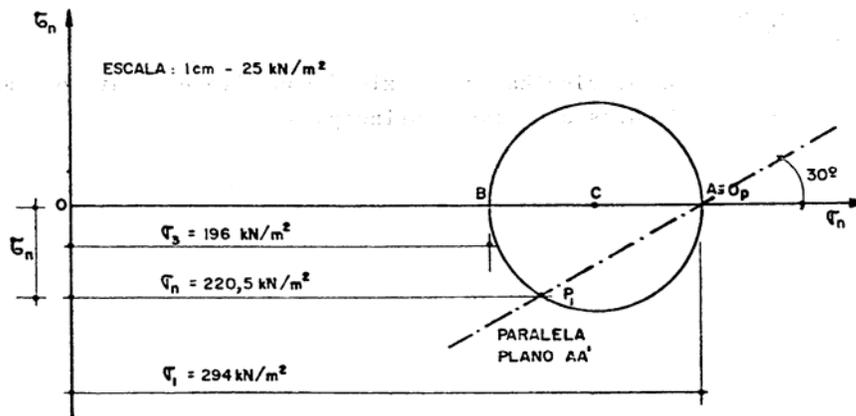


FIG. 2.3 - TENSÕES QUE ATUAM NO PLANO AA' (PONTO P₁)

- d.3) A paralela ao plano AA' traçada a partir de Op determinará finalmente o Ponto P₁, solução do problema.
d.4) Tente repetir o problema agora selecionando o ponto B.

1.2) Máxima tensão de cisalhamento

Corresponde aos segmentos CD e CE, raio do círculo da figura 2.2.

$$\tau_{MAX} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_X - \sigma_Z}{2}\right)^2 + \tau_{XZ}^2} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

$$\tau_{MAX} = \pm 49 \text{ KN} / \text{m}^2$$

1.3) Tensão normal nos planos de cisalhamento máximo

Corresponde ao centro C do círculo da figura 2.2

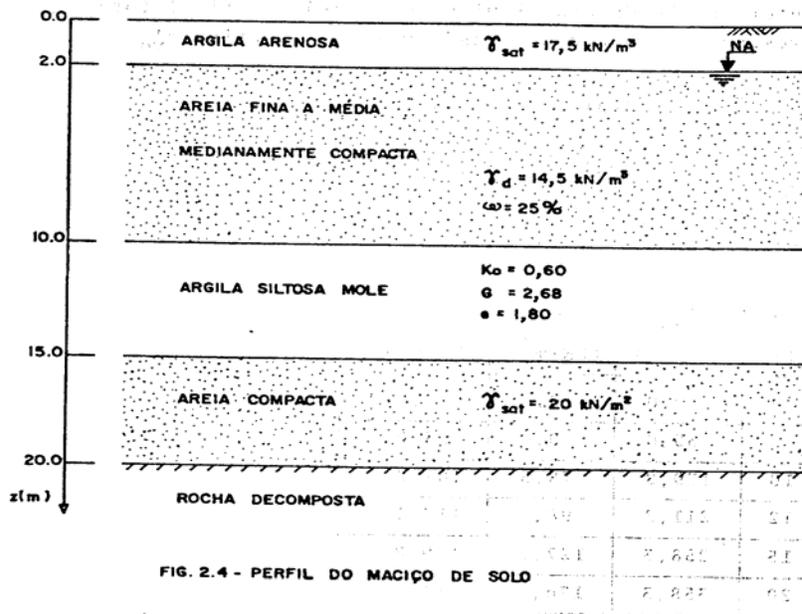
$$\sigma_n = (\sigma_1 + \sigma_3)/2 = (\sigma_x + \sigma_z)/2 = I_1 \quad (\text{primeiro invariante de tensões})$$

$$\sigma_n = 245 \text{ kN/m}^2$$

Os planos de cisalhamento máximo (positivo e negativo) são planos diedros aos planos principais.

2) Em relação ao perfil de solo da figura abaixo determinar:

- a distribuição com a profundidade da tensão vertical total σ_{vo}
 - a distribuição com a profundidade da poro pressão u
 - a distribuição com a profundidade da tensão vertical efetiva σ'_{vo}
 - o valor da tensão horizontal efetiva σ'_{ho} e da tensão horizontal total σ_{ho} na profundidade $z = 12 \text{ m}$
- Considerar a camada superficial de argila arenosa completamente saturada devido ao fenômeno de capilaridade.



a) Determinação do peso específico saturado γ_{sat}

A.1) Camada de areia fina a média

$$\gamma_{sat} = \gamma_d (1+w)$$

$$\gamma_{sat} = 14,5 \times (1+0,25) = 18,1 \text{ kN/m}^3$$

A.2) Camada de argila siltosa mole

$$\gamma_{sat} = (G + Se) \times \gamma_w / (1 + e)$$

$$\gamma_{sat} = (2,8 + 1 \times 1,80) \times 9,81 / (1 + 1,80) = 15,7 \text{ kN/m}^3$$

b) Determinação da distribuição da tensão vertical total σ_{vo} , da poro pressão u e da tensão vertical efetiva σ'_{vo}

B.1) $\sigma'_{vo} = \sum \gamma_{sat} \cdot z$ B.2) $u = \gamma_w \cdot z$ B.3) $\sigma'_{vo} = \sigma_{vo} - u$

Z (m)	σ_{vo} (kN/m ²)	u (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)
0	0,0	-19,6	19,6
2	35,0	0,0	35,0
10	179,0	78,5	101,3
12	211,2	98,1	113,1
15	258,3	127,5	130,8
20	358,3	176,6	181,7

C) Determinação de σ'_{ho} e σ_{ho} na profundidade $z = 12\text{m}$

$$\sigma'_{ho} = K_o \times \sigma'_{vo}$$

$$\sigma'_{ho} = 0,60 \times 113,1 = 67,9 \text{ kN/m}^2$$

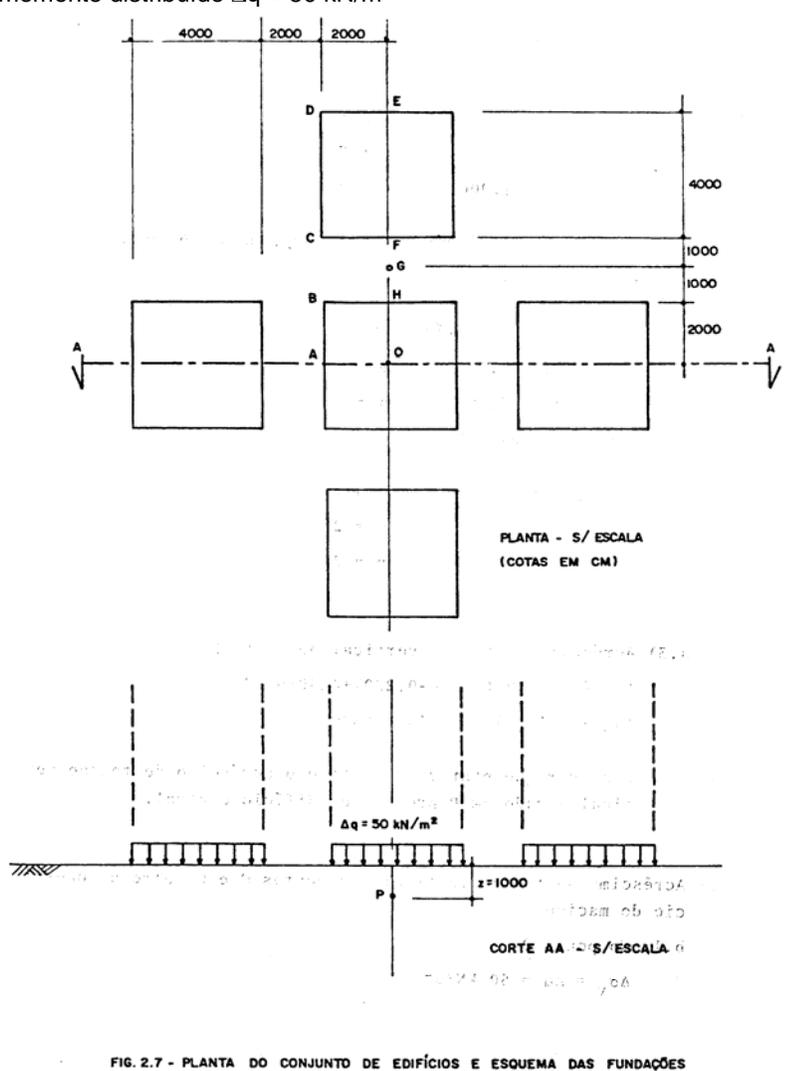
$$\sigma_{ho} = \sigma'_{ho} + u$$

$$\sigma_{ho} = 67,9 + 98,1 = 166,0 \text{ kN/m}^2$$

3) Um conjunto de edifícios deve ser construído conforme indicação da figura 2.7. Assimilando o maciço de solo a um semi-espaco homogêneo e isotrópico ($E = 3 \times 10^4 \text{ kN/m}^2$; $\nu = 0,30$) determinar:

