

Mecânica dos Solos e Fundações
PEF 522

Conceitos de Tensões total, neutra e efetiva
Capilaridade
Propagação de tensões no solo

Princípios da Mecânica

- Força
- Equilíbrio
- Tensão
 - Tensão normal
 - Tensão tangencial ou tensão de cisalhamento
- Deslocamento
- Deformação

Princípios da Mecânica

- Força
 - Agente capaz de alterar o estado de repouso ou de movimento de um corpo ou sua deformação.

Princípios da Mecânica

- Equilíbrio
 - Se a força resultante for nula ($F = 0$) o corpo estará em repouso (equilíbrio estático) ou em movimento retilíneo uniforme (equilíbrio dinâmico).

Princípios da Mecânica

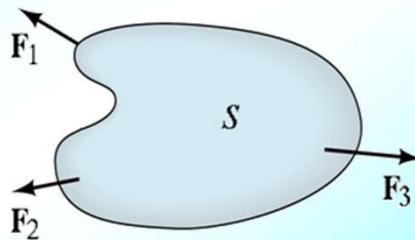
- Tensão
 - Força sobre área de atuação
 - Tensão normal
 - Positiva para compressão
 - Tensão tangencial ou tensão de cisalhamento

Princípio das Tensões Efetivas

- O Princípio das Tensões Efetivas se aplica somente à solos totalmente saturados
 - $S_r = 100\%$
 - $V_w = V_v$

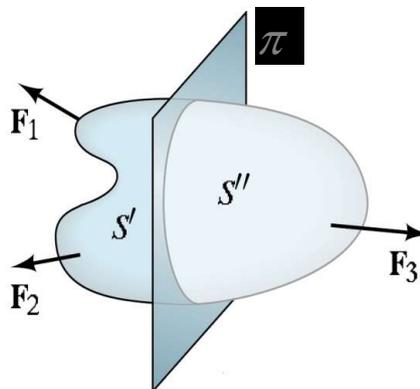
Tensão

- Conceito de tensão
 - Corpo em equilíbrio



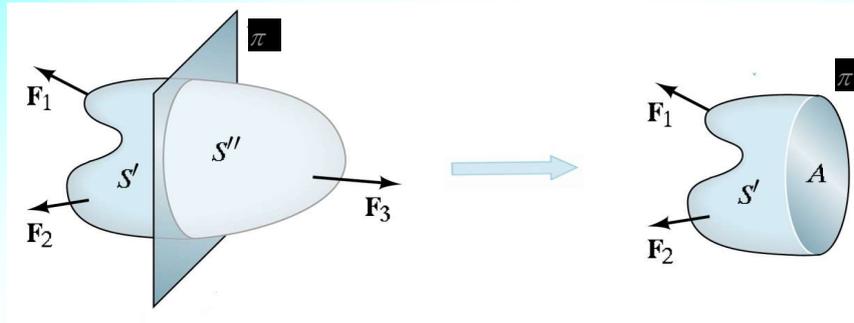
Tensão

- Corpo subdividido em duas partes por um plano π



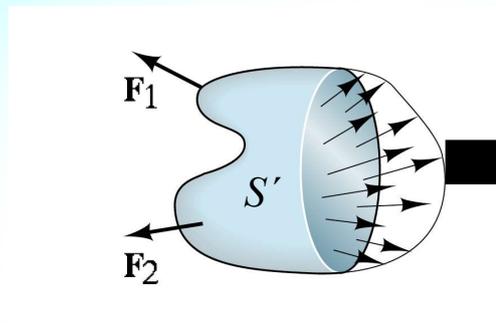
Tensão

- Isolando uma das partes:



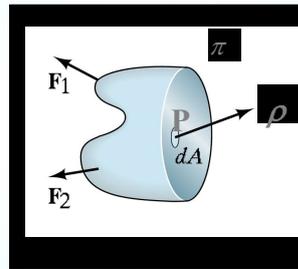
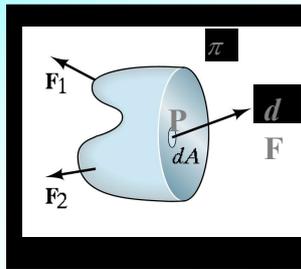
Tensão

- Uma infinidade de forças atuando na seção de corte garantem o equilíbrio da parte S' .



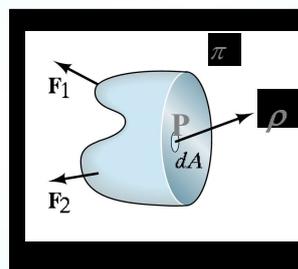
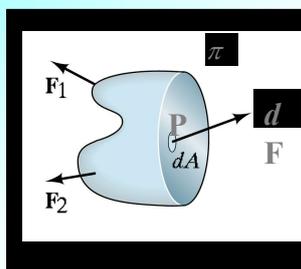
Tensão

- Tensão no ponto P, pelo plano π .



$$\rho = \frac{dF}{dA}$$

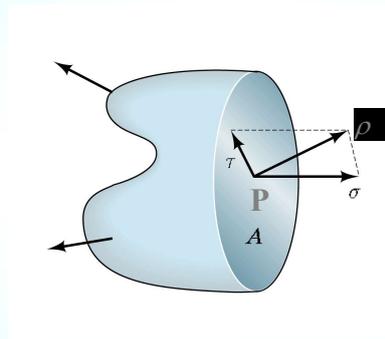
Tensão



- ρ e $dF \Rightarrow$ mesma direção e mesmo sentido

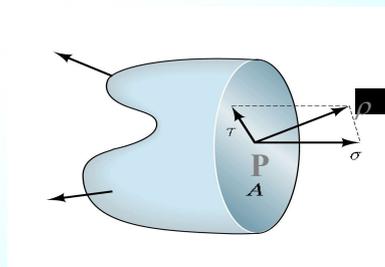
Tensão

- Duas componentes:



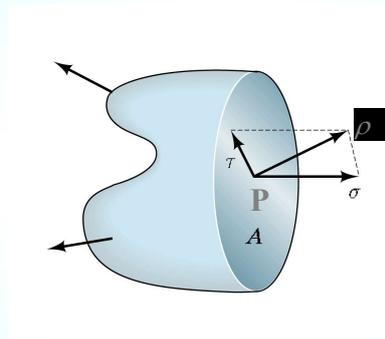
Estado de Tensão - Tensões Principais

- Variando plano $\pi \Rightarrow$ a tensão ρ também varia
- Existem infinitas tensões atuando no ponto P.
- Diz-se então que no ponto P existe um *estado de tensão*.



