

SAPATAS

AULA 02

CAPACIDADE DE CARGA

Victor S. Terra
Mecânica dos Solos e Fundações
2º Semestre/ 2015

CAPACIDADE DE CARGA

- ❖ A capacidade de carga de uma fundação é a sua carga máxima, acima da qual as deformações não mais se estabilizam.
- ❖ Esta carga limite é conhecida como carga última ou carga máxima.
- ❖ Carga de projeto: é definida como a carga última (P_u) dividida por um fator de segurança (FS):

$$P_{proj} = \frac{P_u}{FS}$$

- ❖ Em termos gerais, o FS sugerido pela Norma (NBR 6122/2010) é:
$$\begin{cases} FS = 3,0 \text{ (fundações rasas); e} \\ FS = 2,0 \text{ (fundações profundas).} \end{cases}$$

CAPACIDADE DE CARGA

Métodos de determinação da capacidade de carga

- ❖ Métodos Teóricos → calcula P_u por meio das propriedades de resistência do solo.
- ❖ Métodos Empíricos → calcula P_u a partir de um banco de dados nacional, ou até mesmo regional, se possível.
- ❖ Métodos Práticos → determina o valor de P_u por meio de provas de cargas.

CAPACIDADE DE CARGA

Métodos Teóricos

- ❖ Determinação da carga última por meio das propriedades de resistência do solo;
 - Coesão e ângulo de atrito: são obtidos por meio dos ensaios de cisalhamento direto e triaxial.
 - Peso específico: obtido por meio do ensaio de determinação da massa específica.

CAPACIDADE DE CARGA

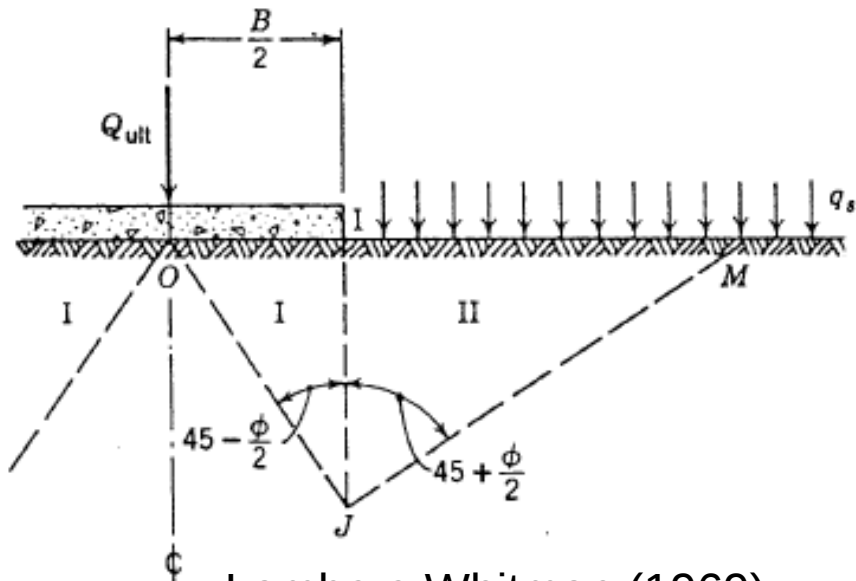
Métodos Teóricos

- ❖ Dentre as várias teorias adaptadas ao comportamento de solos, as principais empregadas na previsão da capacidade de carga de uma fundação são:
 - Equilíbrio limite;
 - Análise limite;
 - Linhas de escoamento;
 - Expansão de cavidade.