- O acréscimo de tensão vertical no ponto P , situado a 10m de profundidade na vertical do ponto O .
- Os acréscimos de tensão vertical nos pontos O e G , ambos situados na superfície do maciço de solo.
- A variação no acréscimo de tensão vertical no ponto P quando se admite como parâmetros elásticos, do solo $E = 5 \times 10^4 \text{ kN/m}^2$; $\nu = 0,30$.

Considerar as fundações dos edifícios como perfeitamente flexíveis, suportando um carregamento uniformemente distribuído $\Delta q = 50 \text{ kN/m}^2$



a) Determinação do acréscimo de tensão vertical no ponto P

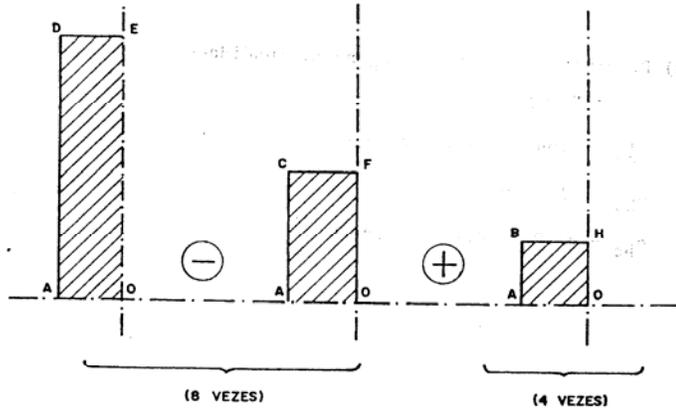


FIG. 2.6 - SUPERPOSIÇÃO DE CARREGAMENTOS, COMPARAR COM A DISTRIBUIÇÃO DA FIG. 2.7

a.1) Esquema da superposição de carregamentos

a.2) Fatores de forma $f(m, n)$

a.2.1) Para superfície ADEO:

$$mz = 8.000 \quad m = 8$$

$$nz = 2.000. \quad n = 2$$

Da figura 2.21 (gráfico de Fadum), pag. 2.26, vem: $f(m, n) = 0,240$

a.2.2) Para- superfície ACFO:

$$mz = 4.000 \quad m = 4$$

$$nz = 2.000 \quad n = 2$$

$$f(m, n) = 0,239$$

a.2.3) Para superfície ABHO:

$$mz = 2.000 \quad nz = 2.000$$

$$m = 2 \quad n = 2$$

$$f(m, n) = 0,232$$

a.3) Acréscimo de tensão vertical no ponto P

$$\Delta\sigma = 8 \times 50 \times (0,240 - 0,239) + 4 \times 50 \times 0,232$$

$$\Delta\sigma = 0,4 + 46,4 = 46,8 \text{ kN/m}^2$$

Observar que praticamente todo o acréscimo de tensão vertical gerado em P provem do edifício central.

b) Acréscimo de tensão vertical. nos pontos O e G sobre a superfície do maciço

b 1) No ponto O

$$\Delta\sigma = \Delta q = 50 \text{ kN/m}^2$$

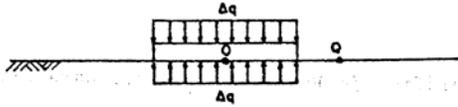


FIG. 2.8 - TENSÕES NO CONTATO SOLO/BASE FUNDAÇÃO PERFEITAMENTE FLEXÍVEL

b.2) No ponto G
 $\Delta\sigma_v = 0$

c) Assimilando-se o maciço de solo a um semi-espaço, linearmente elástico, isotrópico e homogêneo verifica-se que os acréscimos de tensão vertical independem dos valores dos parâmetros elásticos E e ν .

- 4) Uma fundação superficial quadrada com 2 m de lado, perfeitamente flexível, transmite a um maciço de solo homogêneo e isotrópico o carregamento uniforme $\Delta q = 200$, kN/m². Comparar a distribuição dos acréscimos de tensão vertical $\Delta\sigma_z$ sob o centro da fundação e considerando-se o caso de uma carga pontual equivalente. Estimar além de qual profundidade os erros entre estas distribuições são inferiores a $0,1\Delta q$.

a) Carregamento uniformemente distribuído.

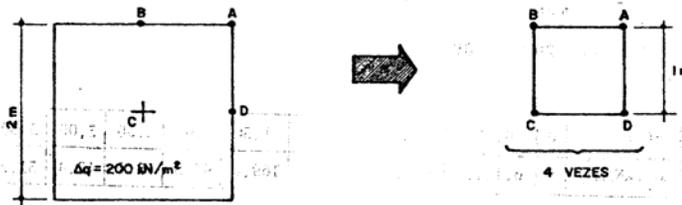


FIG. 2.9 - ESQUEMA DA SUPERPOSIÇÃO DE CARREGAMENTOS

Utilizando o gráfico de Fadum, fig. 2.21, para diversas profundidades vem:

Z (m)	m = n	F (m,n)	canto	centro
			$\Delta\sigma_z$ (kN/m ²)	$\Delta\sigma_z$ (kN/m ²)
0	-	-	200	200
0.25	4	0.247	49.4	197.6
0.50	2	0.233	46.6	186.4
1.00	1	0.177	35.4	141.6
1.50	0.67	0.125	25.0	100.0
2.00	.50	0.086	17.2	68.8
2.50	0.40	0.062	12.4	49.6
3.00	0.33	0.046	9.2	36.8
3.50	0.29	0.037	7.4	29.6
4.00	0.25	0.027	5.4	21.6

b) Carregamento pontual.

De acordo com a expressão de Boussinesq (1885), vem:
(ver figura 2.23)

$$\Delta\sigma_z = \frac{3Pz^3}{2\pi R^5}$$

$$P = 2 \cdot 2 \cdot 200 = 800 \text{ kN}$$

Z (m)	0	0.25	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.0
$\Delta\sigma_z$ (kN/m ²)		6111.5	1527.9	382.0	169.8	95.5	61.1	42.4	31.2	

c) Comparação entre as duas distribuições de $\Delta\sigma_z$:

Na figura 2.10 pode-se observar que além da profundidade $z, 2,20\text{m}$, o erro absoluto $(\Delta'\sigma_z - \Delta\sigma_z)/\Delta q < 0.1$

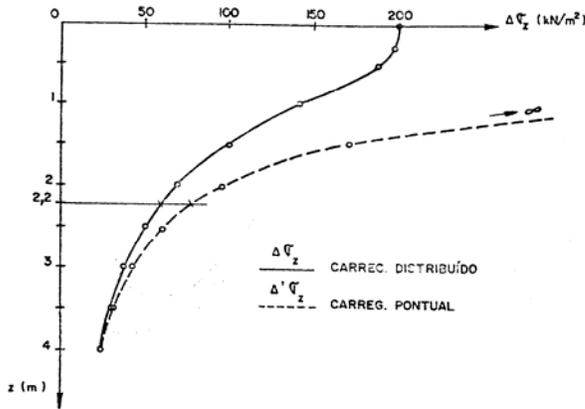


FIG. 2.10 - DISTRIBUIÇÃO DE ACRÉSCIMOS DE TENSÃO VERTICAL SOB O CENTRO DE UMA FUNDAÇÃO QUADRADA UNIFORMEMENTE CARREGADA (TRAÇO CHEIO) E SOBRE A LINHA DE AÇÃO DE UMA CARGA PONTUAL EQUIVALENTE (TRACEJADO).