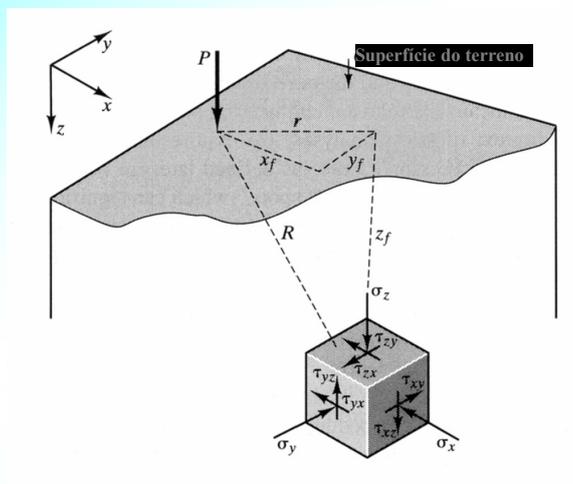
Estado de Tensão - Tensões Principais

- Se ρ varia, então σ e τ também variam.



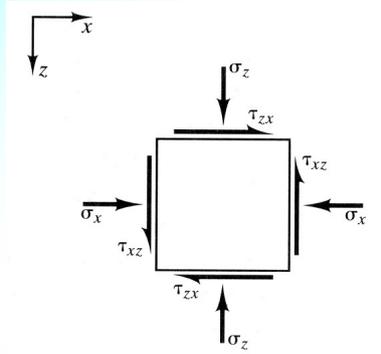
Tensões e Deformações

Estado de tensão em um ponto



Tensões e Deformações

Convenção de sinais

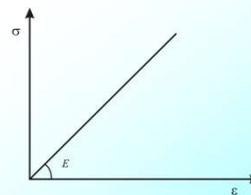


- σ = tensão normal (>0 , compressão)
- τ = tensão tangencial ou tensão de cisalhamento (>0 , quando tende a girar o elemento no sentido anti-horário)

Tensões e Deformações

- Material elástico-linear
 - Módulo de elasticidade

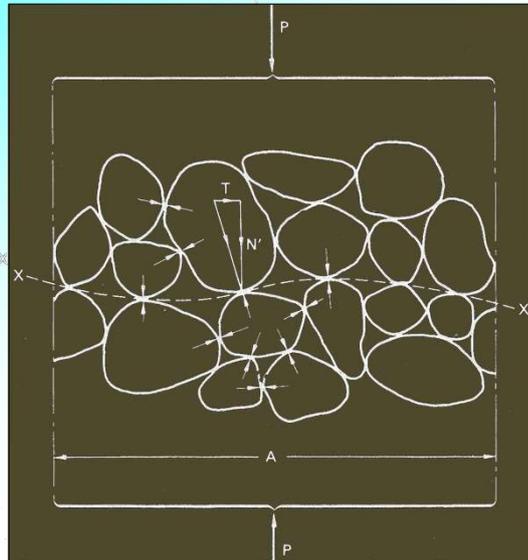
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$



- Módulo de cisalhamento

$$G = \frac{\tau}{\gamma}$$

Princípio das Tensões Efetivas



A tensão normal efetiva (σ') é interpretada como sendo a soma de todas as componentes normais N' , compreendidas pela área A , dividida pela área A :

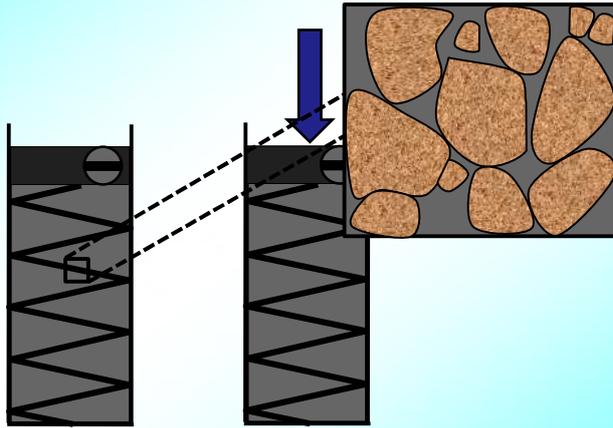
$$\sigma' = \frac{\sum N'}{A}$$

Princípio das Tensões Efetivas

- **Tensão normal total:** força por unidade de área transmitida em uma direção normal a um plano, imaginando-se que o solo seja um material sólido (fase única);
- **Pressão neutra (ou poropressão):** pressão da água que preenche os vazios entre as partículas sólidas;
- **Tensão normal efetiva:** representa as tensões transmitidas somente através dos esqueleto sólido.

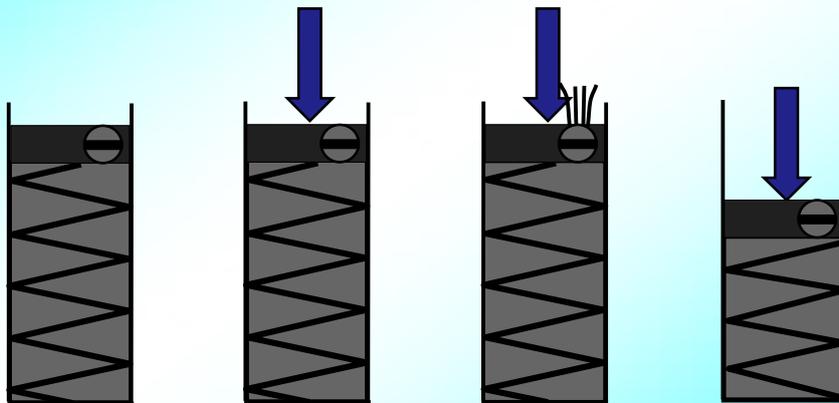
Princípio das Tensões Efetivas

Analogia mecânica



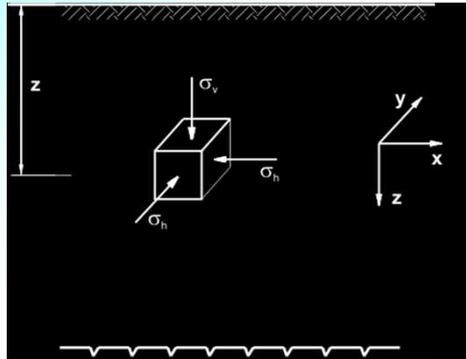
Princípio das Tensões Efetivas

Analogia mecânica



Tensões Geostáticas

Esforços devido ao peso próprio



- Se a superfície do terreno for horizontal, as tensões totais numa determinada profundidade são determinadas considerando apenas o peso próprio do solo subjacente.

