



Departamento de Construção Civil
Curso de Engenharia Civil



Geotecnia de Fundações TC 041

8º Semestre

Organizado por:

Profa. Caroline Tomazoni Santos

Prof. Eduardo Dell'Avanzi

Profa. Liamara Paglia Sestrem

Prof. Vítor Pereira Faro

Eng. Civil Isabel Cristina Salah, Mestranda PPGECC

Eng. Civil Isabela Grossi da Silva, Mestranda PPGECC

1



CARGA HORIZONTAL EM ESTACAS

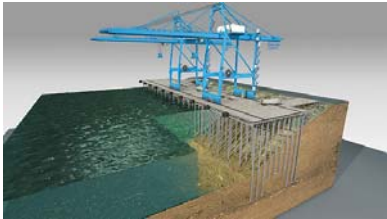
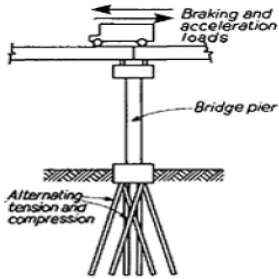


2

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Carregamento horizontal em estacas



Braking and acceleration loads

Bridge pier

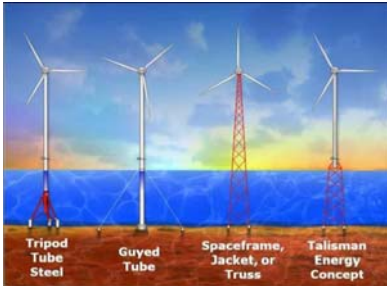
Alternating tension and compression

GEGEO UFPR

3

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Carregamento horizontal em estacas



Tripod
Tube Steel

Guyed
Tube

Spaceframe,
Jacket, or
Truss

Talisman
Energy
Concept

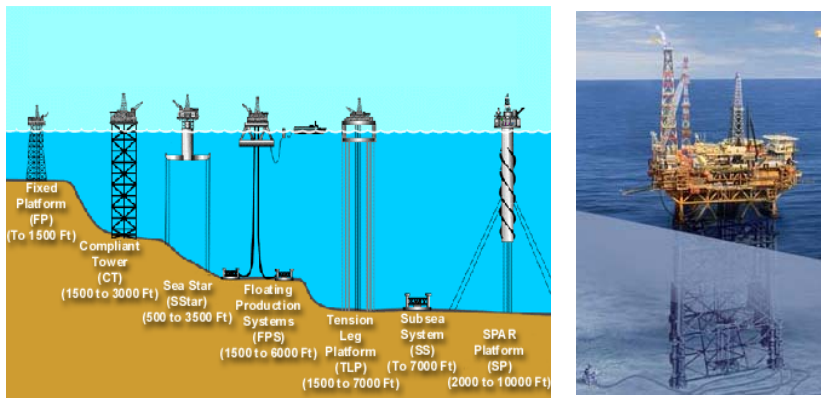


GEGEO UFPR

4

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Carregamento horizontal em estacas



O diagrama ilustra sete tipos de plataformas offshore: Fixed Platform (FP) (To 1500 Ft), Compliant Tower (CT) (1500 to 3000 Ft), Sea Star (SStar) (500 to 3500 Ft), Floating Production Systems (FPS) (1500 to 6000 Ft), Tension Leg Platform (TLP) (1500 to 7000 Ft), Subsea System (SS) (To 7000 Ft) e SPAR Platform (SP) (2000 to 10000 Ft). À direita, uma fotografia mostra uma plataforma offshore real no mar.

GEGEO UFPR

5

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Carregamento horizontal em estacas

EDIFÍCIO EM XANGAI

- Em 2009 um edifício de 13 andares, ainda em fase de construção, caiu em Xangai, na China.



GEGEO UFPR

6



9

Recomendações da NBR 6122

- **7.6.3.3.** Para equilibrar a força horizontal que atua sobre uma fundação em sapata ou bloco, pode-se contar com o empuxo passivo, desde que se assegure que o solo não venha a ser removido. O valor calculado do empuxo passivo deve ser reduzido por um coeficiente de no mínimo igual a dois.

The image block contains a slide with the title 'Recomendações da NBR 6122' and a single bullet point. The bullet point describes the recommendation for using passive earth pressure to balance horizontal forces on foundations. The logo of UFPR (Universidade Federal do Paraná) is in the top left corner, and the logo of GEGEO UFPR is in the bottom right corner.