Na fase de ante-projeto de fundações é freqüentemente bastante útil substituir a fundação real por uma carga pontual equivalente. Os gráficos das figuras 2.10 e 2.11 mostram os erros desta aproximação para o caso de uma fundação quadrada, perfeitamente flexível, uniformemente carregada. É fácil verificar que estes diminuem quando o ponto considerado se afasta do ponto de aplicação da carga, conforme o conhecido princípio de Saint-Venant. Além de determinada profundidade os acréscimos de tensão são mais influenciados pela intensidade do carregamento do que por sua distribuição.

Estes gráficos foram preparados considerando-se uma fundação quadrada; pode-se todavia ser admitido que em outras situações fornecem uma ordem de grandeza das aproximações.

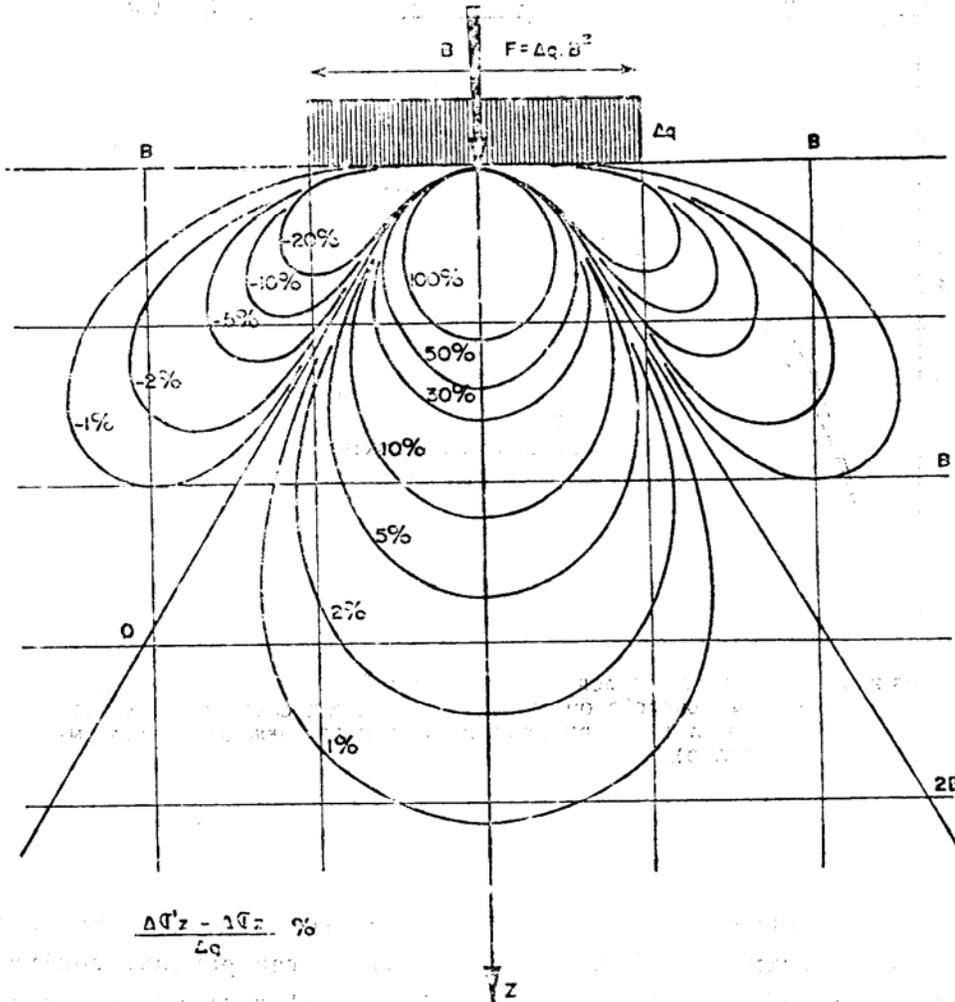
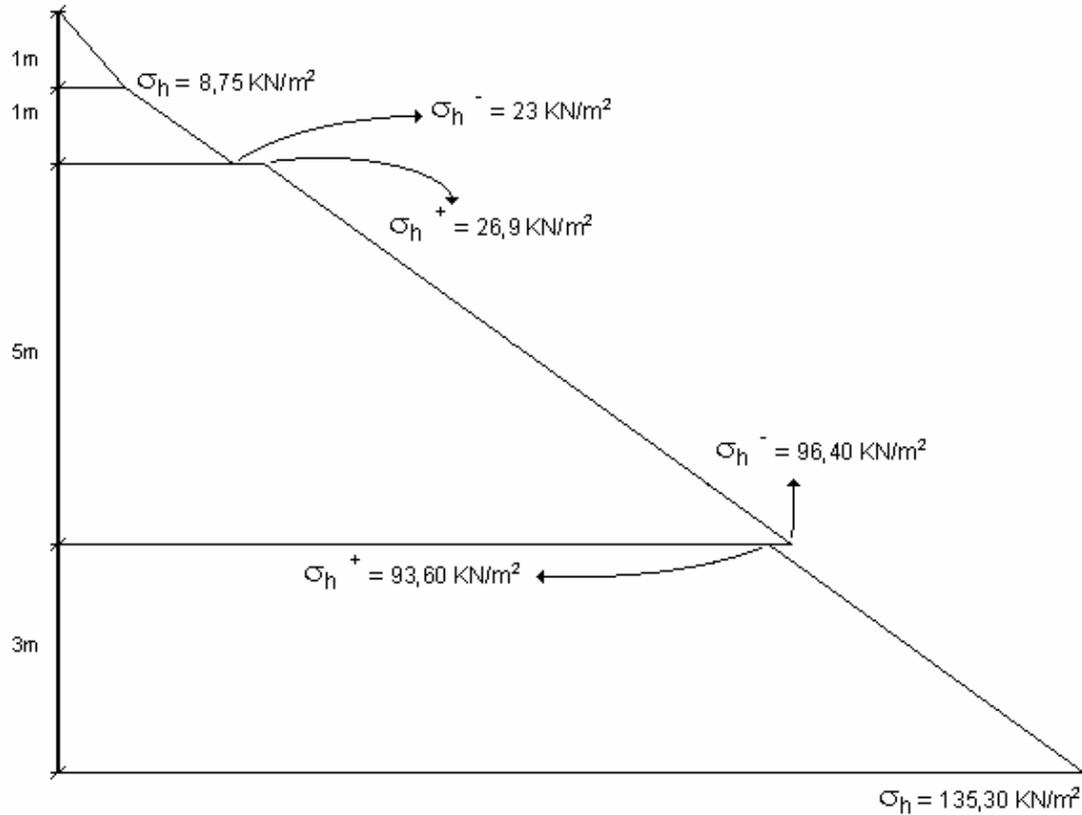


FIG. 2.11 - COMPARAÇÃO ENTRE OS ACRÉSCIMOS DE TENSÃO VERTICAL PROVOCADOS PELO CARREGAMENTO DE UMA FUNDAÇÃO QUADRADA, PERFEITAMENTE FLEXÍVEL ($\Delta\sigma_z$) E CONSIDERANDO-SE UMA CARGA PONTUAL EQUIVALENTE ($\Delta'\sigma_z$) (APUD GIROUD, 1972).

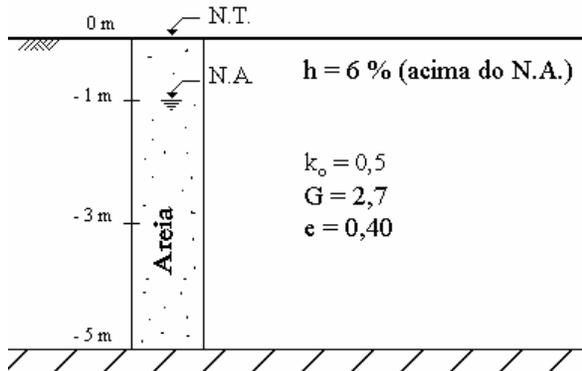
- 5) Determine a distribuição de tensão total horizontal no perfil abaixo, até 10m de profundidade.

