



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 PPGCECC

Eng. Civil Isabela Grossi da Silva, Mestranda PPGCECC

1



Sumário

- Esta aula aborda os temas:
 - Mecanismos de transferência de carga;
 - Grupo de estacas.



2



MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA

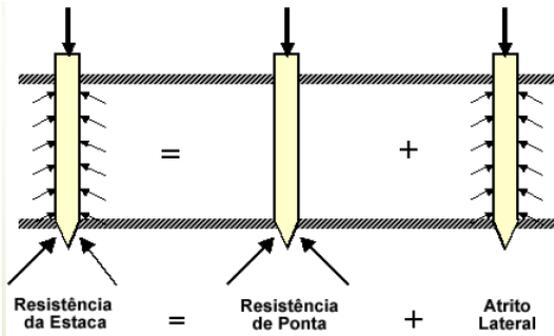


3



Transferência de carga em estacas

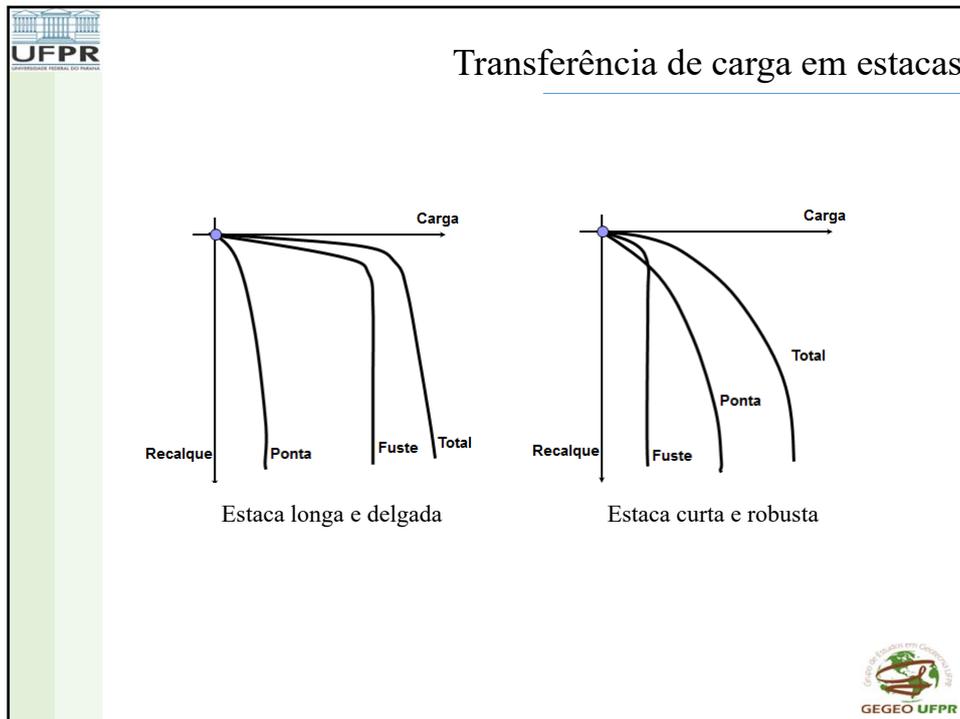
- Podem trabalhar por:
 - Ponta;
 - Atrito + ponta;
 - Atrito;