Tensões Geostáticas

Esforços devido ao peso próprio

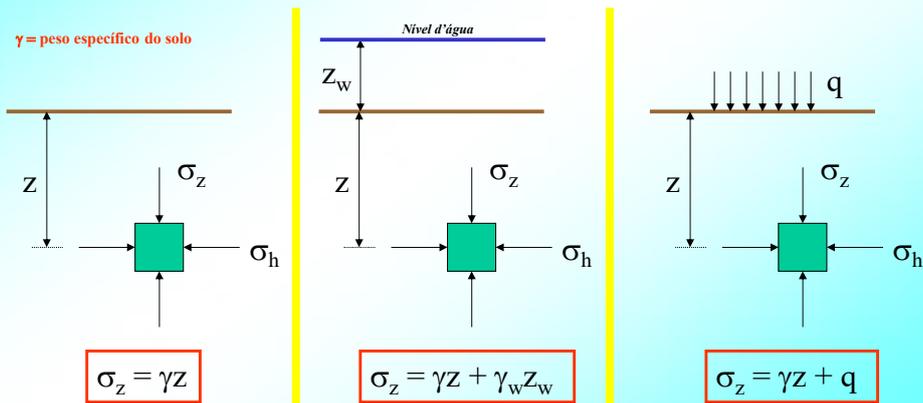


- Se o solo for estratificado, as tensões totais verticais são determinadas por meio da seguinte expressão:

$$\sigma_v = \int_0^z \gamma dz$$

Tensões no Solo

- No solo a tensão vertical em uma determinada profundidade é devida ao peso de tudo que se encontra acima.
- Ou seja, grãos de solo, água, fundações.
- Desta forma, a tensão normalmente aumenta com a profundidade.



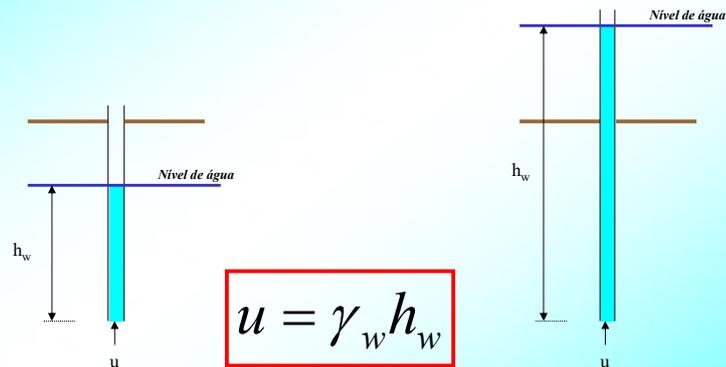
Tensões no Solo

- ✓ Lembre-se que γ é o peso de tudo (solo e água) por unidade de volume.
- ✓ Como σ_z advém do peso total do solo ele é conhecido como tensão total.
- ✓ Note que a água no "lago" mostrado anteriormente aplica uma tensão total na superfície do solo da mesma forma que a água aplica uma tensão na base de um copo de água.
- ✓ O peso específico de solos varia aproximadamente entre 20kN/m^3 para um solo saturado e 16kN/m^3 para um solo seco. E o peso específico da água vale 10kN/m^3 .
- ✓ Existem também as tensões horizontais σ_h , mas não existe uma relação simples entre σ_z e σ_h .

Tensões no Solo

Água no solo e pressão da água

- A água nos poros de um solo saturado possui uma pressão conhecida como pressão de poro ou pressão neutra - u .



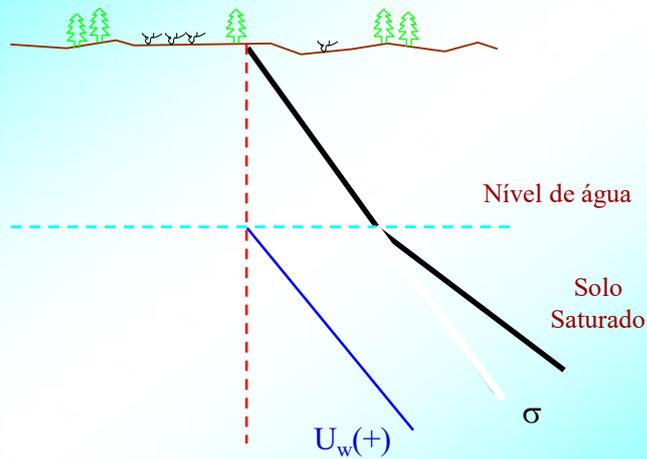
Tensões no Solo

Tensão Efetiva

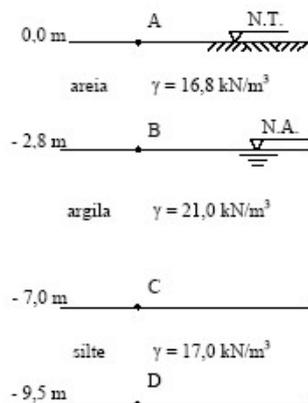
- É claro que a movimentação do solo e a instabilidade dele pode ser causada por mudanças na tensão total, devida as cargas de fundações ou escavações em geral.
- No entanto, não é tão obvio que os movimentos do solo possam ser devido às variações de poro pressão (pressão neutra).
- Desta forma, se existe indução de deformação por mudança na tensão total ou da poro pressão, existe a possibilidade do comportamento do solo ser governado por uma combinação entre σ e u .
- Esta combinação é conhecida como tensão efetiva (σ'), por que ela é efetiva em determinar o comportamento do solo.
- O princípio das tensões efetivas foi estabelecido por Terzaghi em 1923.

