

# Recalques em Fundações Superficiais

Professor: Luciano Pivoto Specht

Disciplina de Fundações

## Dimensionamento Geotécnico

- Adequado fator de segurança quanto à ruptura
- Recalque mantido dentro de "limites" de tolerância (especialmente recalques diferenciais)

Estados Limites - **RUPTURA**

- **UTILIZAÇÃO**

**Solos Argilosos** – capacidade de carga e recalques são relevantes no dimensionamento

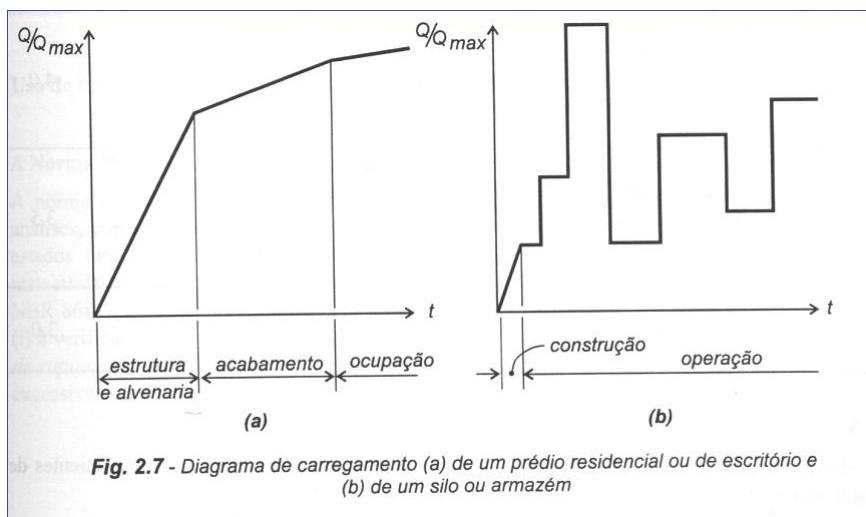
**Solos Arenosos** – recalque é o fator dominante, exceto em areias muito fofas e fundações com pequenas dimensões (<1m)

## Problemas

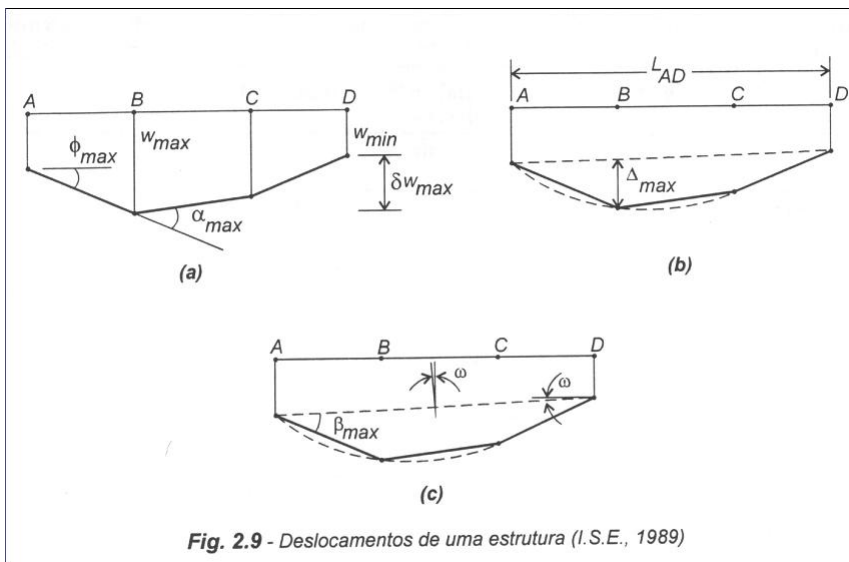
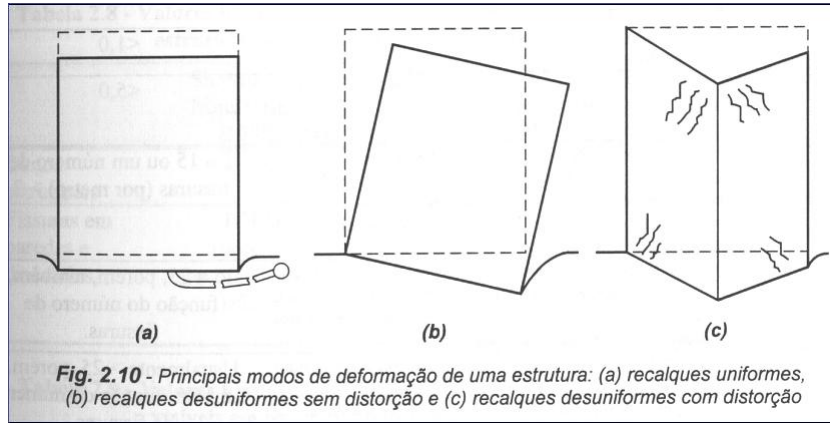
- Aparência visual
- Serviços
- Estabilidade e dano estrutural
  - há um pequeno número de publicações técnicas sobre o assunto que relacionem medidas de recalque e tipo de danos;
  - recalques admissíveis não são regras rígidas mas orientações de projeto;
  - função da edificação e serviço restringem deslocamentos limites: pontes rolantes, equipamentos de precisão, elevadores....