1m		Areia	$\gamma = 17,5 \text{ kN/m}^3$	$k_o = 0,5$	$\gamma_{\text{sat}} = 18,5 \text{ kN/m}^3$	N.A.	
1m							
5m		Argila Siltosa					
		$k_o = 0,65$	$\gamma_{\text{sat}} = 16 \text{ kN/m}^3$				
		Argila Silto Arenosa					
		$k_o = 0,6$	$\gamma_{\text{sat}} = 16,5 \text{ kN/m}^3$				

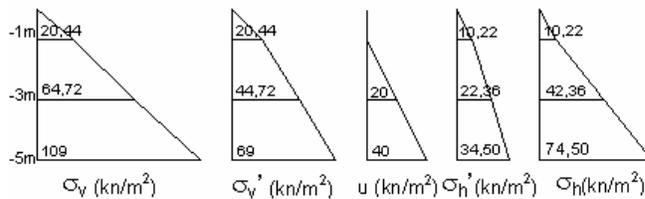
Resp.:



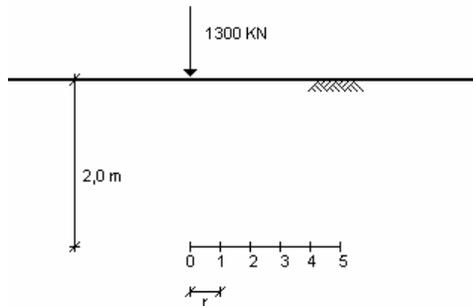
6) Calcular as poro-pressões e tensões horizontais e verticais efetivas e totais nas cotas -1m, -3m e -5m. Traçar os diagramas.



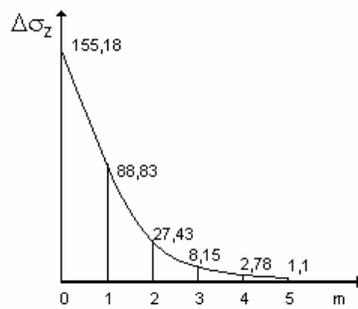
Resp.:



- 7) Traçar o diagrama de acréscimos de pressões no plano situado a 2,0m de profundidade, até a distância horizontal igual a 5,0m (fazer cada metro), quando se aplica na superfície do terreno uma carga concentrada de 1300 kN.



Resp.:



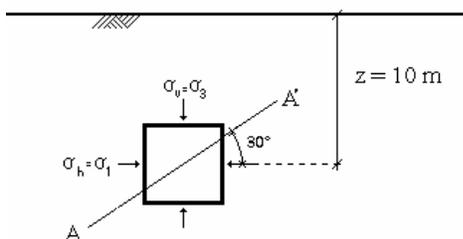
TENSÕES EM SOLOS – EXERCÍCIOS PROPOSTOS

QUESTÕES TEÓRICAS

- 1) Como você explica a coesão aparente das areias úmidas? 7- O que é tensão efetiva?
- 2) Qual o valor da poro pressão no solo seco? Por quê?
- 3) O que é coeficiente de empuxo no repouso?
- 4) Por quê k_0 é definido em termos de tensão efetiva?
- 5) O que é situação geostática?
- 6) O que é isóbara e bulbo de pressões? Exemplifique
- 7) Através do círculo de Mohr podemos determinar as componentes de tensão em qualquer plano. As tensões determinadas nesta construção gráfica são totais ou efetivas? Por quê?
- 8) Por que a superposição de carregamento não é válida para as fundações rígidas?
- 9) O que vem a ser estado de deformação plana. Cite algumas obras de engenharia civil que podem ser classificadas como casos típicos.
- 10) Através do círculo de Mohr podemos determinar as componentes de tensão que atuam sobre um plano qualquer que passa pelo ponto considerado. Pergunta-se: as tensões determinadas nesta construção gráfica são as tensões totais? as tensões efetivas? podemos considerar a poro pressão? Discuta fazendo o esquema do círculo.

QUESTÕES PRÁTICAS

- 1) O peso específico de um solo seco pré-adensado ($k_0=1,5$) é $\gamma_s = 19,6 \text{ kN/m}^3$. Se a superfície do terreno for horizontal, pode-se então afirmar que a tensão horizontal em qualquer ponto representa a tensão principal maior σ_1 ?
- 2) Pede-se determinar, para o problema anterior, a partir do círculo de Mohr:
 - As componentes de tensão normal e de cisalhamento que atuam no plano AA' da figura abaixo. (Resp.: $\tau_n = -42,4 \text{ kN/m}^2$ e $\sigma_n = 220,5 \text{ kN/m}^2$)
 - O valor da máxima tensão de cisalhamento nesta profundidade. (Resp.: $\tau_{m\acute{a}x} = \pm 49 \text{ kN/m}^2$)
 - O valor da tensão normal nos planos de cisalhamento máximo. (Resp.: $\sigma_n = 245 \text{ kN/m}^2$)



3) Um dispositivo possui o seguinte perfil:

$$\begin{aligned} 0 - 10\text{m} \quad \gamma_t &= 1,76 \text{ t/m}^3 \\ 10 - 25\text{m} \quad \gamma_t &= 1,52 \text{ t/m}^3 \\ 25 - 50\text{m} \quad \gamma_t &= 1,81 \text{ t/m}^3 \end{aligned}$$

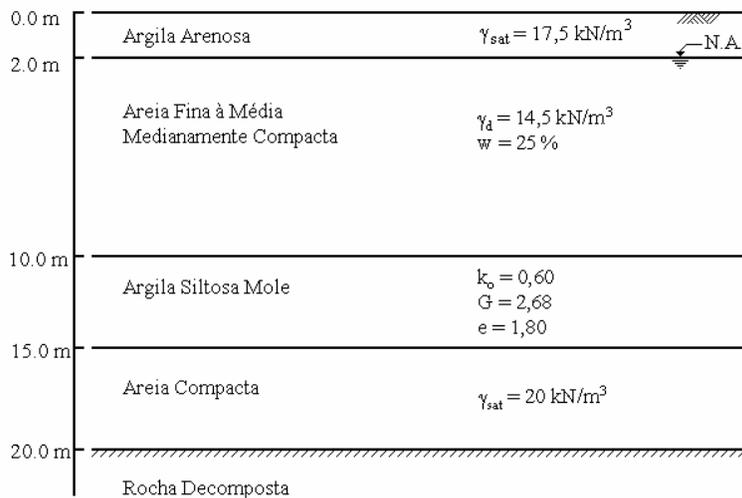
Assumindo condição geostática, determine a tensão total vertical a 40m de profundidade.

4) Será feita uma escavação de 10m de largura por 2m de comprimento e 8m de profundidade. O peso específico do material é 1,75 t/m³. Qual será o efeito da escavação na tensão vertical de um ponto situado sob o eixo de simetria, a 10m de profundidade abaixo da base de escavação? (Resp.: $\Delta\sigma_v = -1,12 \text{ t/m}^2$)

5) Em relação ao perfil de solo da figura abaixo, determine:

- A distribuição com a profundidade da tensão vertical total σ_v .
- A distribuição com a profundidade da poro-pressão.
- A distribuição com a profundidade da tensão vertical efetiva σ'_v .
- O valor da tensão horizontal efetiva σ'_h e da tensão horizontal total σ_h na profundidade $z = 12\text{m}$. (Resp.: $\sigma'_h = 67,9 \text{ kN/m}^2$ e $\sigma_h = 166,0 \text{ kN/m}^2$)

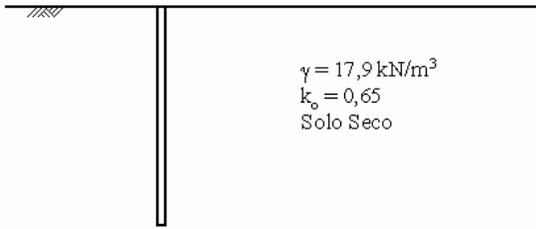
Considerar a camada superficial de argila arenosa completamente saturada devido ao fenômeno de capilaridade.