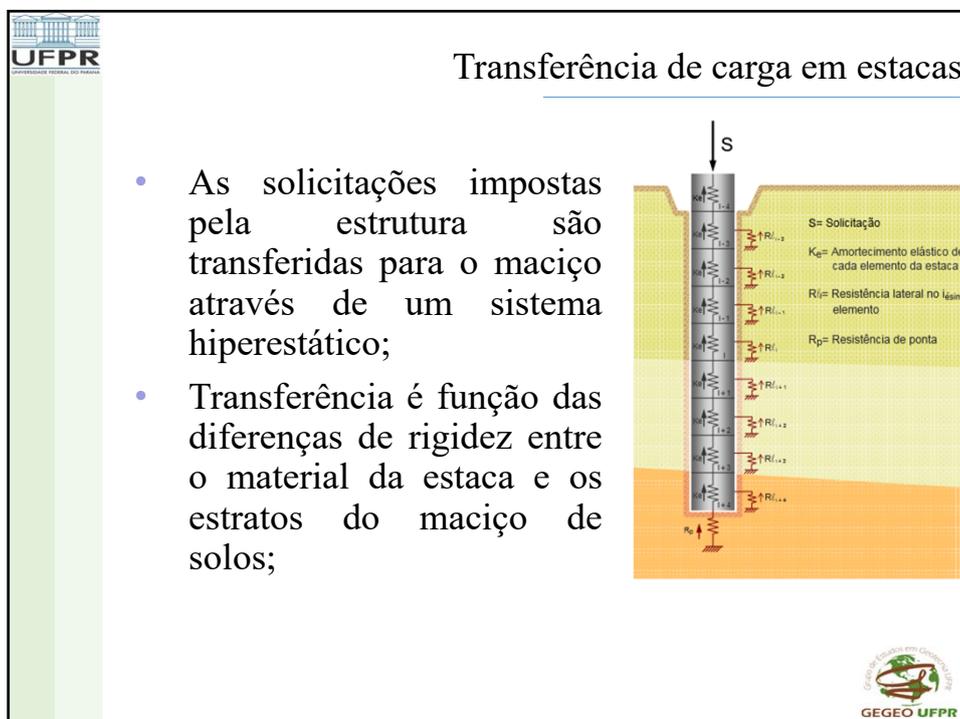
Resistência da Estaca = Resistência de Ponta + Atrito Lateral



4



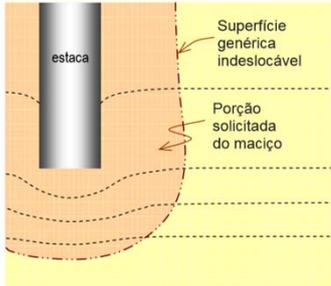
5



6

Transferência de carga em estacas

- A transferência não se dá unicamente na interface estaca-solo, mas ao longo de um volume de solo, devido à continuidade do meio, com deslocamentos inversamente proporcionais à distância da interface, até uma superfície tida como indeslocável.



GEGEO UFPR

7

Transferência de carga em estacas

- Para a mobilização da resistência de ponta é necessário que o atrito lateral tenha sido mobilizado, uma vez que isso ocorre para pequenos deslocamentos, ao contrário da resistência de ponta;
- A resistência de ponta deve ser analisada para cada tipo de estaca;
- Em estacas escavadas, no geral, **não é possível garantir a qualidade da ponta** devido ao amolgamento do solo na base da escavação.

GEGEO UFPR

8



Transferência de carga em estacas

- A resistência de ponta fica reduzida e, portanto, **é necessário ter cautela ao considerar esse valor na capacidade de carga da estaca**, à critério do projetista;
- Em geral, a resistência de ponta não deve ser superior a 20% da resistência latera, independente do tipo de estaca;
- Para estacas escavadas, pode-se desconsiderar o valor da resistência de ponta na capacidade de carga da estaca.