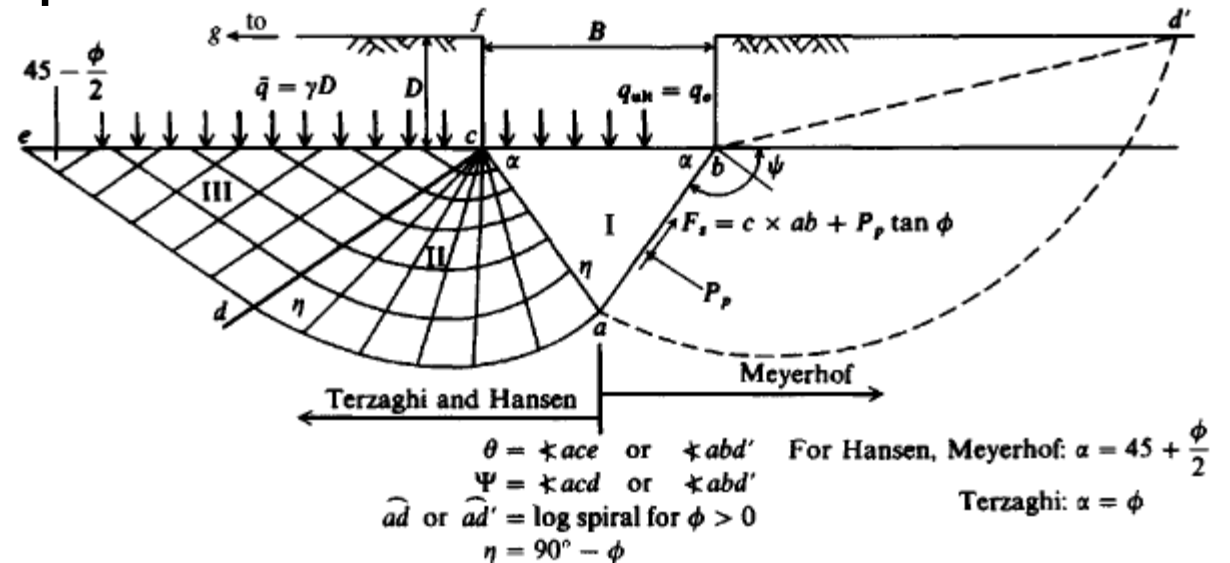
CAPACIDADE DE CARGA

Métodos Teóricos: Equilíbrio limite

- ❖ A superfície de ruptura é pré-estabelecida;
- ❖ O material é considerado como rígido e plástico.
- ❖ Descreve bem uma ruptura generalizada, podendo ser empregado muito bem para sapatas.



Lambe e Whitman (1969)



Terzaghi and Hansen
Meyerhof
For Hansen, Meyerhof: $\alpha = 45 + \frac{\phi}{2}$
Terzaghi: $\alpha = \phi$
 $\theta = \angle ace$ or $\angle abd'$
 $\Psi = \angle acd$ or $\angle abd'$
 $\widehat{ad}$ or $\widehat{ad'}$ = log spiral for $\phi > 0$
 $\eta = 90^\circ - \phi$

Bowles (1996)

MÉTODOS TEÓRICOS: EQUILÍBRIO LIMITE

Teoria de Terzaghi (1943)

❖ A tensão última é encontrada por meio da seguinte equação:

$$q_u = c N_c + q N_q + \left(\frac{1}{2}\right) \gamma B N_\gamma$$

Onde:

q_u = tensão última ou máxima (kPa);

c = coesão do solo (kPa);

γ = peso específico do solo sob a fundação (kN/m³);

B = menor dimensão da fundação (m);

N_c, N_q, N_γ = fatores de capacidade de carga (função do ângulo de atrito do solo).

MÉTODOS TEÓRICOS: EQUILÍBRIO LIMITE

Teoria de Terzaghi (1943)

ϕ'	N_q	N_c	N_γ
28	17.81	31.61	15.7
30	22.46	37.16	19.7
32	28.52	44.04	27.9
34	36.50	52.64	36.0
35	41.44	57.75	42.4
36	47.16	63.53	52.0
38	61.55	77.50	80.0
40	81.27	95.66	100.4
42	108.75	119.67	180.0
44	147.74	151.95	257.0
45	173.29	172.29	297.5
46	204.19	196.22	420.0
48	287.85	258.29	780.1
50	415.15	347.51	1153.2