## Etapas de carregamento de uma obra

Fonte: Veloso e Lopes



**Fig. 2.7** - Diagrama de carregamento (a) de um prédio residencial ou de escritório e (b) de um silo ou armazém



$\delta w$  - Recalque diferencial       $\phi$  - Rotação       $\beta$  - Rotação Relativa  
 $\omega$  - Desaprumo       $\Delta$  - Delexão relativa =  $\delta w/L$

## Danos estruturais em função de fissuras

Fonte: Veloso e Lopes

**Tabela 2.6 - Relação entre abertura de fissuras e danos em edifícios (Thornburn e Hutchinson, 1985)**

Abertura da fissura (mm)	Intensidade dos danos			Efeito na estrutura e uso do edifício
	Residencial	Comercial ou público	Industrial	
< 0,1	Insignificante	Insignificante	Insignificante	Nenhum
0,1 a 0,3	Muito leve	Muito leve	Insignificante	Nenhum
0,3 a 1	Leve	Leve	Muito leve	Apenas estética. Deterioração acelerada do aspecto externo.
1 a 2	Leve a moderada	Leve a moderada	Muito leve	
2 a 5	Moderada	Moderada	Leve	Utilização do edifício será afetada e, no limite superior, a estabilidade pode, também, estar em risco
5 a 15	Moderada a severa	Moderada a severa	Moderada	
15 a 25	Severa a muito severa	Severa a muito severa	Moderada a severa	
> 25	Muito severa a perigosa	Severa a perigosa	Severa a perigosa	Cresce o risco da estrutura tornar-se perigosa

**Tabela 2.7 - Classificação de danos visíveis em paredes tendo em vista a facilidade de reparação (I.S.E., 1989)**

Categoria do Dano	Danos Típicos	Largura aproximada da fissura (mm)
	Fissuras capilares com largura menor que 0,1mm são classificadas como desprezíveis.	< 0,1
1	Fissuras finas que podem ser tratadas facilmente durante o acabamento normal.	<1,0
2	Fissuras facilmente preenchidas. Um novo acabamento é, provavelmente, necessário. Externamente, pode haver infiltrações. Portas e janelas podem empenar ligeiramente.	<5,0
3	As fissuras precisam ser tornadas acessíveis e podem ser reparadas por um pedreiro. Fissuras que reabrem podem ser mascaradas por um revestimento adequado. Portas e janelas podem empenar. Tubulações podem quebrar. A estanqueidade é, frequentemente, prejudicada.	5 a 15 ou um número de fissuras (por metro) > 3
4	Trabalho de reparação extensivo envolvendo a substituição de panos de parede, especialmente sobre portas e janelas. Esquadrias de portas e janelas distorcidas; pisos e paredes inclinados visivelmente. Tubulações rompidas.	15 a 25, porém, também, função do número de fissuras.
5	Essa categoria requer um serviço de reparação mais importante, envolvendo reconstrução parcial ou completa. Vigas perdem suporte; paredes inclinam perigosamente e exigem escoramento. Janelas quebram com distorção. Perigo de instabilidade.	Usualmente > 25, porém, também, função do número de fissuras.