$$\sigma' = \sigma - u$$

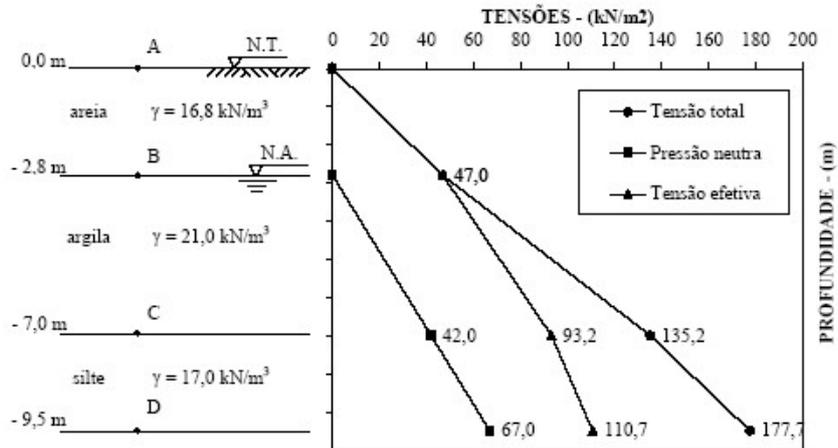
Tensões Geostáticas



Tensões Geostáticas - Exemplo



Tensões Geostáticas - Exemplo



Tensões no Solo

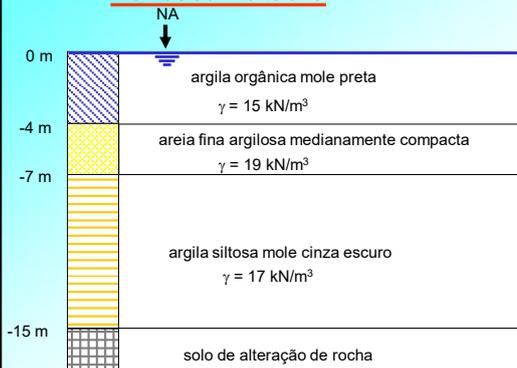
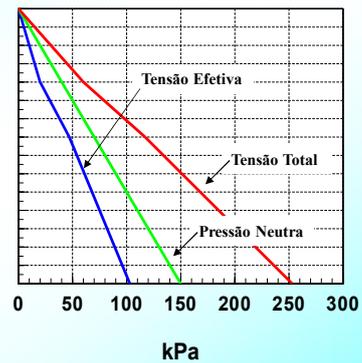
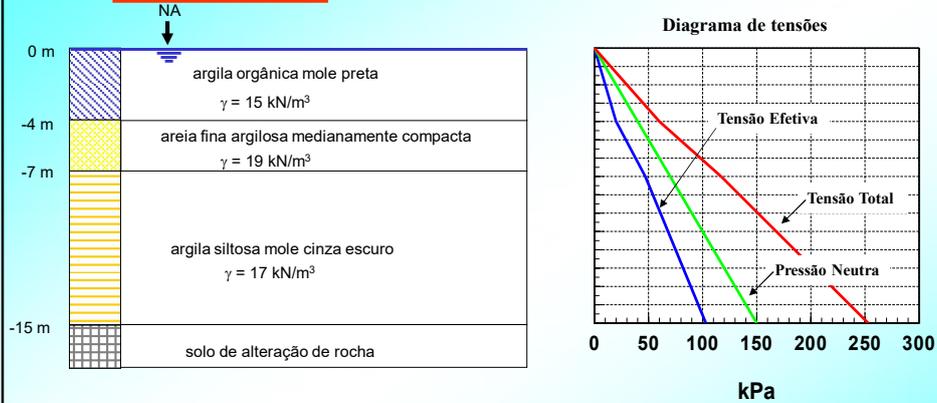


Diagrama de tensões



Exemplo para a cota -7m

Tensões no Solo



Exemplo para a cota -7m

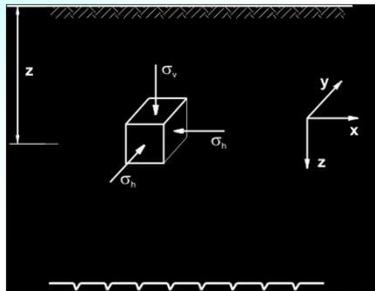
$$\sigma = 15 \cdot 4 + 19 \cdot 3 = 117 \text{ kPa}$$

