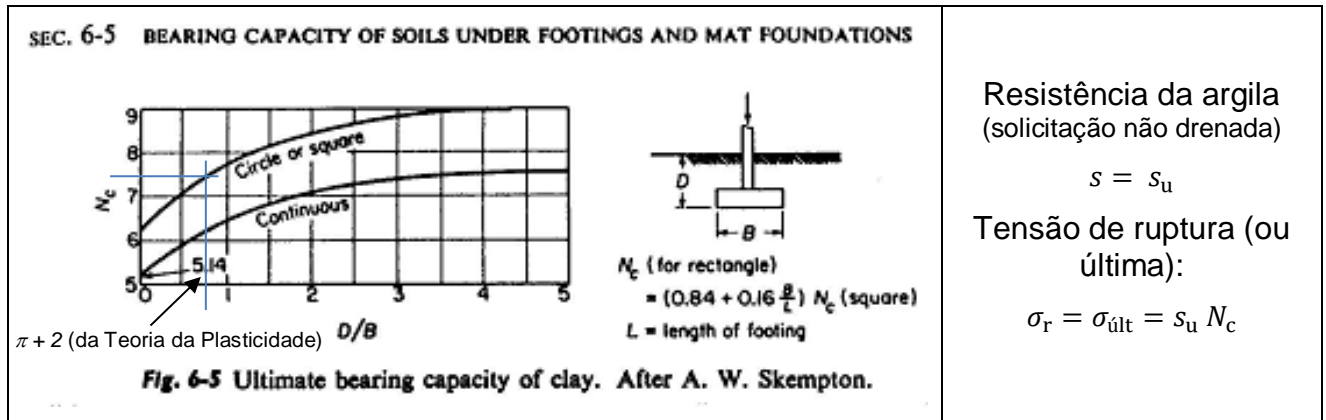


ELU de fundações: equilíbrio limite, Skempton, Terzaghi, Meyerhof

1. Sapata quadrada de 2,0 m de lado, apoiada 1,50 m abaixo do nível do terreno de solo argiloso, cuja envoltória de resistência, obtida a partir de ensaios UU (não adensados, não drenados), é $s_u = 120$ kPa, com NA a 7 m de profundidade. Calcule a tensão de ruptura (ELU).



Resposta: $\sigma_r \cong 900$ kPa

Comparar valores lidos no gráfico do exercício 1 com os correspondentes no gráfico e nas expressões do exercício 2, inclusive a relação entre os fatores para sapata contínua e para sapata circular (ou quadrada). Todas essas soluções têm origem na Teoria da Plasticidade (interessante ler capítulo 4 do “Fundações”, do Velloso e Lopes). Uma forma simplificada de deduzir essas expressões (exata sob algumas condições) é através do chamado “equilíbrio limite”, isto é, equilíbrio na iminência de ruptura. Nessa situação o estado de tensão em cada ponto de uma superfície potencial de ruptura (como aquelas apresentadas nas figuras do exercício 2) é um estado de tensão no limiar da resistência do material.

Estudar capítulo 15 (e anteriores, se necessário) do Carlos Pinto. Velocidade de carregamento típica da construção não permite drenagem em certos solos argilosos (depende do c_v , coeficiente de adensamento – capítulo 10), daí a utilização de s_u .

2. Mesmo exercício anterior, porém em areia com ângulo de atrito $\phi' = 30^\circ$.

Que efeito representa cada um dos três termos das expressões? Resposta: efeito da coesão + efeito do embutimento + efeito da menor dimensão da sapata (essencial reconhecer isso nas expressões).