## Deformações Limites

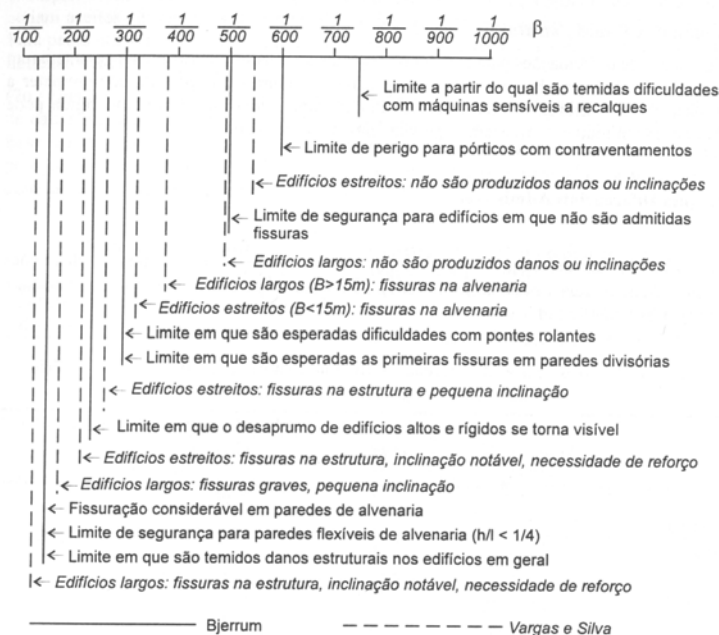
### Recalques diferenciais

Tabela 2.8 - Valores limites da rotação relativa ou distorção angular  $\beta$  para edifícios estruturados e paredes portantes armadas (I.S.E., 1989)

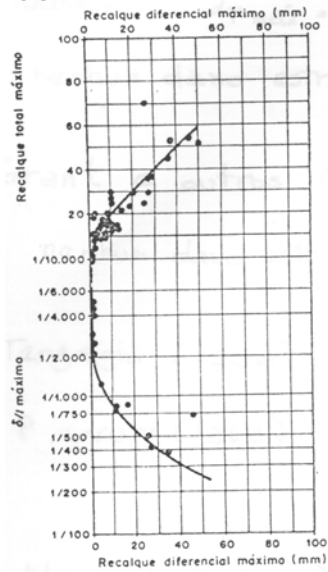
	Skempton e MacDonald (1956)	Meyerhof (1956)	Polshin e Tokar (1957)	Bjerrum (1963)
Danos estruturais	1/150	1/250	1/200	1/150
Fissuras em paredes e divisórias	1/300 (porém, recomendado 1/500)	1/500	1/500 (0,7/1000 a 1/1000 em painéis extremos)	1/500

Tabela 2.9 - Valores limites da relação de deflexão  $\Delta/L$  para a ocorrência de fissuras visíveis em paredes portantes não armadas (I.S.E., 1989)

Configuração	Meyerhof (1956)	Polshin e Tokar (1957)	Burland e Wroth (1975)
Côncava para cima	1/2500	L/H<3: 1/3500 a 1/2500 L/H<5: 1/2000 a 1/1500	L/H=1: 1/2500 L/H=5: 1/1250
Convexa para cima	-	-	L/H=1: 1/5000 L/H=5: 1/2500

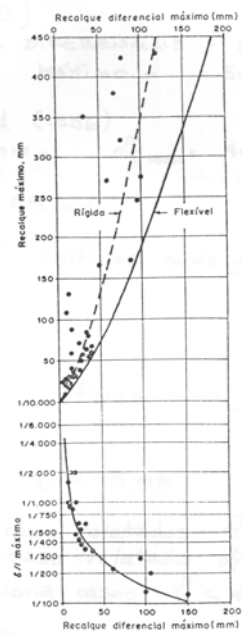


## Areias



(a)

## Argilas Bjerrum 1963



(b)

## Deformações Limites

### Recalques totais limites

A fixação de recalques totais limites é bastante controversa. Os valores apresentados são válidos apenas para casos de rotina onde uma análise mais detalhada não se faça necessária. Tais indicações foram fornecidas pelo Institution of Structural Engineers da Inglaterra (1989).

**Areias:** para sapatas em areia é pouco provável que os recalques diferenciais ultrapassem 75% dos recalques máximos. Como maioria das estruturas é capaz de resistir a um recalque diferencial máximo de 25mm a 40mm e radiers 50mm levando a recalques totais da ordem de 33 a 53mm e 66 para radiers.

**Argilas:** procedendo da mesma maneira que a areia, e aceitando-se um recalque diferencial máximo de projeto na ordem de 40mm, chegaram-se a valores limites de 65mm e para radiers 65 a 100mm.

### Recalques

-Deformações verticais que todas as fundações apresentam

-Fatores intervenientes: Carregamento não geostático (bulbo de tensões), propriedades do solo (pode ser afetado por fatores externos).

-Recalques totais

-Recalques diferenciais

-Distorções

## Cálculo de Recalques:

$R_{total} = R_{mediato} + R_{adensamento\ primário} + R_{adensamento\ secundário}$

R imediato – devido à distorções internas do solo – presente em todos os materiais;

R adensamento primário – devido a dissipação do excesso de poro pressão, típico de argilas moles saturadas (ocorre ao longo do tempo);

R adensamento secundário – devido a fluência do solo após a dissipação da poro-pressão

Como calcular cada parcela?