$$u = 10 \cdot 7 = 70 \text{ kPa}$$

$$\sigma' = \sigma - u = 47 \text{ kPa}$$

Tensões Geostáticas

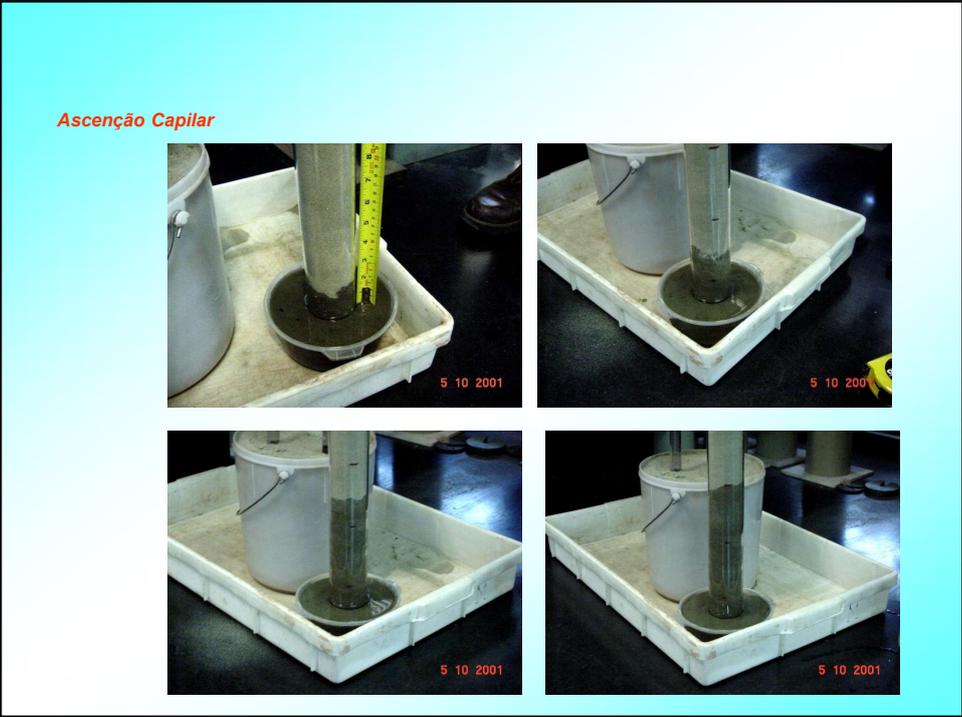
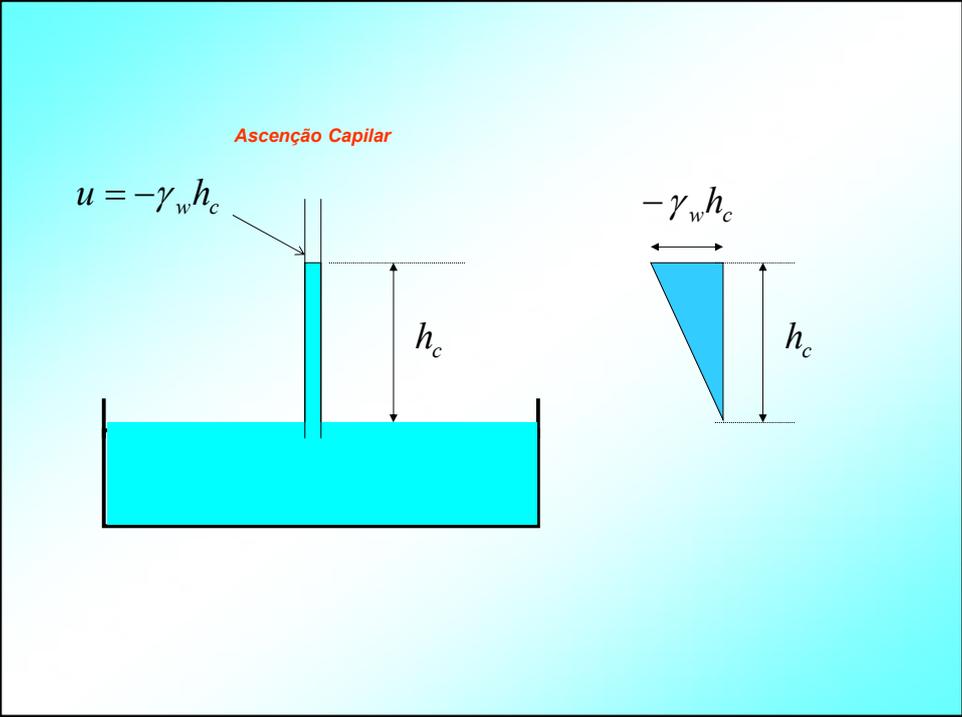
Esforços devido ao peso próprio



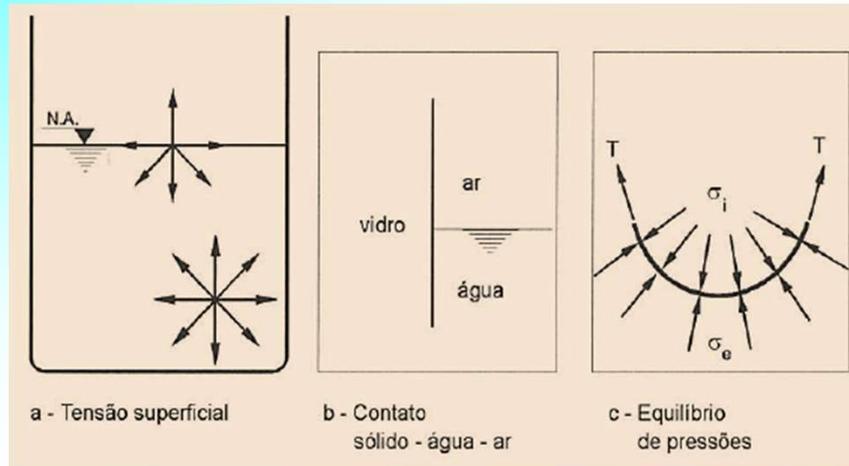
- As tensões totais horizontais são, geralmente, uma fração da tensão total vertical atuante:

$$\sigma_h = K \sigma_v$$

onde K é uma constante denominada *coeficiente de empuxo*.

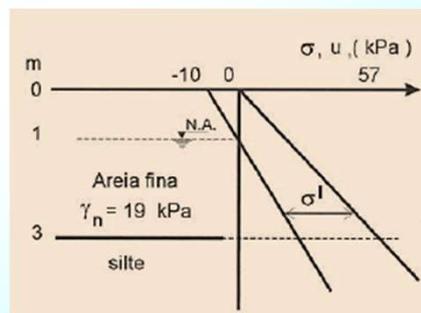


Capilaridade



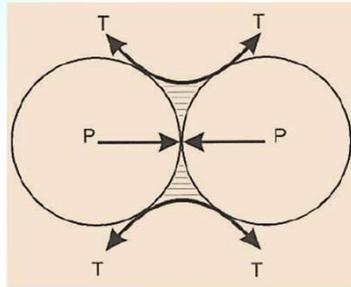
Capilaridade

- Resistência à tração da água
- Limite da resistência - pressão atmosférica (tensões maiores no menisco)
- Capilaridade no solo