9

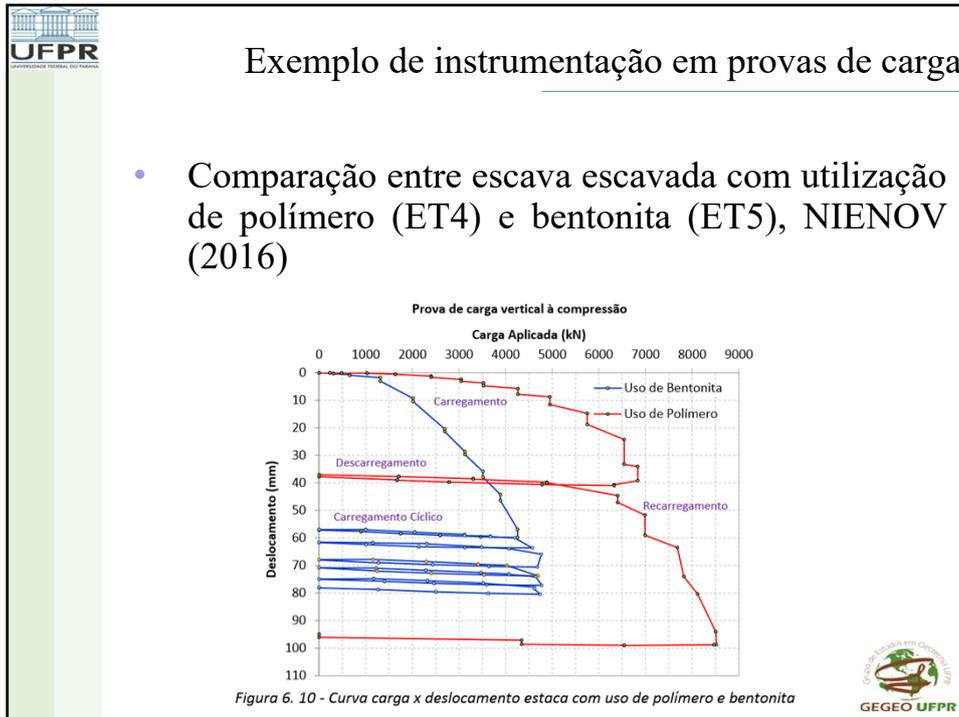


Transferência de carga em estacas

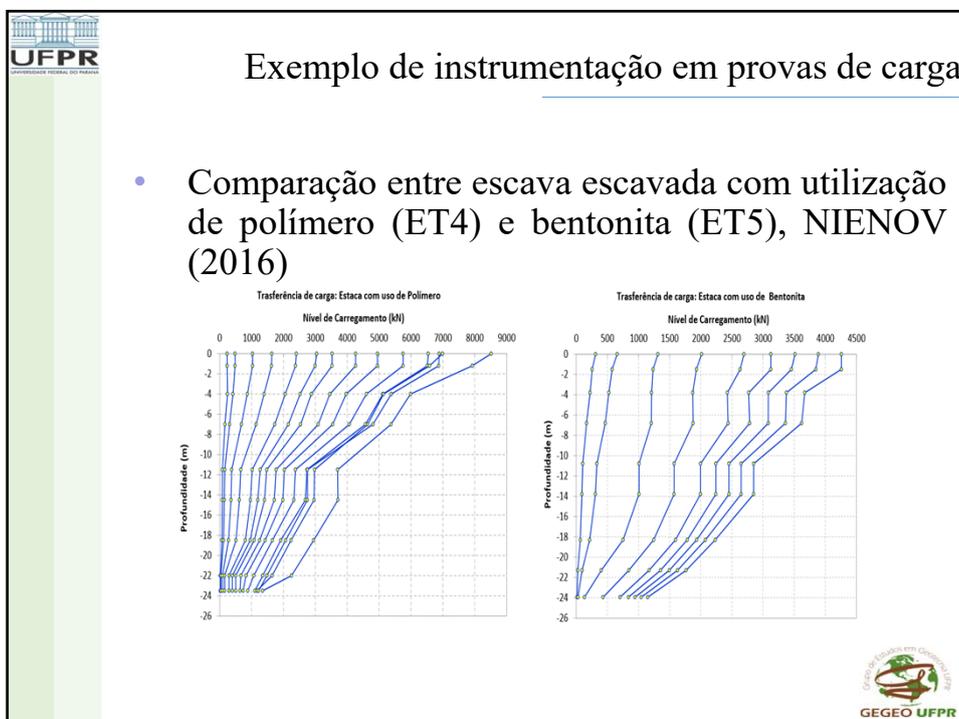
- Métodos para o estudo da transferência de carga:
 - Método das curvas de transferência;
 - Métodos baseados na teoria da elasticidade;
 - Métodos numéricos;
 - Instrumentação em provas de carga em estacas;



10



11



12

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GRUPO DE ESTACAS

GEGEO UFPR

13

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Efeito de grupo em estacas

(a) (b)

A_1 A_2

Massa de solo mobilizada

GEGEO UFPR

14

Efeito de grupo em estacas

- Problema complexo de interação solo- estrutura e depende de fatores como:
 - Método de instalação da estaca (deslocamento ou escavada);
 - Modo dominante de transferência de carga (atrito ou ponta);
 - Tipo de material;
 - Geometria em 3D;
 - Bloco das estacas;
 - Rigidez relativa entre estacas e solo.