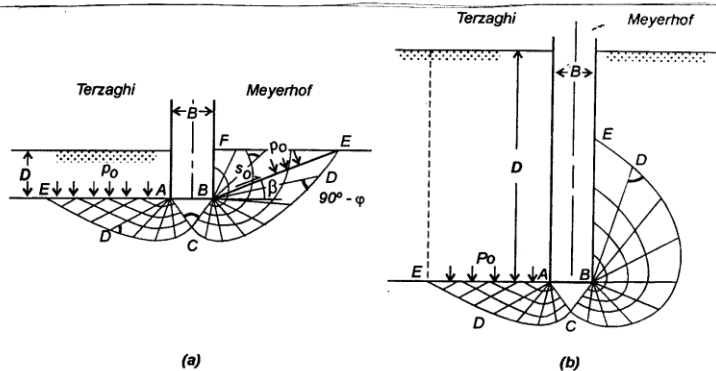
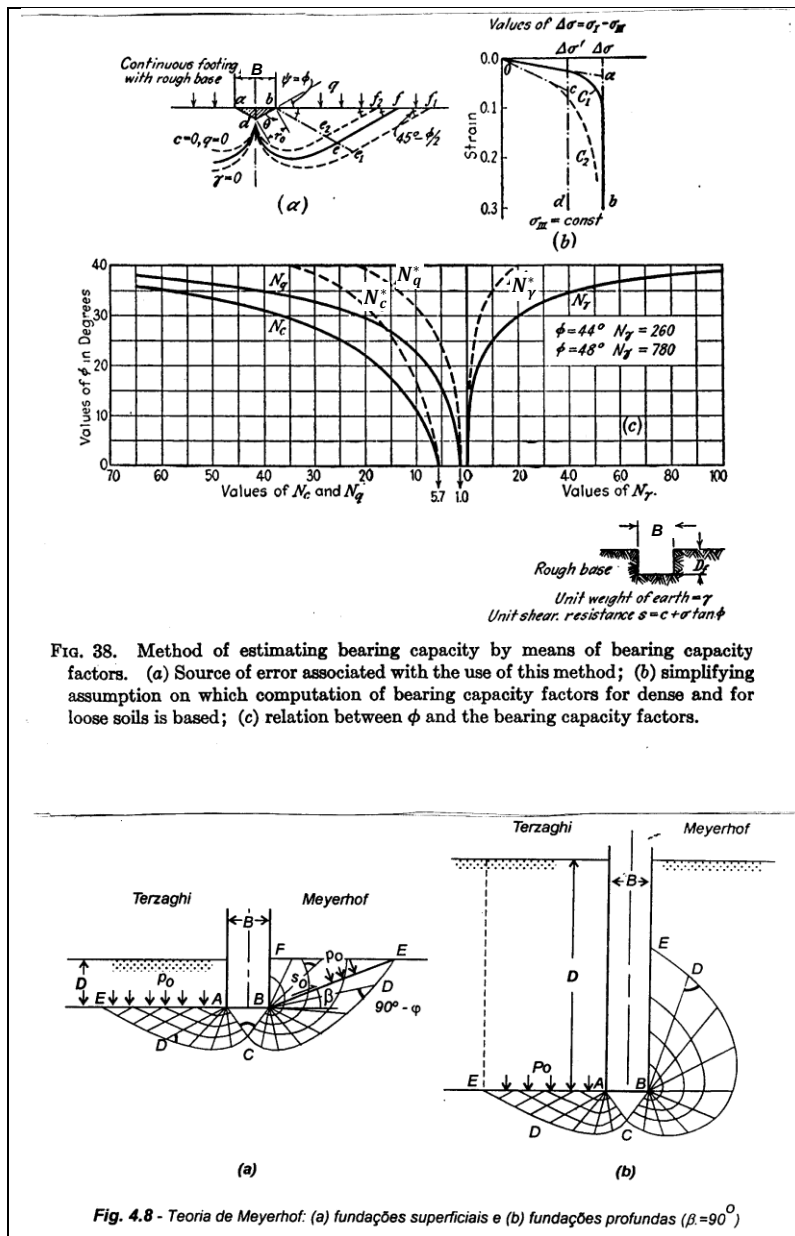
Estudar capítulo 15 do Braja Das.

Peso específico da areia? Tipicamente entre 18 e 21 kN/m³. Adotar 20 kN/m³.

Areia “pura”, material não coesivo ($c = 0$), francamente drenante (c_v muito elevado). Rever tabela 13.1 do Carlos Pinto.