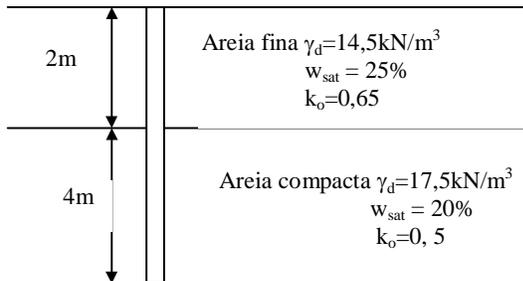
6) Um muro de arrimo será construído sobre terreno arenoso e transmitirá uma carga de 500 kPa através de uma sapata corrida com 4m de largura. Sabendo que o $\gamma_{nat} = 20 \text{ kN/m}^3$, $k_o = 0,5$ e o NA está 1m abaixo do nível do terreno. Determine o estado de tensões total inicial e final (após o carregamento) de um elemento de solo situado a 4m de profundidade sobre o eixo de simetria do carregamento. (Resp.: $\sigma_{vo} = 80 \text{ kPa}$, $\sigma_{ho} = 55 \text{ kPa}$, $\sigma_{vf} = 345 \text{ kPa}$, $\sigma_{hf} = 85 \text{ kPa}$)

7) Desenhe o círculo de Mohr do exercício anterior. Como seria este círculo se as tensões plotadas fossem efetivas?

- 8) Estime os esforços horizontais atuantes nos 5m iniciais da fundação abaixo.



- 9) Para o dimensionamento da estrutura enterrada, conforme mostra a figura abaixo, é preciso prever os esforços horizontais atuantes.

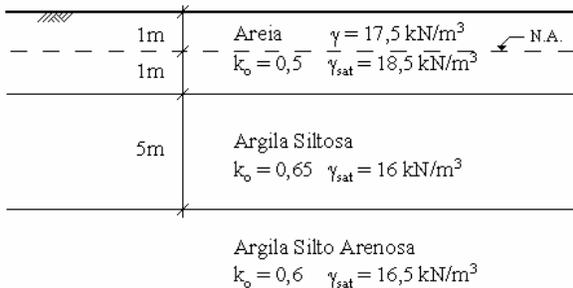


- Plote as tensões horizontais ao longo da profundidade, considerando as seguintes situações: solo seco e NA 1m abaixo da superfície do terreno
- Se ocorresse um deslocamento horizontal da parede, qual distribuição de tensões horizontais voce utilizaria?

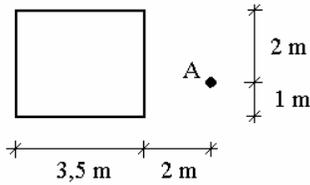
- 10) Se a fundação do problema anterior sofrer processo de infiltração de água, causando saturação completa, como ficariam os esforços horizontais?

- 11) Calcule a distribuição da tensão normal em uma camada de solo cujo peso específico varia com a profundidade. A camada tem 10m de espessura e os pesos específicos no topo e na base são respectivamente 1,43 t/m³ e 1,32 t/m³.

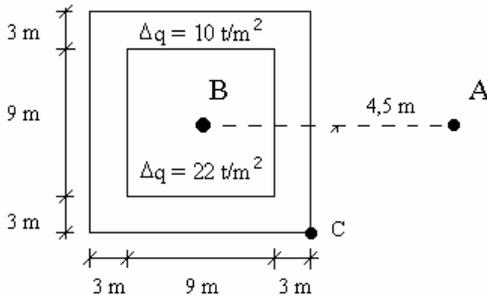
- 12) Determine a distribuição de tensão total horizontal no perfil abaixo, até 10m de profundidade.



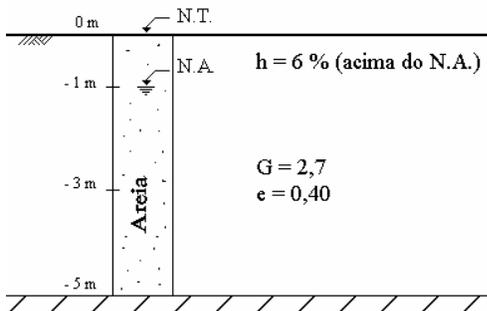
- 13) Calcule o acréscimo de tensão vertical no ponto A, induzido por um carregamento de 20 t/m² aplicado na superfície da área retangular, mostrada na figura abaixo. O ponto A situa-se a 2,4m de profundidade.



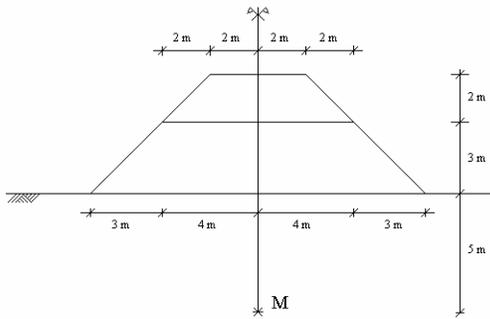
- 14) A figura abaixo mostra a planta da fundação de um edifício. A fundação é considerada perfeitamente flexível e está assentada sobre um maciço de solo com $\gamma = 2,0 \text{ t/m}^3$. Determine $\Delta\sigma_v$ nos pontos A e B, na superfície do terreno, e no ponto C situado a 5m de profundidade.



- 15) Calcular as poro-pressões e tensões horizontais e verticais efetivas e totais nas cotas -1m, -3m e -5m. Traçar os diagramas.



- 16) Traçar o diagrama de acréscimos de pressões no plano situado a 2,0m de profundidade, até a distância horizontal igual a 5,0m (fazer cada metro), quando se aplica na superfície do terreno uma carga concentrada de 1300 kN. Utilizar o ábaco.
- 17) Para o aterro da figura abaixo, calcular no ponto M o acréscimo de tensão vertical. Considerar o aterro com comprimento infinito e $\gamma = 1,9 \text{ kN/m}^3$.



18) O peso específico de um solo seco normalmente adensado é $\gamma_d = 20 \text{ kN/m}^3$. Se a superfície do terreno for horizontal a tensão geostática vertical representa a tensão principal maior. Com relação ao ponto P, figura 2.12, determinar graficamente através do círculo de Mohr:

- a máxima tensão de cisalhamento atuante no ponto
- O valor da tensão de Cisalhamento $\tau_{x'z'}$ Conforme figura abaixo
- o coeficiente de empuxo no repouso K_0 .

Respostas: $\tau_{\text{máx}} = 75 \text{ kN/m}^2$. $\tau_{x'y'} = 60 \text{ kN/m}^2$. $K_0 = 0,25$.

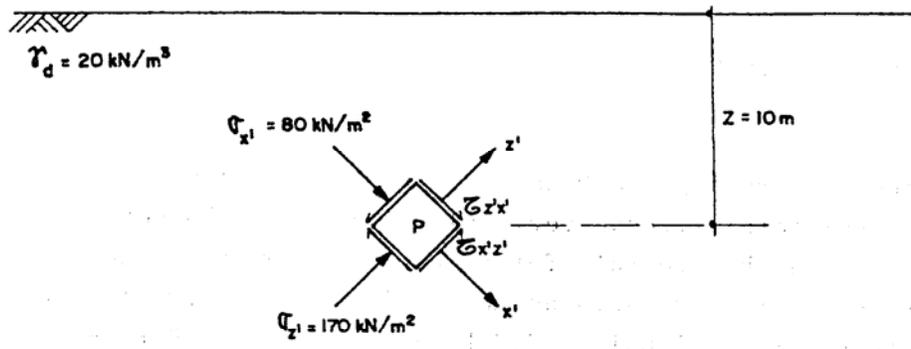


FIG. 2.12 - ESTADO DE TENSÃO NO PONTO P ($z=10\text{m}$)

19) Um aterro é construído conforme figura abaixo. O estado de tensão no ponto P, após o carregamento da fundação corrida, é mostrado na figura 2.13. Assumindo que o solo no plano OA pouco resiste às tensões de cisalhamento, determinar através do círculo de Mohr o ângulo α que minimiza as possibilidades de ruptura.