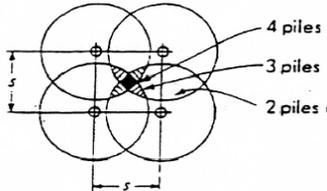

15

Efeito de grupo em estacas

Interação entre as estacas que compõem uma
fundação ao transmitirem ao solo as cargas
que lhes são aplicadas

↓

superposição de tensões



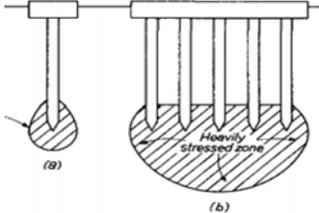


16

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Efeito de grupo em estacas

- O recalque e a capacidade de carga de um grupo são diferentes dos observados em uma estaca isolada;
- Geralmente, efeito em grupo não precisa ser levado em consideração quando o espaçamento é maior que 8ϕ .



(a) (b)

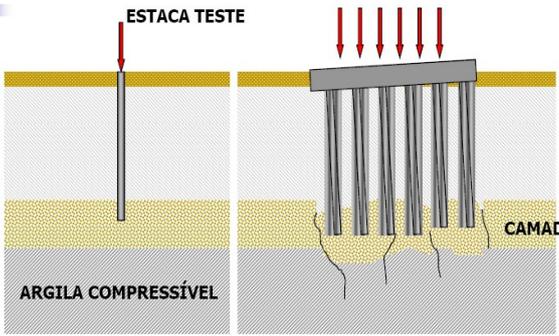
GEGEO UFPR

17

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Efeito de grupo em estacas

- Previsões de capacidade de carga e de recalques devem considerar o comportamento do grupo!



ESTACA TESTE

CAMADA RESISTENTE

ARGILA COMPRESSÍVEL

GEGEO UFPR

18

Recomendações da NBR 6122

- A carga admissível de um grupo de estacas não pode ser superior à de uma sapata de mesmo contorno que o do grupo, e assente a uma profundidade acima da ponta das estacas igual a $1/3$ do comprimento de penetração na camada suporte.

f=embutimento na camada de suporte contorno da hipotética sapata

GEGEO UFPR

19

Recomendações da NBR 6122

- As recomendações se aplicam também para o caso de grupos de tubulões;
- No caso de conjunto de tubulões de base alargada, a verificação deve ser feita em relação a uma sapata que envolva as bases alargadas e seja apoiada na mesma cota de apoio dos tubulões.

GEGEO UFPR

20

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Efeito de grupo em estacas: capacidade de carga

- Capacidade de carga em grupo de estacas

Solo aprisionado

Estacas rompendo individualmente

GEGEO UFPR

21

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Efeito de grupo em estacas: capacidade de carga

- Para os casos onde um grupo de estacas é suportado integralmente por solo, são sugeridos os seguintes passos:
 - a) determinar o nível necessário da base da estaca para evitar recalques excessivos do grupo de estacas (levar em consideração a viabilidade de construção da estaca com os métodos disponíveis de execução);
 - b) calcular o diâmetro ou largura necessária, de maneira que o recalque individual da estaca para determinada carga de trabalho não irá resultar em recalques excessivos do grupo de estacas;

GEGEO UFPR

22

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Efeito de grupo em estacas: capacidade de carga

a) avaliar economicamente a variação do número e do diâmetro das estacas no grupo para suportar a carga total aplicada sobre o conjunto.

- O objetivo em geral é:
 - Manter o menor número possível de estacas em um grupo;
 - Adotar a maior carga de trabalho possível em cada estaca, reduzindo o tamanho e o custo do bloco de coroamento;
 - O recalque do grupo será menor.

GEGEO UFPR

23

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Efeito de grupo em estacas: capacidade de carga

- O modo de ruptura de uma estaca simples muda para o modo de ruptura em bloco a partir de um determinado espaçamento entre as estacas;
- A possibilidade de ruptura do bloco, ou da linha de estacas, deve ser verificada considerando-se a parcela de atrito e ponta na ruptura, de forma apropriada.