10



Recomendações da NBR 6122

- **8.4.2** Esforços transversais: Quando uma estaca ou tubulão ou grupo de estacas está sujeito a esforços horizontais ou momentos, pode ocorrer a plastificação do solo ou do elemento estrutural, o que deve ser considerado no projeto, levando-se em consideração as deformações respectivas.
- **8.4.4** Efeito de carregamento assimétrico sobre solo mole: Estacas ou tubulões (isolados ou em grupo) implantados através de camada de argila mole, submetidos a carregamento de aterro assimétrico, ficam sujeitos a esforços horizontais que devem ser considerados no dimensionamento das fundações.



11



Recomendações da NBR 6122

- **E.3.3** Colocação da armadura: No caso de estacas submetidas a esforços de tração, horizontais ou momentos, a armadura deve ser colocada no furo antes da concretagem e presa na superfície de acordo com a cota de arrasamento.



12

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Carregamento horizontal em estacas

- Alternativas:
 - Estacas inclinadas: dificuldade de execução
 - Estacas verticais: absorver os esforços de flexo-compressão e/ou flexo-tração
- Avaliar:
 - Resistência Última do Solo
 - Carga Última do Elemento Estrutural
 - Deflexão Máxima
- Verificar condições de Rigidez do Sistema:
 - Sistema Rígido – Deflexões na estaca não são problema

GEGEO UFPR

13

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Carregamento horizontal em estacas

- Classificação quanto à rigidez:

Estacas Rígidas

Estacas Semi-Rígidas

Estacas Flexíveis





GEGEO UFPR

14

UFPR

Carregamento horizontal em estacas

- Classificação quanto ao topo:

Estaca engastada

Estaca não-engastada

GEGEO UFPR

15

UFPR

Carregamento horizontal em estacas

MÉTODO DE WINKLER (1867)

- Comportamento Tensão – Deflexão

MODELO DE WINKLER

(a)

(b)

$p = k_h y$

GEGEO UFPR

16

Carregamento horizontal em estacas

- Modelos de Reação do solo – coeficientes de reação horizontal – K_h ;
- O coeficiente de reação horizontal pode ser constante ou variar com a profundidade z
 - m_h = taxa de crescimento de k_h

$$k_h = m_h z$$
 - n_h = taxa de crescimento de k_h , incluindo a dimensão transversal¹

$$k_h = n_h \frac{z}{B} \quad n_h = m_h B$$



17

Carregamento horizontal em estacas

- Coeficiente de reação do solo:
- (Terzaghi 1955) - Argilas Pré Adensadas (K_h constante com profundidade)

Consistência	RCS (kPa)	Faixa de K_h (Mpa)	Valor provável (Mpa)
Média	20 a 40	0,7 – 4,0	0,8
Rija	100 a 200	3,0 – 6,5	5,0
Muito Rija	200 a 400	6,5 – 13,0	10,0
Dura	>400	>13,0	20,0

- ❖ Válidos para tensões até metade da tensão de ruptura do solo.



18

Carregamento horizontal em estacas

- Coeficiente de reação do solo:
- (Terzaghi 1955) - Areias e Argilas Normalmente Adensadas (K_h cresce com profundidade) – n_h (F/L^3)

Densidade	Acima do NA	Abaixo do NA
Fofa ($4 < N_{SPT} < 10$)	2,2	1,3
Med. Compacta ($10 < N_{SPT} < 30$)	6,6	4,4
Compacta ($30 < N_{SPT} < 50$)	18,0	11,0
Silte muito fofo	-	0,1 – 0,3
Argila mole	-	0,55

*Valores em MN/³



19

Carregamento horizontal em estacas

- Coeficiente de reação do solo:
- (Terzaghi 1955)
 - Argilas NA – Longo Prazo:

$$K_h = 67 S_u$$
 - Argilas NA – Curto Prazo (CIRIA 1984):

$$\frac{K_h}{S_u} = 200 \text{ a } 400$$
 - Se houver E para o solo:

$$K_h = 0,74 \frac{E}{B}$$



20

Carregamento horizontal em estacas

- Coeficiente de reação do solo:
- Pyke & Beiake (1985) sugerem que o valor de E seja o módulo secante correspondente à metade da solicitação máxima de trabalho, determinando o K_h :

$$K_h = 1,6E \quad a \quad 2,0E$$
- Faro (2014) afirma que diversos autores compararam o módulo de elasticidade com o módulo de reação à relação:

$$K_h = 0,8E \quad a \quad 1,8E$$



21

Carregamento horizontal em estacas

MÉTODO DE HETENYI (1956)