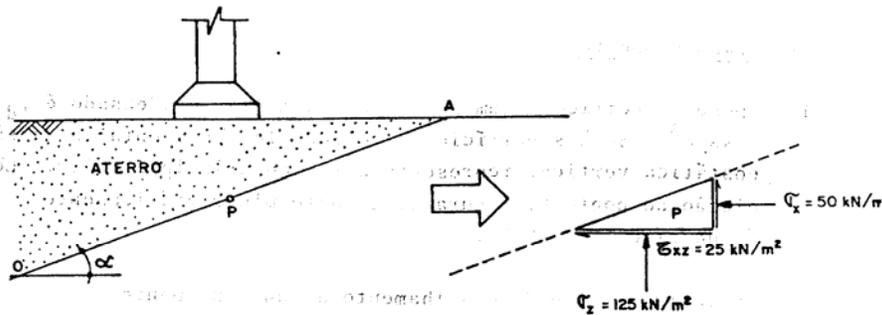


FIG.2.13 - ESTADO DE TENSÃO NO PONTO P

Resposta: $\alpha = 16,8^\circ$

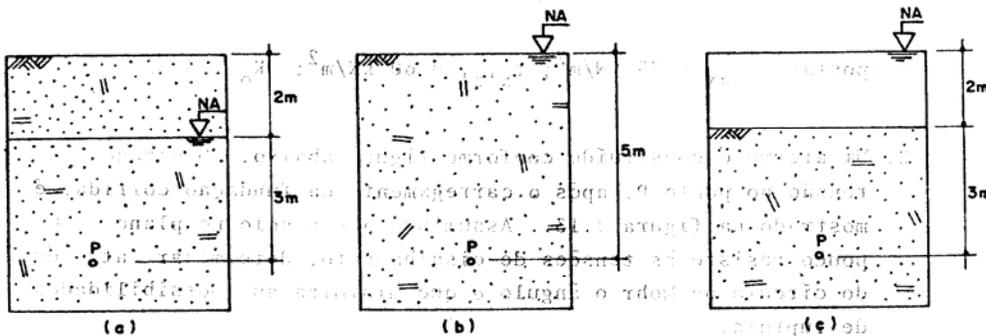


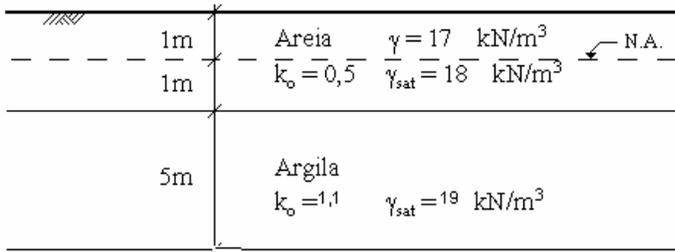
FIG.2.14 - ESQUEMA DE MACIÇOS DE SOLO

20) - Calcular para o ponto P das figuras abaixo os valores de tensão vertical total, tensão vertical efetiva, tensão horizontal total, tensão horizontal efetiva e poro pressão. Considerar o peso específico do solo acima do nível d'água (região parcialmente saturada) igual a $17,2 \text{ kN/m}^3$ e $\gamma_{\text{sat}} = 20,0 \text{ kN/m}^3$. Coeficiente de empuxo no repouso $K_0 = 0,5$ e peso específico da água $\gamma_w = 9,81 \text{ kN/m}^3$.

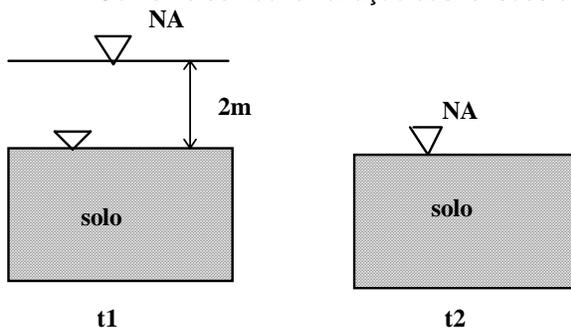
Respostas: a) $\sigma_{vo} = 94,4 \text{ kN/m}^2$; $\sigma'_{vo} = 65 \text{ kN/m}^2$; $\sigma_{ho} = 61,9 \text{ kN/m}^2$; $\sigma'_{ho} = 32,5 \text{ kN/m}^2$; $u = 29,4 \text{ kN/m}^2$ b) $\sigma_{vo} = 100 \text{ kN/m}^2$; $\sigma'_{vo} = 51 \text{ kN/m}^2$; $\sigma_{ho} = 74,5 \text{ kN/m}^2$; $\sigma'_{ho} = 25,5 \text{ kN/m}^2$; $u = 49 \text{ kN/m}^2$ c) $\sigma_{vo} = 79,6 \text{ kN/m}^2$; $\sigma'_{vo} = 30,6 \text{ kN/m}^2$; $\sigma_{ho} = 64,3 \text{ kN/m}^2$; $\sigma'_{ho} = 15,3 \text{ kN/m}^2$; $u = 49 \text{ kN/m}^2$

21) Dado o perfil abaixo, calcular:

- distribuições de tensão total e efetiva vertical e horizontal; (2,0pts)
- Para um ponto situado no centro da camada de argila, 1) calcule as tensões iniciais em um plano inclinado de 30° com a horizontal (sentido horário). 2) desenhe a trajetória de tensão total (TTT), assumindo que este ponto estará sob o eixo de simetria de um carregamento perfeitamente flexível, distribuído em uma faixa de 10m de largura e comprimento 500m. Este carregamento será aplicado em 2 fases: na primeira a carga será de 10kpa e na segunda fase de 20kPa. A TTT deverá ser plotada para as 2 fases



- 22) Examine as figuras abaixo, correspondentes à mesma fundação, mas em tempos diferentes. Comente se houve variação das tensões efetivas verticais entre o tempo t1 e o tempo t2



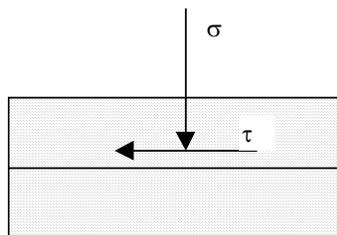
- 23) O ensaio de cisalhamento direto tem por objetivo determinar a resistência do solo quando cisalhado em um plano pré-definido. O ensaio é executado em um corpo de prova prismático, no qual são aplicadas, no plano horizontal, tensões cisalhantes e tensões normais, conforme desenho abaixo. O resultado de um ensaio forneceu, no instante da ruptura os seguintes valores:

$$\tau = 42,4 \text{ kPa}$$

$$\sigma = 220,5 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\text{max}} = 195 \text{ kPa}$$

Mostre através do círculo de Mohr em que direções atuam σ_1 e σ_3 e quais suas magnitudes.



- 24) Traçar os gráficos de distribuição com a profundidade da tensão vertical total (σ_{v0}), da tensão vertical efetiva (σ'_{v0}) e da poro pressão (u), considerando o perfil de solo abaixo:

- Nas condições atuais, admitindo-se capilaridade na camada de argila orgânica mole
- Após um rebaixamento permanente do nível d'água para a profundidade $z = 2\text{m}$, seguido da remoção da camada de argila orgânica e posterior colocação de um aterro (grande extensão) de 3m de altura com Peso específico $\gamma_t = 20,6 \text{ kN/m}^3$.