The diagram shows three failure modes of a pile group under a rectangular cap:

- (a) Ruptura da estaca: Individual pile failure. Labels: Resistência do fuste (shaft resistance), Resistência da base (tip resistance).
- (b) ruptura da fileira de estacas: Line failure. Labels: Resistência do fuste (shaft resistance), Superfície de ruptura considerada (considered failure surface), Resistência da base (tip resistance).
- (c) Ruptura do bloco: Block failure. Labels: Resistência do fuste (shaft resistance), Superfície de ruptura considerada (considered failure surface), Resistência da base (tip resistance).

GEGEO UFPR

24

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Efeito de grupo em estacas: capacidade de carga

- Capacidade de carga de um grupo de estacas é relacionada com o somatório da capacidade de carga das estacas individuais através da eficiência de grupo;

$$\eta = \frac{\text{capacidade de carga do grupo de estacas}}{\text{somatório da capacidade de carga das estacas individuais no grupo}}$$

GEGEO UFPR

25

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Efeito de grupo em estacas: capacidade de carga

Prova de carga em estaca isolada

Prova de carga em estaca com levantamento de fundo

GEGEO UFPR

26

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Efeito de grupo em estacas: solos granulares

- A cravação de estacas ou tubos para estacas em um solo granular causa a compactação do solo ao redor da estaca em um raio de, pelo menos, três vezes o diâmetro da estaca;
- Desta forma, quando estacas de um grupo são cravadas próximas umas das outras, o solo entre elas e ao redor se torna altamente compactado;

Densificação

↓

Fator de eficiência de grupo > 1

GEGEO UFPR

27

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Efeito de grupo em estacas: solos granulares

- Para a cravação de estacas em areias ou cascalhos, o melhor procedimento para evitar o enrijecimento do solo é realizar a cravação do centro do grupo para as extremidades.

GEGEO UFPR

28

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Efeito de grupo em estacas: solos granulares

- O British Standard Code of practice for Foundations – BS 8004 – recomenda um espaçamento mínimo entre o centro de estacas, que trabalham por atrito lateral, de no mínimo o perímetro da estaca ou, para estacas circulares, três vezes o seu diâmetro;
- Estacas trabalhando apenas por resistência de ponta podem ter o espaçamento reduzido, mas a distância entre a superfície de estacas adjacentes não deve ser menor que a sua menor dimensão.

GEGEO UFPR

29

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Efeito de grupo em estacas: solos granulares