-Teoria da Elasticidade

-Teoria do Adensamento – analogia edométrico

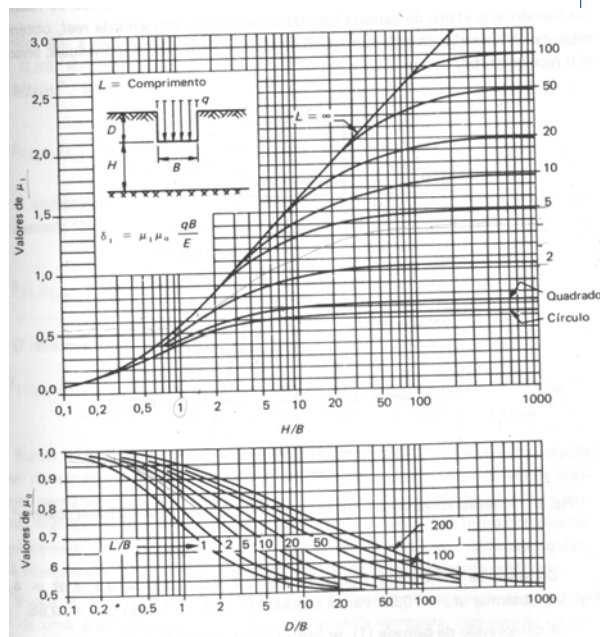
-Correlação

## Teoria da Elasticidade

$$\delta = qBI / E$$

Onde  $I = \mu_0 \mu_1$   
 $B$  = dimensão (menor)  
 $q$  = pressão contato  
 $E$  = módulo de Elasticidade

Exemplo





Entendidas as limitações do ensaio de SPT e a impossibilidade de prever com precisão valores de compressibilidade dos solos, deve-se considerar e tratar os métodos de previsão de recalques utilizando o SPT como procedimento empírico.

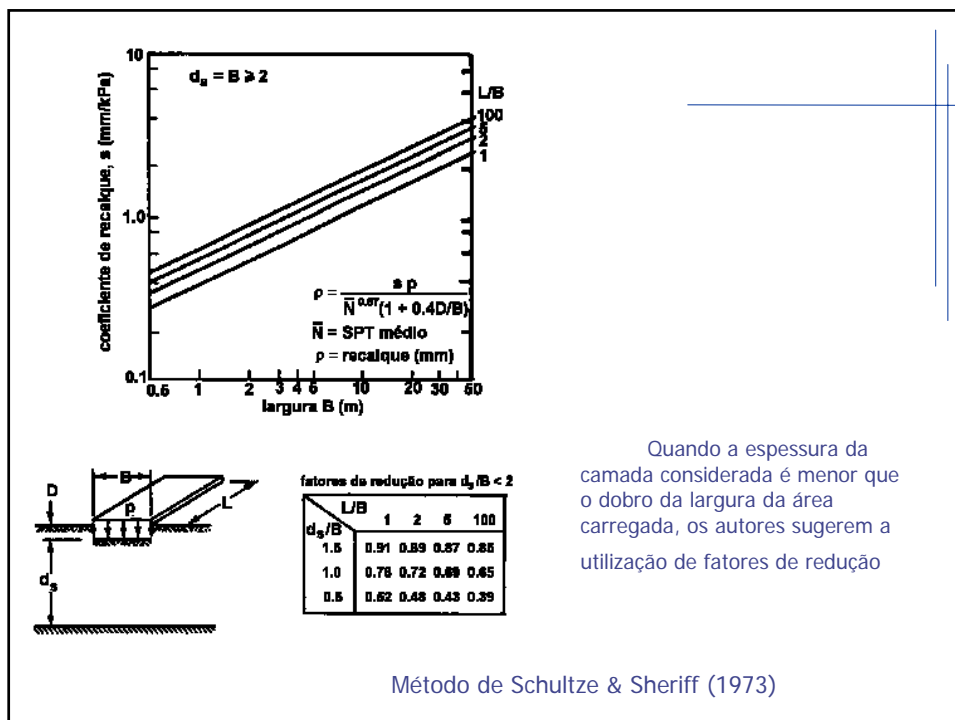
Nestas bases, métodos estatísticos tais como os proposto por Shultze & Sherif (1973), Burland, Broms & de Mello (1977), Burland & Burbidge (1985) são recomendados como forma de previsão do limite superior e do recalque médio de fundações superficiais em depósitos arenosos.