Capilaridade

- Aplicação em resistência - *coesão aparente*



Capilaridade

- Aplicação em resistência - *coesão aparente*



Capilaridade

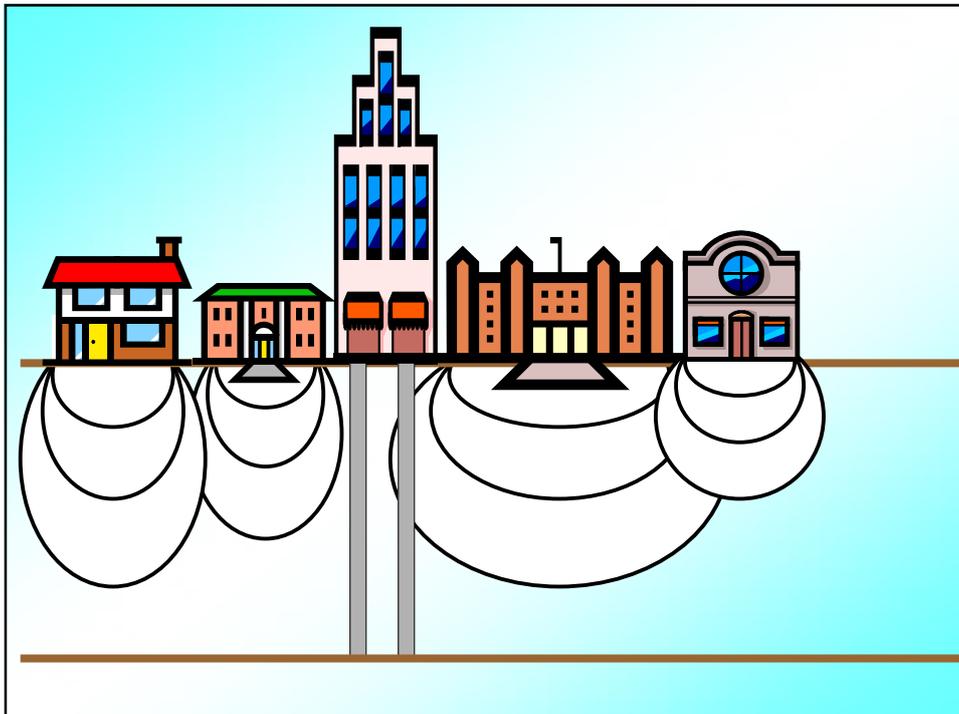
- Aplicação em resistência - *coesão aparente*



Mecânica dos Solos e Fundações
PEF 522

Transmissão de tensões no solo
Recalques elásticos

Prof. Fernando A. M. Marinho



Considerações Iniciais

- ✓ Para se avaliar o projeto de fundações é necessário se estimar os recalques verticais que ocorrerão como decorrência da aplicação de uma carga estática
- ✓ O recalque é a soma de três componentes:
 - O recalque imediato ou de distorção
 - O recalque por adensamento
 - O recalque secundário
- ✓ O recalque imediato é aquele que ocorre concomitantemente com a aplicação da carga.
- ✓ Embora este recalque não seja elástico ele é normalmente calculado utilizando-se a teoria da elasticidade, quando o recalque ocorre em solo argiloso

Aplicabilidade da Teoria da Elasticidade

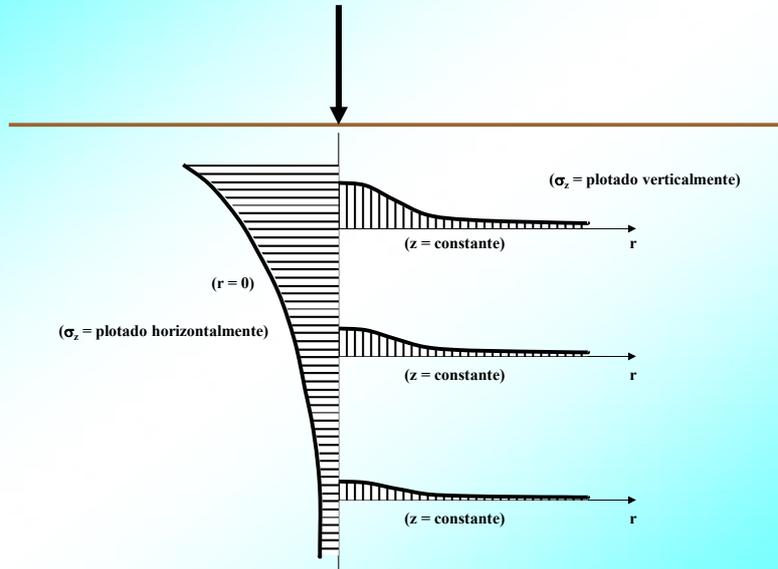
Para cálculo de tensões

- ✓ Massa homogênea – Quando as condições de contorno do problema analítico se aproxima das condições de contorno “in situ”, a distribuição de tensões no campo são comparáveis àquelas obtidas pela análise linear elástica.

Para cálculo de deslocamentos

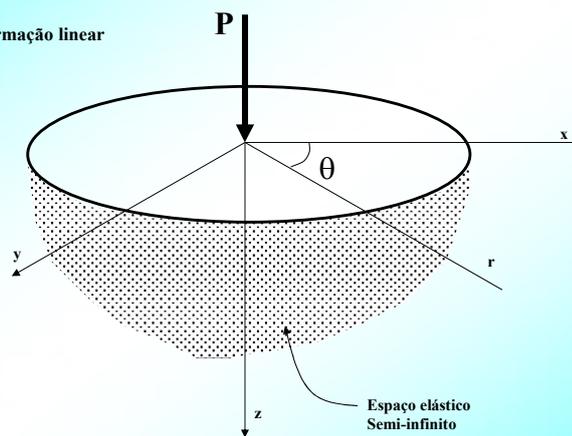
- ✓ O cálculo de deslocamentos depende mais diretamente da natureza da lei constitutiva e das magnitudes dos parâmetros utilizados, desta forma, a habilidade da teoria da elasticidade em prever deslocamentos depende, de forma mais marcante, da não linearidade e da heterogeneidade do material “in situ”.
- ✓ Em outras palavras: quando não existe homogeneidade do material a teoria da elasticidade não pode ser aplicada.

Variação da tensão vertical devida à carga em um ponto



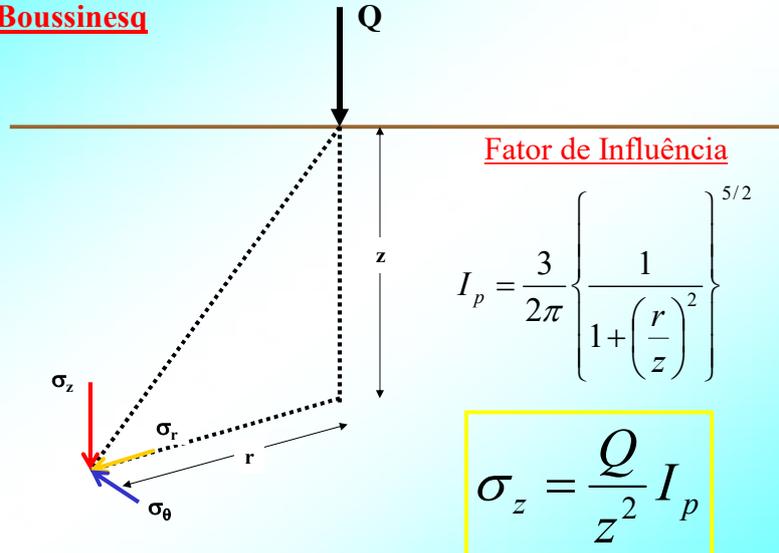
O Problema de Boussinesq

- Espaço semi-infinito
- Material homogêneo
- Massa Isotrópica
- Relação tensão deformação linear