- Coeficiente de reação horizontal **constante** com a profundidade
 - Viga elástica, de comprimento semi-infinito

$$\lambda L > 4$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{k_h B}{4E_p I}} = \sqrt[4]{\frac{K_h}{4E_p I}} \Rightarrow \text{Rigidez relativa solo-estaca}$$

Sendo:
 E_p = módulo elasticidade material da estaca
 I = momento de inércia da seção transversal da estaca

Deslocamento topo da estaca: $y_o = \frac{2H\lambda}{K_h} + \frac{2M\lambda^2}{K_h}$

Momento máximo em $z = 0,7/\lambda$: $M_{\max} = 0,32 \frac{H}{\lambda} + 0,7M$



22



Carregamento horizontal em estacas

MÉTODO DE BROMS (1965)

- Capacidade de carga última do sistema solo – estaca
 - deformações para a carga de trabalho sejam de tal ordem que não prejudiquem o funcionamento da fundação ou superestrutura

- Coefficientes de minoração e majoração:

Majorações		Reduções	
Cargas Permanentes	1,50	Coesão	75% c'
Cargas Acidentais	2,00	Ângulo de Atrito	75% $\tan \phi'$
Profundidade de Erosão	1,25 a 1,50		

- Diferentes formulações para diferentes tipos de solo e estaca;



23



Carregamento horizontal em estacas

- Exemplo: estacas curtas com topo livre em argilas

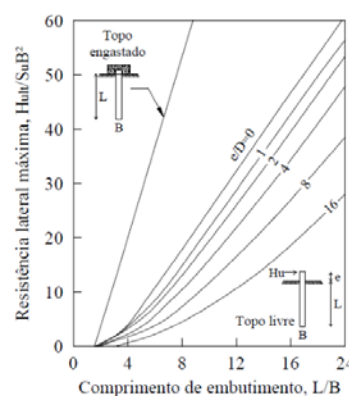
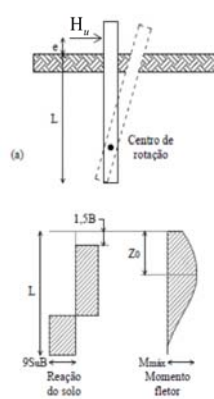
$$M_{\max} = H_u(e + 1,5B + 0,5z_0)$$

$$M_{\max} = 2,25BS_u(L - 1,5B - z_0)^2$$

$$z_0 = \frac{H_u}{9S_uB}$$

S_u = Resistência não drenada

B = Diâmetro da estaca.

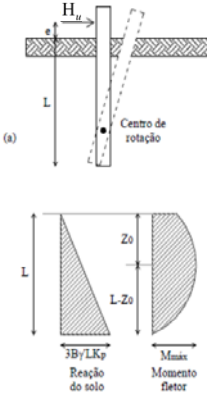
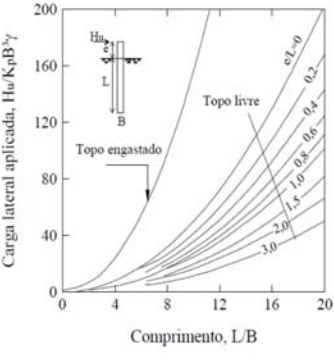


24

Carregamento horizontal em estacas

- Exemplo: estacas curtas com topo livre em areia

$$H_u = \frac{0,5\gamma BL^3 K_p}{e + L}$$

$$K_p = tg^2\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right)$$



GEGEO UFPR

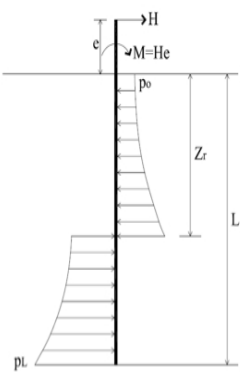
25

Carregamento horizontal em estacas

MÉTODO DE BRINCH HANSEN (1961)