ϕ'	N_q	N_c	N_γ
0	1.00	5.70	0.0
2	1.22	6.30	0.2
4	1.49	6.97	0.4
6	1.81	7.73	0.6
8	2.21	8.60	0.9
10	2.69	9.60	1.2
12	3.29	10.76	1.7
14	4.02	12.11	2.3
16	4.92	13.68	3.0
18	6.04	15.52	3.9
20	7.44	17.69	4.9
22	9.19	20.27	5.8
24	11.40	23.36	7.8
26	14.21	27.09	11.7

MÉTODOS TEÓRICOS: EQUILÍBRIO LIMITE

Teoria de Terzaghi (1943)

Exemplo 01: Considere uma sapata com base 2x3 m a uma profundidade de 1,8 m. Calcule a carga que levaria esta sapata a ruptura. Dados: $c = 10 \text{ kPa}$; $\phi = 30^\circ$; $\gamma = 16,2 \text{ kN/m}^3$.

$$q_u = c N_c + q N_q + \left(\frac{1}{2}\right) \gamma B N_\gamma = c N_c + (\gamma z) N_q + \left(\frac{1}{2}\right) \gamma B N_\gamma$$

$$q_u = 10 \times 37,16 + (16,2 \times 1,8) \times 22,46 + \frac{1}{2} \times 16,2 \times 2 \times 19,7$$

$$q_u = 371,6 + 654,93 + 319,14$$

$$q_u = 1345,67 \text{ kPa}$$

MÉTODOS TEÓRICOS: EQUILÍBRIO LIMITE

Teoria de Terzaghi (1943)

Exemplo 01: Considere uma sapata com base 2x3 m a uma profundidade de 1,8 m. Calcule a carga que levaria esta sapata a ruptura. Dados: $c = 10 \text{ kPa}$; $\phi = 30^\circ$; $\gamma = 16,2 \text{ kN/m}^3$.

$$q_u = 1345,67 \text{ kPa}$$

$$P_u = q_u A_{\text{sapata}}$$

$$P_u = 1345,67 \times (2 \times 3) = 8074,02 \text{ kN}$$

$$P_{\text{proj}} = \frac{P_u}{FS} = \frac{8074,02}{3} = 2691,34 \text{ kN}$$

MÉTODOS TEÓRICOS: EQUILÍBRIO LIMITE

Teoria de Terzaghi (1943)

Exemplo 02: Um pilar com uma carga de projeto (P_{proj}) de 2000 kN terá como fundação uma sapata situada a uma profundidade de 1,8 m. Calcule a área da base da sapata.

Dados: $c = 10$ kPa; $\phi = 30^\circ$; $\gamma = 16,2$ kN/m³.

- ✓ Considerando uma sapata quadrada, tem-se:

$$P_{proj} = \frac{P_u}{FS} = \frac{q_u A_{sapata}}{FS}$$
$$P_u = \frac{P_{proj} FS}{A_{sapata}} = \frac{2000 \times 3}{B^2} = \frac{6000}{B^2}$$

MÉTODOS TEÓRICOS: EQUILÍBRIO LIMITE

Teoria de Terzaghi (1943)

Exemplo 02:

$$P_u = \frac{6000}{B^2} = c N_c + q N_q + \left(\frac{1}{2}\right) \gamma B N_\gamma$$

$$\frac{6000}{B^2} = 10 \times 37,16 + (16,2 \times 1,8) \times 22,46 + \frac{1}{2} \times 16,2 \times B \times 19,7$$

$$6000 = 1026,53 B^2 + 159,57 B^3$$

$$f(B = 2,0 \text{ m}) = 5382,68 \quad \leftarrow \text{Não atende o FS!}$$

$$f(B = 2,1 \text{ m}) = 6004,78$$

MÉTODOS TEÓRICOS: EQUILÍBRIO LIMITE

Teoria de Terzaghi (1943)

Para corrigir algumas hipóteses iniciais, o acréscimo de alguns fatores foram propostos na equação original. Entre eles, destacam-se:

- a) Correção de forma;
- b) Compressibilidade do solo;
- c) Fator de embutimento;
- d) Posição do nível d'água (NA);
- e) Outros.