50cm

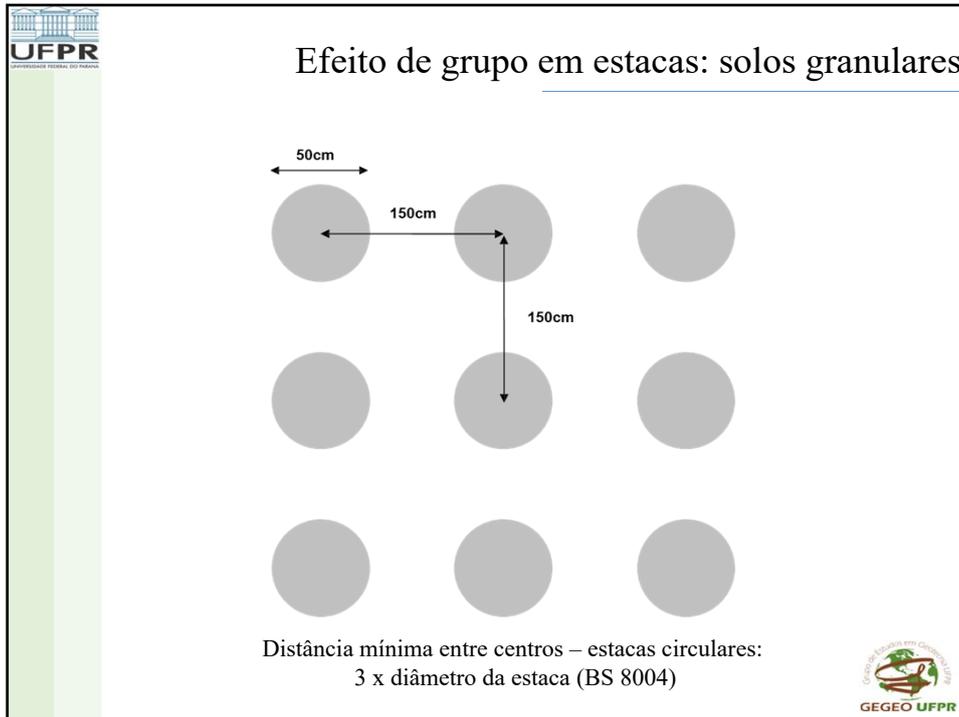
50cm

200cm

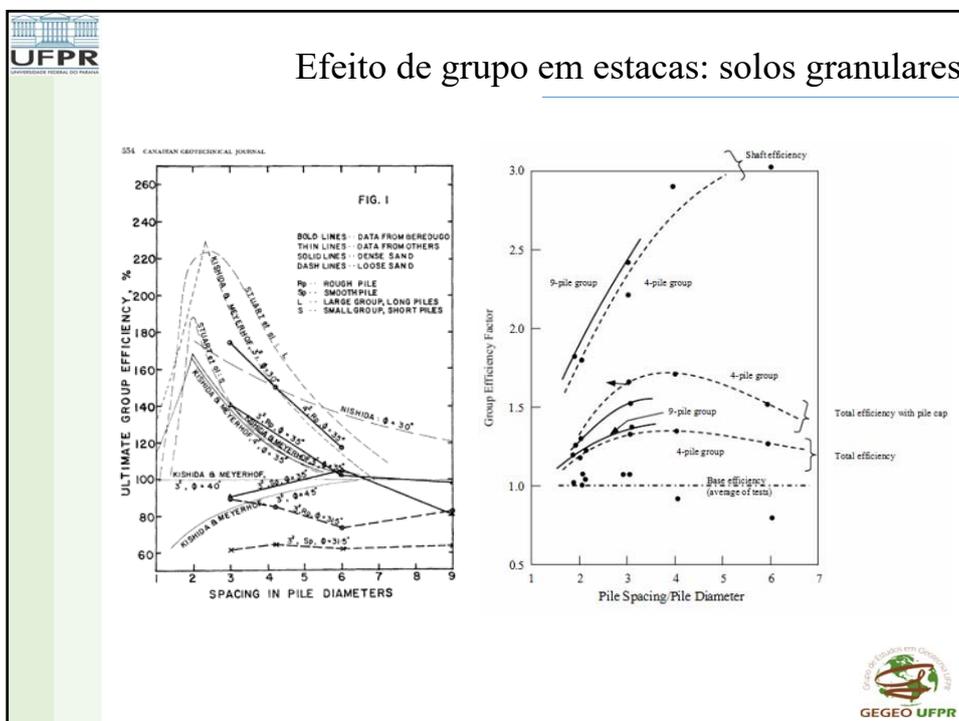
Distância mínima entre centros – estacas retangulares:
perímetro da estaca (BS 8004)

GEGEO UFPR

30



31



32

Efeito de grupo em estacas: argilas/siltos

- Estacas em solos finos geralmente trabalham por atrito lateral, portanto a distância mínima entre o centro das estacas não deve ser menor que o perímetro da estaca, como recomendado pelo BS 8004;
- Quando um projeto requer a cravação de grupos de estacas em argilas firmes a rijas, recomenda-se o uso estacas pré-moldadas de concreto, aço ou com encamisamento metálico que possam ser recravadas se necessário.




33

Efeito de grupo em estacas: argilas/siltos

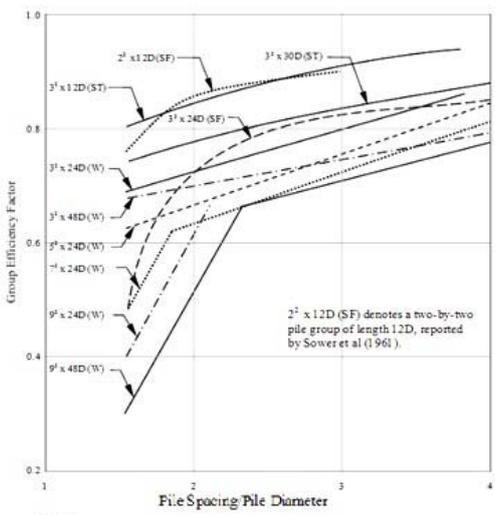


Figure 7.3 – Results of Model Tests on Pile Groups in Clay under Compression (de Melo, 1969)




34

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Efeito de grupo em estacas: argilas/siltes

- Em grupos de estacas muito próximas onde argilas moles ou siltes encontram-se sobre argila rijas, a parte superior da massa de solo dentro do grupo sofre elevação durante a cravação das estacas;
- Quando ocorrer o readensamento haverá atrito negativo.