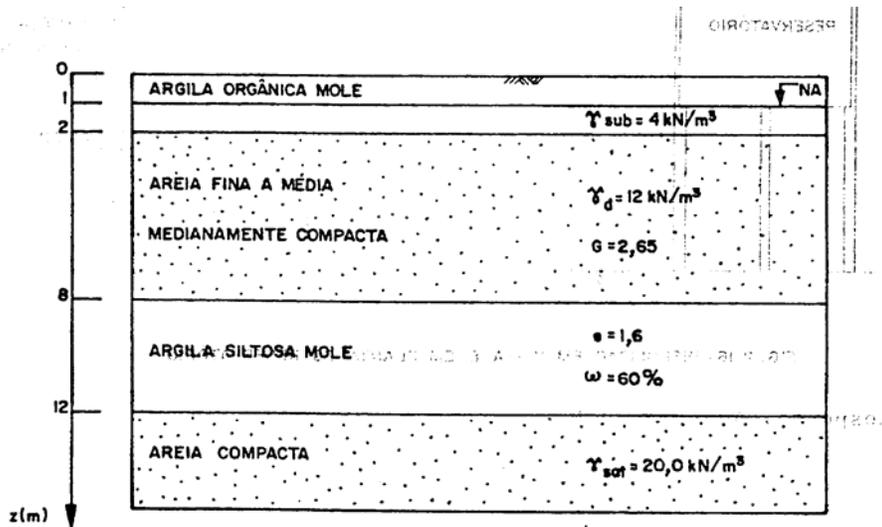


FIG. 2.15 - PERFIL DO MACIÇO DE SOLO

Respostas: Conferir para um ponto situado a 10 m de profundidade 1) $\sigma_{vo} = 163,6 \text{ kN/m}^2$; $\sigma'_{vo} = 75,3 \text{ kN/m}^2$; $u = 88,3 \text{ kN/m}^2$ 2) $\sigma_{vo} = 197,8 \text{ kN/m}^2$; $\sigma'_{vo} = 119,3 \text{ kN/m}^2$; $u = 78,5 \text{ kN/m}^2$

- 25) - A relação entre a tensão vertical e o peso específico de um depósito de solo é $\gamma t = 12,5 + 0,01z$, onde γt é expresso em kN/m^3 e z em m. Pergunta-se qual o valor da tensão vertical a uma profundidade de 30 m considerando-se a condição geostática. (Resposta: $\sigma_{vo} = 437,3 \text{ kN/m}^2$)
- 26) Um reservatório de água é suportado por 3 pilares (fig. 2.16) que em planta formam um triângulo equilátero com 10 m de lado. O reservatório quando totalmente cheio pesa 1200 kN. Determinar o acréscimo de tensão vertical $\Delta\sigma_v$ em um ponto do maciço de solo situado a 8 m de profundidade sob um dos pilares. Resposta: $\Delta\sigma_v = 3,6 \text{ kN/m}^2$

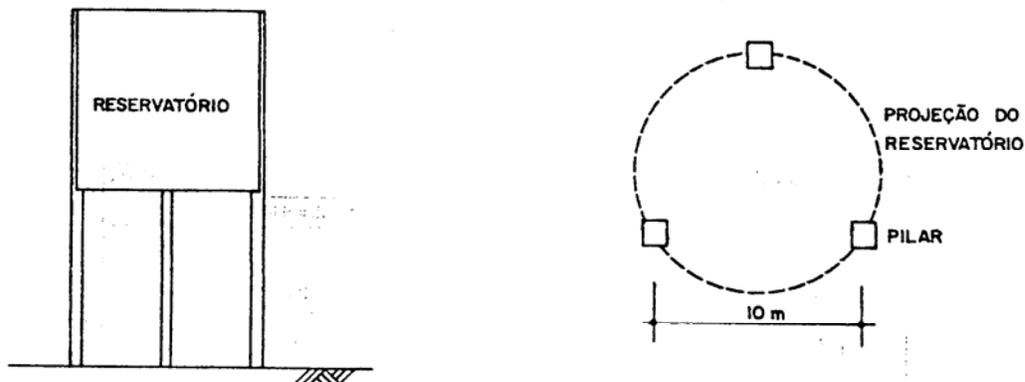


FIG. 2.16 - DISPOSIÇÃO EM VISTA E EM PLANTA DO RESERVATÓRIO

- 27) Será feita uma escavação de 10 m de largura, 20 m de comprimento e 5 m de profundidade em um maciço de solo com peso específico $\gamma t = 17 \text{ kN/m}^3$. Determinar qual a variação no valor da tensão vertical atuante em um ponto situado sob o centro da escavação a 10 m de profundidade a partir da superfície do terreno. Resposta: $\Delta\sigma_v = 68 \text{ kN/m}^2$ (alívio de tensão)

- 28) A figura abaixo mostra a planta da fundação de um edifício. Admitindo-se a fundação como perfeitamente flexível, sobre um maciço de solo assimilado a um semi-espaço linearmente elástico, isotrópico e homogêneo, determinar o acréscimo de tensão vertical em um ponto situado sob P a 10 m de profundidade. Resposta: $\Delta\sigma_v = 33,5 \text{ kN/m}^2$

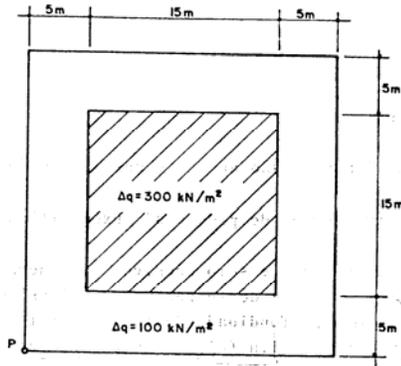
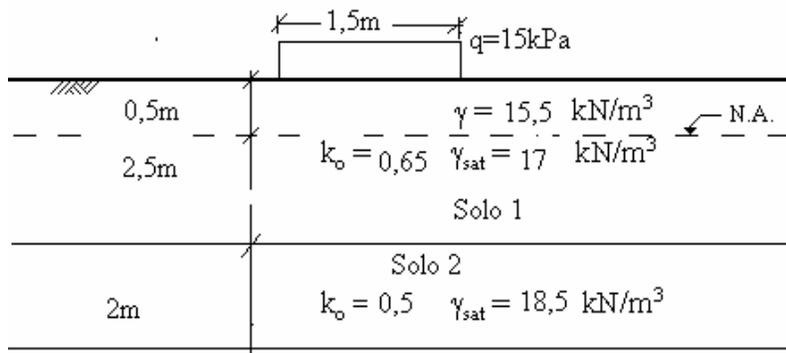


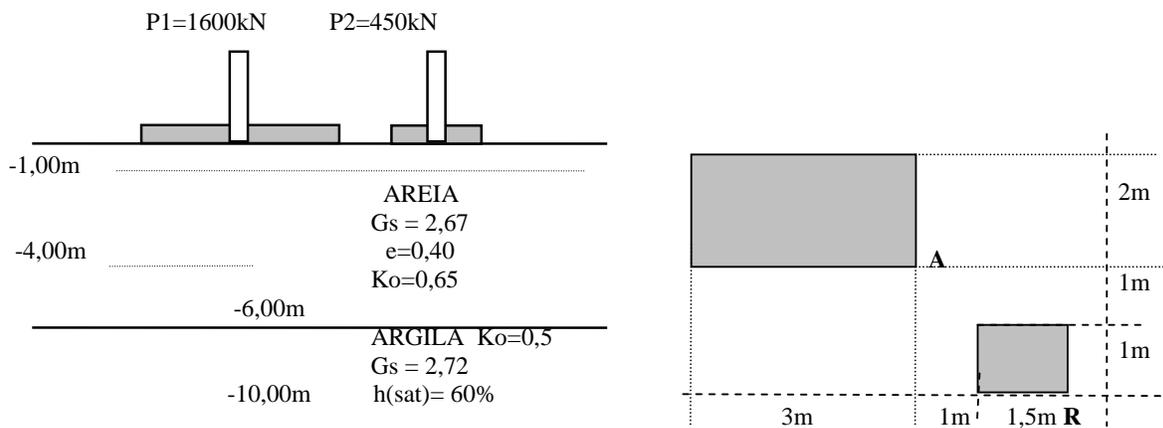
FIG. 2.17 - PLANTA DA FUNDAÇÃO (RADIÉR)