#### **Método SPT-Estatístico de Schultze & Sherif (1973)**

Utilizando correlações estatísticas entre recalques e SPT, os autores desenvolveram um método de estimativa de recalques. O método, utiliza-se dos seguintes elementos: comprimento, largura e profundidade da fundação, bem como da espessura da camada granular. A combinação dessas informações permite a obtenção do coeficiente S, utilizado posteriormente na equação para obtenção do recalque da área carregada.

$$H = \frac{SP}{N^{0,87} * [1 + (0,4 + D / B)]}$$

sendo S = coeficiente de recalque (cm<sup>3</sup>/kgf) H = recalque (cm) N = valor médio de SPT P = pressão de contato (kgf/cm<sup>2</sup>) D = profundidade da fundação (m) B = largura da fundação (m) L = comprimento da fundação (m) ds = espessura da camada (m)



## Método SPT-Estatístico de Burland, Brooms & de Mello (1977)

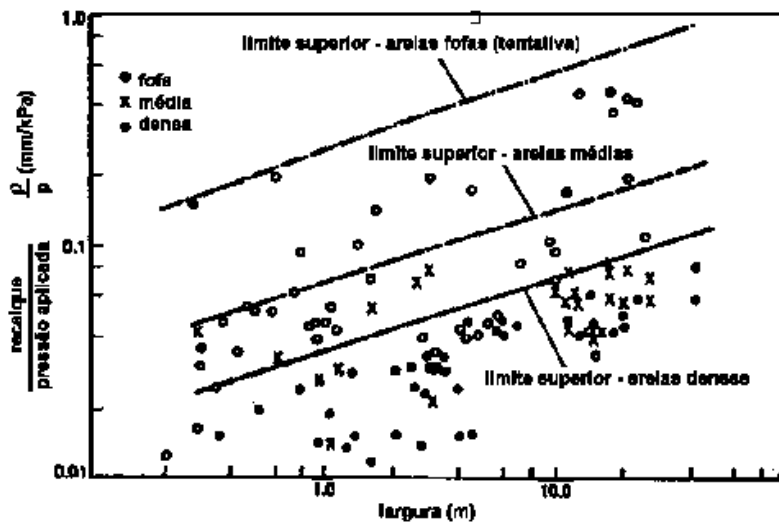
Burland e outros (1977) apresentaram em forma gráfica uma série considerável de casos relatados na literatura (Bjerrum & Eggstad, 1963; Parry, 1971; Davisson & Sally, 1972; Garga & Quin, 1974; Shultze & Sherif, 1973), propondo limites de recalques superiores  $H_{\max}$  para os casos de solos compactos e medianamente compactos, e uma sugestão de limite superior para a condição fofa. Foi proposto pelos autores que, nos casos de projeto de rotina, a figura poderia ser utilizada como indicação do recalque provável pela adoção de valor relativo de metade do máximo. Exprimindo os limites superiores como função da largura da fundação  $B(m)$ , obtem-se as seguintes equações

$$H_{\max} = q (0,32 B^{0.3}) \text{ areias fofas}$$

$$H_{\max} = q (0,07 B^{0.3}) \text{ areias medianamente compactas}$$

$$H_{\max} = q (0,035 B^{0.3}) \text{ areias compactas}$$

$$H_{\text{provável}} = 1/2 H_{\max} \quad \text{sendo } q \text{ expresso em } \text{kN/m}^2 \text{ e } H \text{ em mm.}$$



Método de Burland, Brooms e de Mello (1977)

### Método de SPT-Estatístico de Burland & Burbidge (1985)

Os autores compilaram registros de recalques em uma base de dados de mais de 100 casos de obra. O tratamento estatístico dos resultados permitiu definir um recalque médio em areias normalmente adensadas:

$$H = q' B^{0,7} I_c$$

sendo H = recalque (mm)

$q'$  = pressão média efetiva na fundação (kN/m<sup>2</sup>)

B = largura da fundação (m)

$I_c$  = índice de compressão (=  $1,71/N^{1,4}$ )

Na obtenção do índice de compressão é necessário, em dois casos particulares, corrigir a medida de  $N_{SPT}$ :

**[i] silte arenoso, abaixo do nível d'água**

$$N_{\text{corrigido}} = 15 + 0,5 (N_{\text{medido}} - 15), \text{ para } N > 15$$

**[ii] cascalho ou cascalho e areia**

$$N_{\text{corrigido}} = 1,25 N_{\text{medido}}$$

*Obrigado pela atenção!!!*

**LER Capítulo 2 – livro Velloso e Lopes (vol 1)**