MÉTODOS TEÓRICOS: EQUILÍBRIO LIMITE

Teoria de Terzaghi (1943)

a) **Fator de forma**: sempre que a sapata não for corrida ($3B > L$), deve-se corrigir a equação original.

$$q_u = c N_c S_c + q N_q S_q + \left(\frac{1}{2} \right) \gamma B N_\gamma S_\gamma$$

	Terzaghi
S_c	1,3
S_q	1,0
S_γ	0,8 – sapata quadrada ou retangular 0,6 – sapata circular

MÉTODOS TEÓRICOS: EQUILÍBRIO LIMITE

Teoria de Terzaghi (1943)

b) Compressibilidade do solo: para solos compressíveis (areias fofas e argilas moles), deve-se corrigir a equação original.

Usa-se:
$$\begin{cases} c^* = \frac{2}{3} c \\ \operatorname{tg} \phi^* = \frac{2}{3} \operatorname{tg} \phi \end{cases}$$

Com os parâmetros reduzidos, entra-se nas tabelas originais e resolve-se a equação de Terzaghi.

MÉTODOS TEÓRICOS: EQUILÍBRIO LIMITE

Teoria de Terzaghi (1943)

c) Fator de Embutimento:

$H \leq 3B \rightarrow$ Equação de Terzaghi funciona;

$H > 3B \rightarrow$ Deve-se trocar de teoria.

Exemplo 03: Determinar as dimensões de uma sapata à 2 m de profundidade que recebe uma carga de 1200 kN.

Dados: Areia fofa, $c = 5$ kPa; $\phi = 28^\circ$; e $\gamma = 15,2$ kN/m³.

MÉTODOS TEÓRICOS: EQUILÍBRIO LIMITE

Teoria de Terzaghi (1943)

Exemplo 03: Determinar as dimensões de uma sapata à 2 m de profundidade que recebe uma carga de 1200 kN.

Dados: Areia fofa, $c = 5 \text{ kPa}$; $\phi = 28^\circ$; e $\gamma = 15,2 \text{ kN/m}^3$.

Solução: Considerando uma sapata quadrada:

❖ Verificação do Fator de Embutimento:

$$H \leq 3B$$

$2,0 \text{ m} \leq 3B \rightarrow$ Desde que $B \geq 0,67\text{m}$ a equação de Terzaghi pode ser empregada.

MÉTODOS TEÓRICOS: EQUILÍBRIO LIMITE

Teoria de Terzaghi (1943)

Exemplo 03:

❖ Areia fofa → corrigir compressibilidade:

$$c^* = \frac{2}{3} \times 5 = 3,33 kPa$$

$$N_c = 17,15$$

$$\operatorname{tg} \phi^* = \frac{2}{3} \operatorname{tg} 28^\circ = 0,355$$

$$N_q = 7,09$$

$$\phi^* = \operatorname{arctg}(0,355) = 19,5^\circ$$

$$N_\gamma = 4,65$$

❖ Fator de forma:

$$S_c = 1,3; S_q = 1,0; S_\gamma = 0,8 \text{ (sapata quadrada)}$$

MÉTODOS TEÓRICOS: EQUILÍBRIO LIMITE

Teoria de Terzaghi (1943)

Exemplo 03:

$$q_u = c N_c S_c + q N_q S_q + \left(\frac{1}{2} \right) \gamma B N_\gamma S_\gamma$$

$$q_u = FS q_{proj} = \frac{3 \times 1200}{B^2}$$

$$\frac{3600}{B^2} = 3,33 \times 17,15 \times 1,3 + (2 \times 15,2) \times 7,09 \times 1,0 + \frac{1}{2} \times 15,2 \times B \times 4,65 \times 0,8$$

$$3600 = 289,78 B^2 + 28,27 B^3$$

$$f(B = 3,0) = 3371,31$$

$$f(B = 3,1) = 3626,98$$

$$\therefore B = 3,1m$$