Original G.L.
Soft clay
Stiff clay
Heaved-up soil re-consolidating under own weight causing drag-down on piles
Soil not subject to heaving
 $L \times B$
 D
GEGEO UFPR

35

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Efeito de grupo em estacas: argilas/siltes

- O solo deslocado por estacas cravadas em grupo pode causar altas pressões laterais capazes de danificar estruturas enterradas nas proximidades como bueiros, tubulações de esgoto e túneis.

1 2 3
Elevação da estaca 2
GEGEO UFPR

36

Efeito de grupo em estacas: recalque

- Relação de recalque (R_s): quociente entre o recalque do grupo pelo recalque de uma estaca isolada submetida a carga média por estaca do grupo;

$$R_s = \frac{\text{recalque médio do grupo}}{\text{recalque de uma estaca sob a carga média por estaca}}$$

- Fator de redução do grupo (R_g):

$$R_g = \frac{\text{recalque médio do grupo}}{\text{recalque de uma estaca sob a carga total do grupo}}$$


37

Efeito de grupo em estacas: recalque

- Para um grupo de n estacas tem-se:

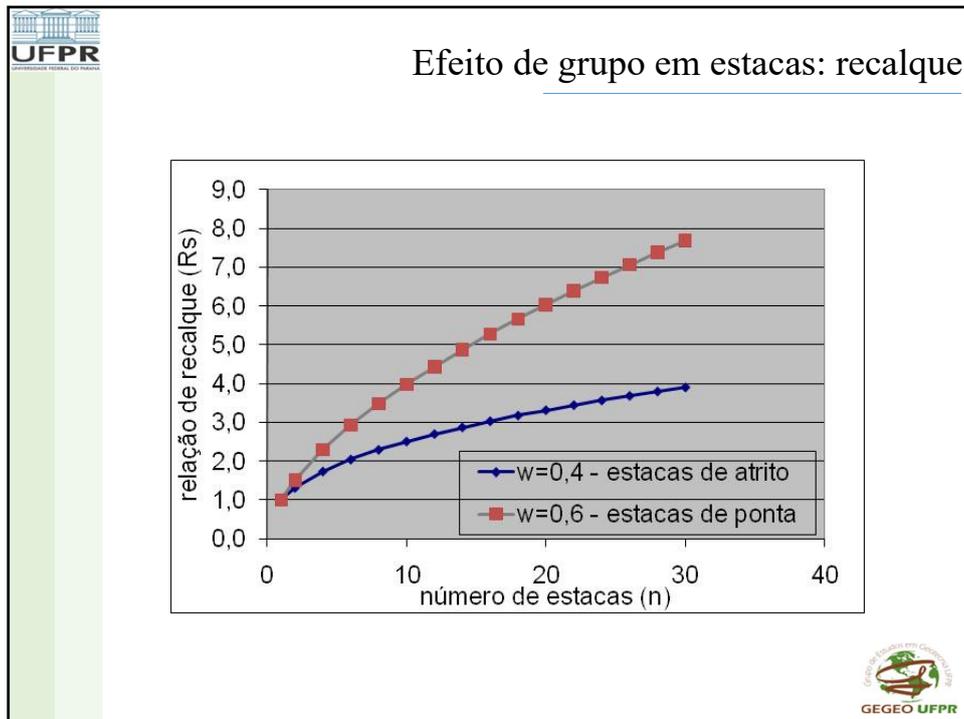
$$R_s = n \times R_g$$

$$R_s \approx n^w$$

- Fleming et al. (1992, apud DÉCOURT, L., 1998) sugerem que para um grupo de n estacas tem-se:
 $0,4 < w < 0,6$
- ❖ na maioria dos casos 0,4 - estacas de atrito
0,6 - estacas de ponta



38



39