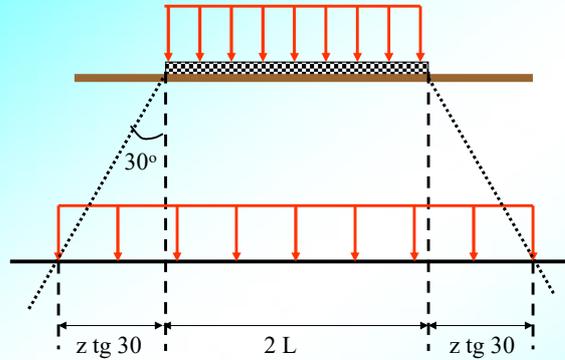
Tensão devida à carga em um ponto

Boussinesq



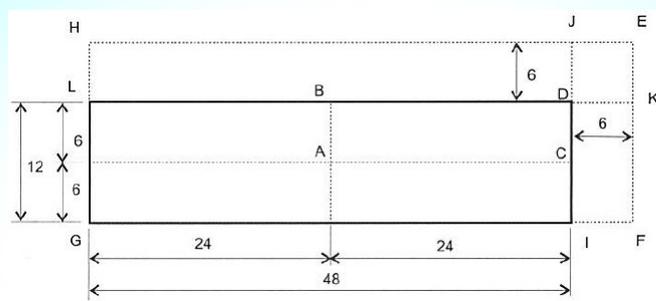
- Um poste de transmissão de energia possui um peso de 50tf. Há uma dutovia que passa a uma profundidade de 5m no eixo deste poste. Calcular o acréscimo de tensão que o poste causará no solo acima da dutovia, em seu eixo, e a 2m de distância.

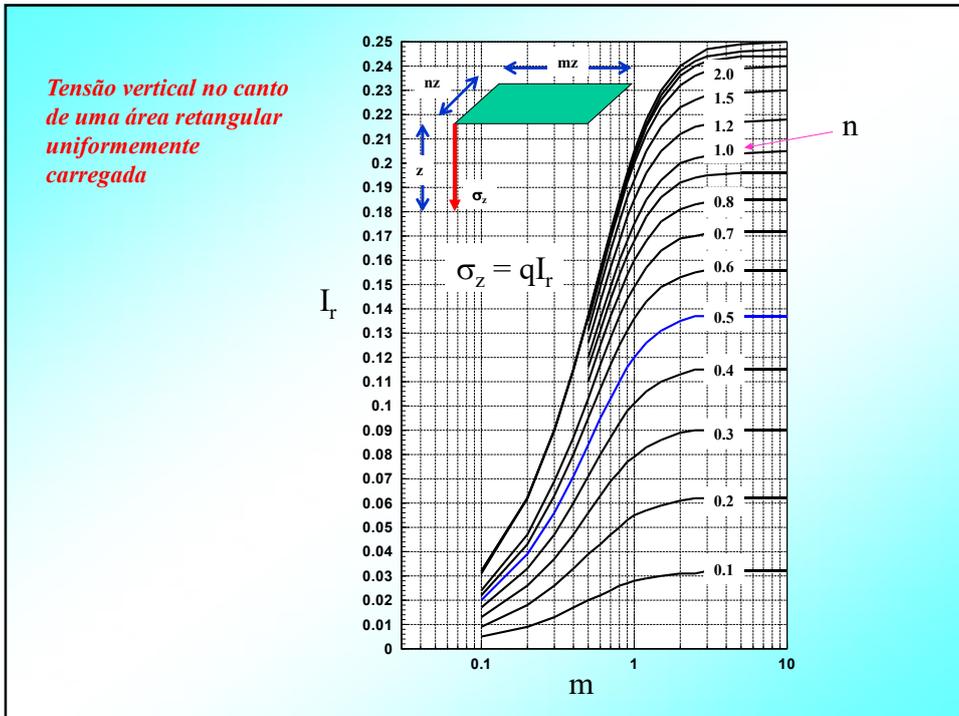
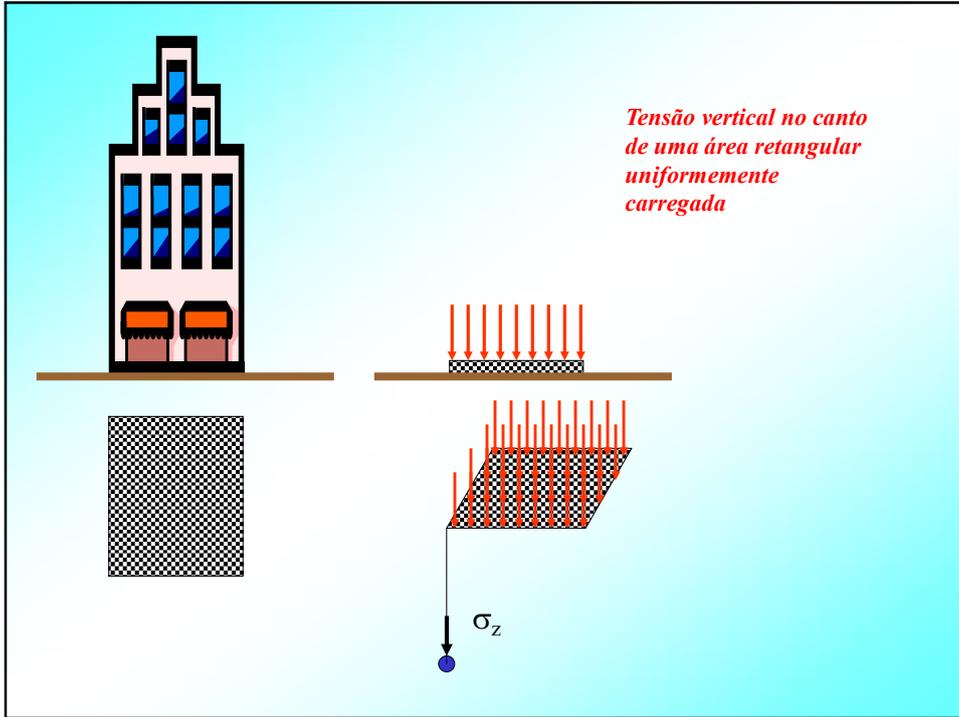
Espraiamento das tensões



$$\sigma_v = \frac{2L}{2L + 2z \operatorname{tg} 30^\circ} \sigma_o$$

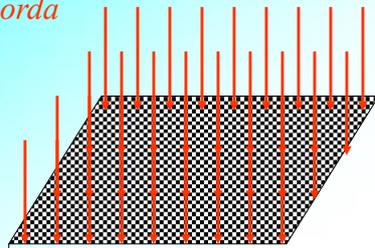
Uma construção industrial apresenta planta retangular conforme figura abaixo. O seu radier vai aplicar uma pressão de 50 kPa no solo. Estime o acréscimo de tensão na vertical em um ponto a 6m de profundidade.