Resposta: $\sigma_r \cong 901$ kPa (ruptura geral; se se admitir que a areia está mais fofa e que, portanto, a ruptura será local, o valor será bem menor, da ordem de 274 kPa; verifique!). Estes resultados foram obtidos com a utilização do gráfico da página seguinte.

Se utilizar a **planilha Excel disponível no Moodle**, com os valores dos fatores N_c , N_q e N_γ calculados pelas suas expressões mais atualizadas, $\sigma_r \cong 764$ kPa (ruptura geral).



Resistência do solo genérico

$$s = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi$$

Obs.: escolher valores apropriados de c e de φ de acordo com o tipo de sollicitação (CD, CU ou UU)

Sapata corrida

$$\sigma_r = c N_c + \gamma D N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma$$

Sapata circular (~ quadrada com mesma área)

$$\sigma_r = 1,3 c N_c + \gamma D N_q + 0,6 \gamma R N_\gamma$$

Expressões acima válidas para ruptura geral.

Para ruptura local, Terzaghi sugeriu adotar, naquelas expressões:

$$c^* = \frac{2}{3} c \quad \text{e} \quad \operatorname{tg} \varphi^* = \frac{2}{3} \operatorname{tg} \varphi$$

Daí surgiram as curvas tracejadas de N_c^* , N_q^* e N_γ^* do gráfico.

Diferença entre Terzaghi e Meyerhof está em considerar que o material até a profundidade D é apenas sobrecarga (Terzaghi) ou material resistente (Meyerhof). Quando D é grande (fundações profundas), diferença pode ser importante.

3. Influência do NA.

3.1. Como mudariam os resultados dos exercícios 1 e 2 se o NA estivesse a 1,5 m de profundidade?

3.2. E se estivesse a 0,5 m de profundidade?

No solo argiloso do exercício 1 nada muda (sollicitação não drenada, resistência independente da pressão neutra de regime permanente).

Na areia do exercício 2, lembre-se de que tensões efetivas é que controlam a resistência. De acordo com a posição do NA em relação à base da sapata e à superfície de escorregamento, e considerando o seu efeito nas tensões de cada parcela das expressões de σ_r (discutidas acima), decida onde utilizar γ e onde utilizar $\gamma_{\text{sub}} = \gamma' = \gamma - \gamma_w$:
 NA a 1,5 m de profundidade. Resposta: $\sigma_r \cong 765$ kPa (fatores do gráfico) ou $\sigma_r \cong 658$ kPa (fatores da planilha)

NA a 0,5 m de profundidade. Resposta: $\sigma_r \cong 555$ kPa (fatores do gráfico) ou $\sigma_r \cong 474$ kPa (fatores da planilha)

Atenção, portanto, a variações sazonais do NA!

4. Aprofundar a sapata ou aumentar suas dimensões para aumentar a segurança contra ELU?
- 4.1. No exercício 1, o que seria mais eficaz? Por que?
- 4.2. E no exercício 2? Por que?
- Para responder, analise as expressões de σ_r e os gráficos.

No solo argiloso do exercício 1, dimensão da sapata não afeta diretamente a tensão de ruptura (na verdade afeta, mas apenas pela dimensão relativa do embutimento D , isto é, D/B). Aprofundar é mais eficiente, já que aumentar B reduziria D/B e, portanto, N_c . Na areia do exercício 2 aprofundar também é mais eficiente, mas em outras areias vai depender do ângulo de atrito (**comparar curvas de N_q e de N_γ**) e da profundidade do NA (tensões **efetivas** controlam!).

Resumo: de maneira geral, em solo homogêneo aprofundar é sempre bom para aumentar a segurança, mas há um limite para esse ganho (vide, inclusive, as assíntotas horizontais das curvas da figura do **primeiro** exercício).

Além disso, ter em mente que a discussão acima aplica-se a material homogêneo em profundidade. Se a resistência do material aumentar com a profundidade, o ganho é ainda maior, mas se diminuir (ou se houver uma camada de solo mole, ou se for atingido o NA em solo arenoso), aprofundar pode ser prejudicial.