- Capacidade de carga última do sistema solo – estaca
 - Estacas Curtas/Rígidas

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow H_u = \int_0^{Z_i} p_u B dz - \int_{Z_i}^L p_u B dz$$

$$\sum M = 0 \Rightarrow M_u = - \int_0^{Z_i} p_u B Z dz + \int_{Z_i}^L p_u B Z dz$$


GEGEO UFPR

26

Carregamento horizontal em estacas

- Tensões do solo aumentam com a profundidade

$$p_u = qK_q + cK_c$$

q é a sobrecarga de solo em z ;
 c é a coesão do solo
 K_p e K_c são fatores em função de ϕ' e z/B (profundidade/diâmetro da estaca)

GEGEO UFPR

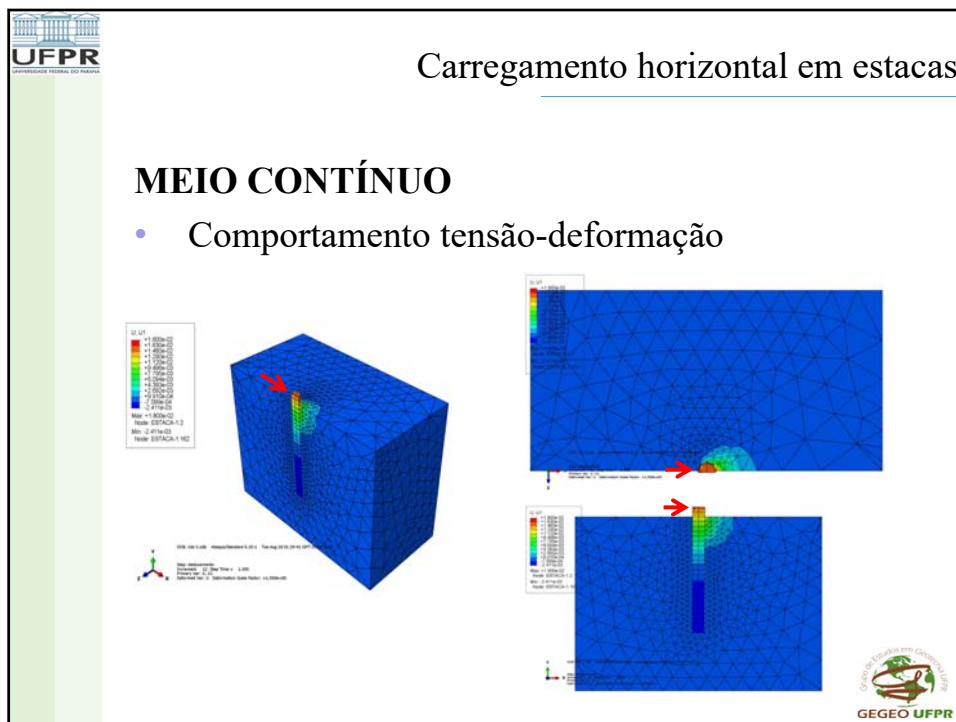
27

Carregamento horizontal em estacas

- Vantagens do método:
 - Aplicabilidade em solos coesivos e coesivo-friccionais;
 - Permite considerar as estratificações do solo, com a segmentação dos limites dos integrais nas equações de equilíbrio.
- Desvantagens do método:
 - Aplica-se somente a estacas curtas (razão $L/B < 20$);
 - Considera rotações ao invés de considerar a formação de rótulas plásticas no elemento estrutural;
 - Solução feita por tentativa e erro.