Tensão

Na borda

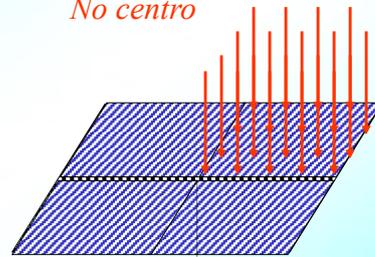


$$\sigma_z = q * I_r$$

σ_z



No centro

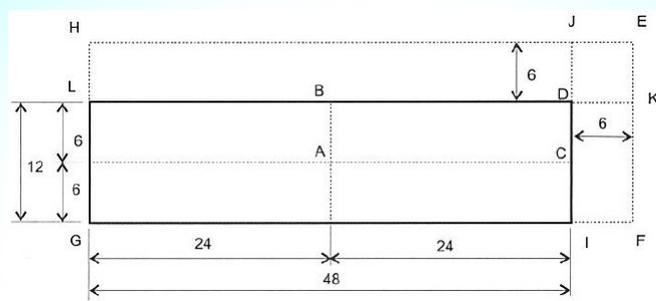


$$\sigma_z = 4 * q * I_r$$

σ_z



Uma construção industrial apresenta planta retangular conforme figura abaixo. O seu radier vai aplicar uma pressão de 50 kPa no solo. Determine o acréscimo de tensão na vertical nos pontos A, B, C, D e E a 6m de profundidade.



Recalques Elásticos

- Pressão uniformemente distribuída
- Material homogêneo
- Massa Isotrópica
- Relação tensão deformação linear
- A área carregada é flexível.

$$r = \frac{qB}{E} (1 - \nu^2) I_s$$

- r = recalque
- I_s = Fator de influência que depende da forma da área carregada
- B = para área retangular B é a menor dimensão e para área circular B é o diâmetro.

Forma da área	I_s		
	Centro	Canto	Média
Quadrado	1.12	0.56	0.95
Retângulo $L/B=2$	1.52	0.76	1.3
Retângulo $L/B=5$	2.1	1.05	1.83
Círculo	1	0.64	0.85

Tipo de Solo	E (kPa)
Argila muito mole	2500
Argila mole	2500 a 5000
Argila média	5000 a 10000
Argila rija	10000 a 20000
Argila muito rija	20000 a 40000
Argila dura	40000
Areia fofa	10000 a 50000
Areia compacta	40000 a 100000

Área Carregada Flexível



Argila

Areia

Área Carregada Rígida

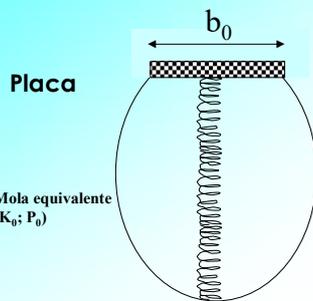


Argila

Areia

Sapata em Argila

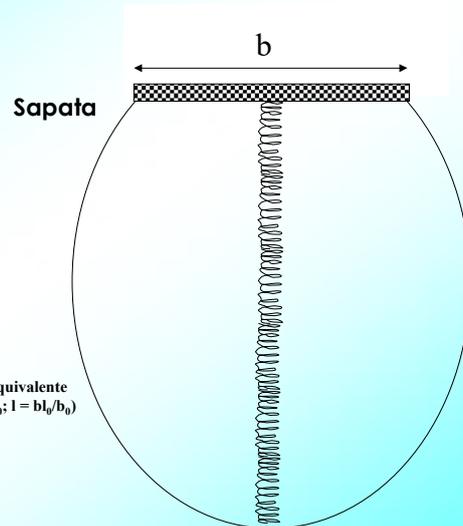
Estimativa de recalques



Mola equivalente
($K_0; P_0$)

$$r = r_0 \frac{b}{b_0}$$

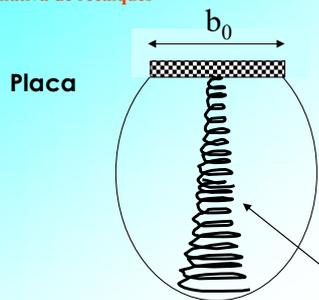
- r_0 = recalque na placa de ensaio
- b = diâmetro ou menor dimensão da fundação.
- b_0 = diâmetro da placa de ensaio



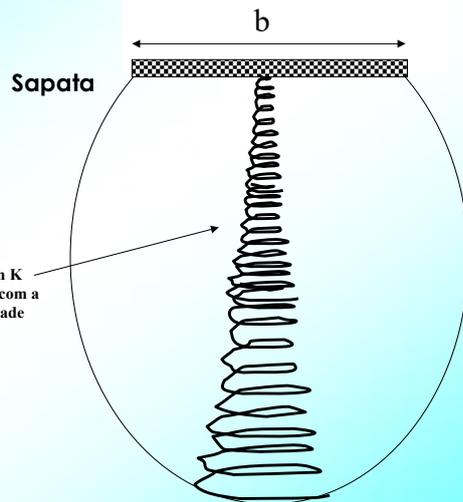
Mola equivalente
($K = K_0; l = b l_0 / b_0$)

Sapata em Areia

Estimativa de recalques



Placa



Sapata

Molas com K
crescente com a
profundidade

$$r = r_0 * 1.90 * \frac{1}{\left(1 + \frac{0.3}{b}\right)^2}$$

- r_0 = recalque na placa, em metros, com diâmetro de 0.80m
- b = diâmetro ou menor dimensão da fundação.