- 29) Considere uma fundação circular de raio $R = 4\text{m}$, perfeitamente flexível, uniformemente carregada ($\Delta q = 100 \text{ kN/m}^2$) sobre a superfície de um maciço de solo seco cujo peso específico varia conforme $\gamma d = 16 + 0,5z$ em kN/m^3 . Determine os valores das tensões principais que atuam no ponto situado a 4 m de profundidade, sob o centro da fundação. Admitir $\nu = 0,45$ e $K_0 = 0,82$. Respostas: $\sigma_1 = 133 \text{ kN/m}^2$; $\sigma_3 = 65,8 \text{ kN/m}^2$
- 30) Repetir a questão 3.1 dos Problemas resolvidos, utilizando o ábaco de Newmark. Se necessário reconstruir o ábaco em escala adequada ao problema. Resposta: $\Delta\sigma_v = 46,8 \text{ kN/m}^2$
- 31) Será executada uma fundação corrida sobre o perfil abaixo. Pede-se:
- Distribuição de tensões iniciais vertical e horizontal em termos de tensão total e efetiva ao longo de todo o perfil (
 - No centro da camada superficial (solo1), em um ponto localizado sob o eixo de simetria do carregamento, os valores de $\Delta\sigma_v$, $\Delta\sigma_h$, $\Delta\sigma_1$ e $\Delta\sigma_3$.
 - No centro da camada superficial (solo1), em um ponto localizado sob o canto do carregamento, os valores de $\Delta\sigma_v$, $\Delta\sigma_h$, $\Delta\sigma_1$ e $\Delta\sigma_3$.
 - Traçar em um mesmo gráfico, as trajetória de tensões total e efetiva (diagrama p - p' \times q) no ponto calculado no item b
 - Admitindo que a envoltória de resistência deste solo é descrita, no diagrama p \times q , por uma reta definida pela seguinte equação $q = p' \times \text{tg}(23^\circ)$, comente a condição de estabilidade da fundação
 - Indicar qual dos materiais presentes na fundação é mais compressível, explicando o porque
 - Admitindo que a poro-pressão no centro da camada do solo 1, varia segundo a equação:
 - $u = u_o + \{\Delta\sigma_3 + 0,4(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)\}$ desenhe, em um mesmo gráfico, as trajetórias total e efetiva, em um ponto localizado sob o eixo de simetria do carregamento, no centro da camada, considerando esta nova condição



32) Um muro de arrimo será construído sobre terreno arenoso e transmitirá uma carga de 500kPa através de uma sapata corrida com 4m de largura. Sabendo que γ do solo é 20kN/m^3 , K_0 é igual a 0.5 e o NA está 1m abaixo do nível do terreno. Traçar as trajetórias TTT e TTE, para o ponto situado a 4m de profundidade sob o eixo de simetria do carregamento.

33) Dado o esquema abaixo, calcule:



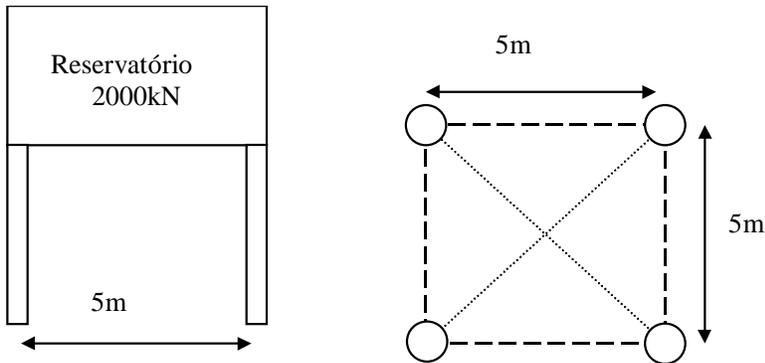
- Tensão horizontal total no ponto A, para as condições iniciais (NA 1m abaixo da superfície do terreno)
- O valor da tensão efetiva vertical, no ponto R, para as seguintes condições: i) condições iniciais ii) após o rebaixamento do NA para a cota -4m abaixo da superfície do terreno
- O acréscimo de tensão vertical induzido pela construção das sapatas na vertical do ponto R, a 8 m de profundidade, sabendo-se que ocorrem, de forma simultânea e instantânea, a construção das sapatas e o rebaixamento do lençol d'água da cota -1,00 m para a cota - 4,00 m.

OBS: 1) Considerar que na situação final a sobrecarga induzida pelas sapatas tenha se transformado totalmente em tensão efetiva; 2) Admitir para cálculo que a camada de areia é seca acima do nível d'água.

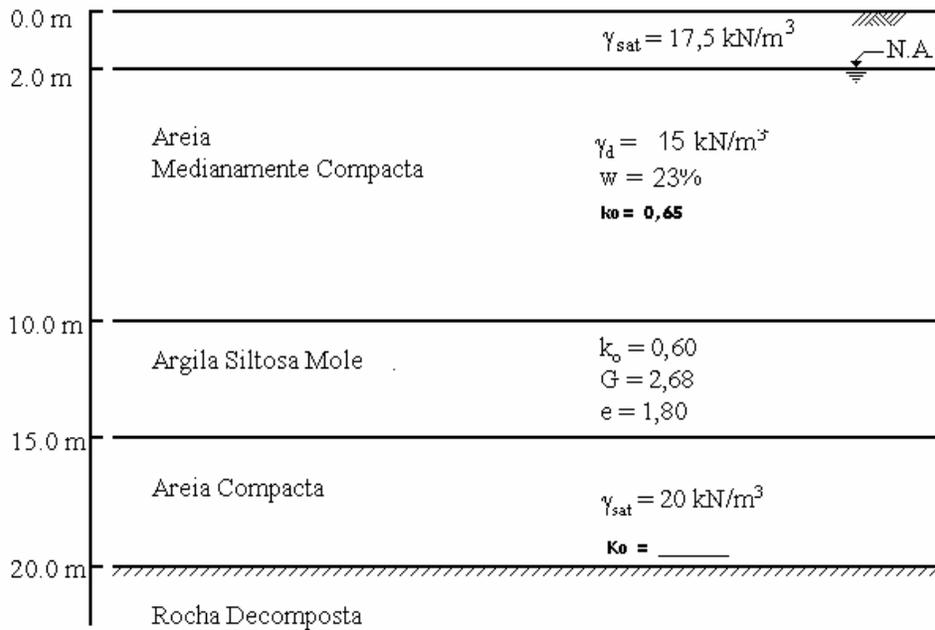
34) Um reservatório de água é suportado por pilares que em planta formam um quadrado equilátero com 5 m de lado. O reservatório quando totalmente cheio pesa 2000 kN. Antes da sua construção, será feito no local uma escavação de 2m de profundidade. O solo local é seco e apresenta um peso

específico total de 19kN/m^3 , $\nu = 0,4$ e $k_o = 0,45$. Pede-se em um ponto localizado no centro da área carregada, a 5m de profundidade a partir da superfície do terreno:

- calcular as tensões iniciais ;
- calcular as tensões iniciais normal e cisalhante em um plano inclinado de 120° (no sentido anti horário)
- calcular as tensões finais, após a escavação (adotar $\Delta\sigma_h = 0,8\Delta\sigma_v$)
- calcular as tensões finais após a construção do reservatório qual a inclinação do plano em que $\tau = \tau_{\max}$
- plotar a trajetória de tensões
- calcular a variação de tensões verticais em um ponto localizado na superfície do terreno, a 0,5m de distância um dos pilares, fora da área carregada



- 35) Determine a distribuição de tensões horizontais no perfil abaixo. Estime o valor de K_o da camada de areia compacta.



- 36) Sobre o perfil do exercício acima será construído uma estrada não pavimentada, com dimensões especificadas na figura abaixo. O metro superficial da camada de areia medianamente compacta

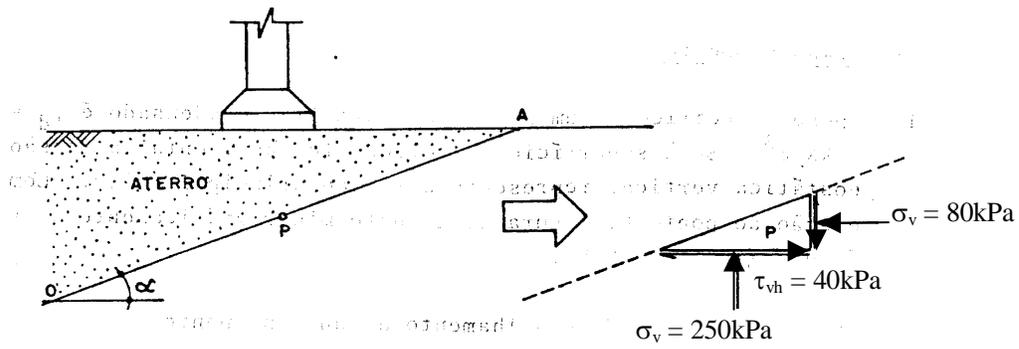


FIG.2.13 - ESTADO DE TENSÃO NO PONTO P