GEGEO UFPR

28



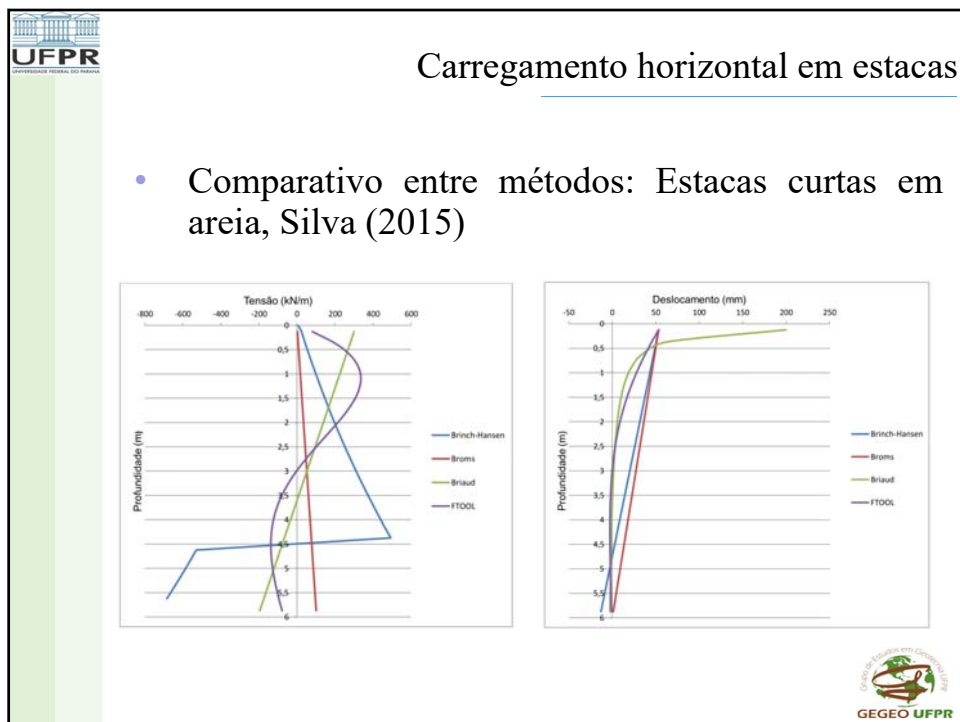
29

Carregamento horizontal em estacas

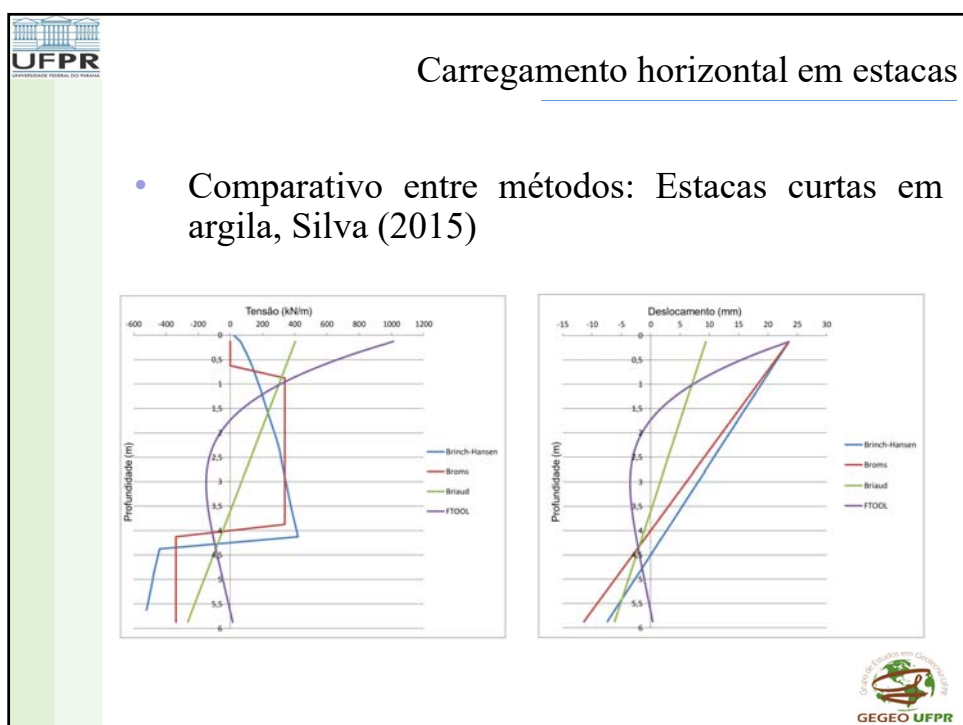
Hipótese	Vantagens	Desvantagens
Winkler	1) É relativamente simples. 2) Pode incorporar não linearidades; variação do coeficiente de reação com a profundidade; aplicação a solo estratificado. 3) É usado na prática há muito tempo.	1) Ignora a continuidade do solo. 2) O coeficiente de reação não é uma propriedade do solo, pois depende das dimensões da estaca e do seu deslocamento.
Meio contínuo	1) É uma hipótese mais realista. 2) Pode fornecer soluções para módulo variável com a profundidade e solos estratificados.	1) É difícil determinar as deformações em um problema prático e o módulo do solo que a elas corresponde. 2) Requer mais experiências de campo.

GEGEO UFPR

30



31



32

