

# **Provas de Carga Dinâmica em Estacas Escavadas de Pequeno Diâmetro com Ponta Modificada**

Carlos José Marques da Costa Branco

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia - Área Geotecnia.

ORIENTADOR: Prof. Dr. José Carlos A. Cintra

São Carlos  
2006

# FOLHA DE APROVAÇÃO

**Autor:** \_\_\_\_\_

**Título:** \_\_\_\_\_

**Tese defendida e aprovada em \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_, pela comissão julgadora:**

(Assinatura) \_\_\_\_\_  
(Nome / Instituição)

(Assinatura) \_\_\_\_\_  
(Nome / Instituição)

(Assinatura) \_\_\_\_\_  
(Nome / Instituição)

(Assinatura) \_\_\_\_\_  
(Nome / Instituição)

(Assinatura) \_\_\_\_\_  
(Nome / Instituição)

\_\_\_\_\_  
Coordenador da Área

\_\_\_\_\_  
Presidente da CPG

***The necessity is the mother of invention.***  
**Francesco Zappa**

## DEDICATÓRIA

*Às minhas queridas Helenida, Natália e Renata,  
pelo apoio e paciência*

*À memória de meu pai, Carlos da Costa Branco,  
pelo exemplo.*

*E, sobretudo, ao Pai,  
pela oportunidade da vida.*

# AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. José Carlos A. Cintra, pelo apoio, confiança irrestrita e orientação

Ao Professor Dr. Nelson Aoki, pela amizade, apoio e sugestões

Ao Professor Dr. Orêncio Monje Villar, pelo apoio e sugestões

Aos amigos Antônio Belincanta, Fabrício Augusto Vicente, Jeselay Hemetério Cordeiro dos Reis, Luiz Russo Neto, Mauri Gotlieb, Miriam Gonçalves Miguel, Nelci Helena Maia Gutierrez, Patrik Vessaro, Pedro Elísio C. A. F. da Silva, Raquel Souza Teixeira, todos os professores e os colegas de turma da EESC, pela amizade e troca de informações

Aos funcionários José Luís Guerra (EESC) e Pedro Cândido de Souza (UEL), pelo apoio com os ensaios de laboratório

Às Universidade Estadual de Londrina, Escola de Engenharia de São Carlos/USP e Universidade Estadual de Maringá, pelo apoio com laboratórios, equipamentos e serviços

À CAPES, pelo fomento da bolsa

Às empresas In Situ, Basestac e Constroeste, pelo indispensável auxílio com os experimentos

À minha mãe, pela força incondicional e o brilho dos seus 80 anos

Aos meus familiares e aos meus amigos

A todos,

Meu sincero muito obrigado!

## RESUMO

Fundações por estacas escavadas com trado mecânico têm sido largamente empregadas para cargas de pequeno e médio porte. Como o processo executivo não consegue evitar a deterioração das propriedades do solo in situ no fundo da escavação, a única parcela confiável de resistência é aquela referente ao atrito lateral. No entanto, a ponta dessas estacas, muitas vezes, atinge estratos com resistência relativamente elevada e não consegue aproveitar as qualidades do estrato. O presente trabalho visou o estudo do comportamento desse tipo de estaca no perfil geotécnico típico da cidade de Londrina, através da execução de provas de carga dinâmica em 16 estacas de 0,25 m de diâmetro e 12 m de comprimento, sendo três estacas tradicionais e 13 estacas com ponta modificada. Foram feitas, também, provas de carga estática em duas estacas tradicionais, inspeção das pontas de todas as estacas e determinação dos parâmetros de resistência do solo. Os resultados mostraram que todas as modificações pesquisadas permitiram a utilização da carga estrutural nominal das estacas e que a mais eficiente foi a do tipo que promoveu a melhoria do solo na ponta com a adição de um estabilizante de solo.

Palavras-chave: fundações, colapsibilidade, ponta modificada.

## ABSTRACT

*Auger pile foundations have been widely employed for light to medium loads. As the executive process can't avoid the degradation of the bottom excavation "in situ" soil properties, the only reliable resistance is a lateral friction parcel. However, these tip piles, many times, reaches relatively resistant strata and can't take advantage from these strata qualities. The present paper seems study the performance of this kind of piles in typical geotechnical profile of Londrina, by dynamic load tests on 16 piles with diameter equal 0,25 m and length of 12 m, when three traditional piles and on thirteen kinds with tip modification. Were made, also, static load tests on three traditional piles, tip investigation on all piles and soil resistance parameters determination. The results shaw that all modifications researched was able to use the nominal structural load of piles and that the more efficient of them was the soil improvement by soil stabilizer addition.*

*Key-words: foundations, colapsibility, modified tip.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Diferentes tipos de ensaios em estacas (HOLEYMAN, 1997) .....	8
Figura 2.2 - Curva carga versus recalque - ensaio de carregamento estático (AOKI, 1997) .....	10
Figura 2.3 - Superfícies de ruptura de estacas segundo diversos autores (VESIC', <i>apud</i> CINTRA; AOKI, 1999) .....	15
Figura 2.4 - Fator de capacidade de carga $N_q^*$ para diversos mecanismos de ruptura de estacas (VESIC', <i>apud</i> CINTRA; AOKI, 1999) .....	17
Figura 2.5 - Efeito de embutimento (De BEER, <i>apud</i> SILVA, 2001).....	18
Figura 2.6 - Padrão assumido de ruptura na ponta (VESIC', 1975) .....	20
Figura 2.7 - Padrões de ruptura (VESIC', 1975).....	21
Figura 2.8 - Expansão de cavidade esférica (VESIC, <i>apud</i> SILVA, 2001) .....	22
Figura 2.9 - Zonas devidas à expansão de cavidade em ensaios de cone em câmara de calibração (SALGADO et al., 1997).....	24
Figura 2.10 - Deformação da malha em argilas saturadas (BALIGH, 1985) .....	25
Figura 2.11 - Trajetórias de deformação na penetração de uma estaca (BALIGH, 1985) .....	26
Figura 2.12 - Ocorrência de colapso de um solo sob tensão e com inundação artificial (CINTRA, 1998).....	29
Figura 2.13 - Função de transferência das solicitações em um elemento isolado de fundação ( <i>apud</i> VESIC, 1975).....	31
Figura 2.14 - Modelo mais elaborado da função de transferência das parcelas de atrito lateral e resistência de ponta.....	32
Figura 2.15 - Deslocamentos devidos às parcelas de atrito lateral e resistência de ponta .....	32
Figura 2.16 - Curvas carga <i>versus</i> recalques de uma estaca instrumentada (Van WEELE, 1957).....	33
Figura 2.17 - Modelo de Smith para a curva atrito lateral <i>versus</i> deslocamento no ensaio de carregamento dinâmico ( <i>apud</i> AOKI, 1997).....	34
Figura 2.18 - Modelo de Smith (1960) para a curva resistência de ponta <i>versus</i> deslocamento no ensaio de carregamento dinâmico ( <i>apud</i> AOKI, 1997)	35



## Lista de figuras

---

Figura 2.19 - Parâmetros que afetam o comportamento de estacas em areias (KRAFT JR., 1991).....	36
Figura 2.20 - Efeito da instalação (Van WEELE, 1988, apud De BEER, 1988) .....	37
FIGURA 2.21 - Tipos de parafusamento (Van IMPE; PEIFFER, 1997).....	38
Figura 2.22 - Alguns tipos de ponta (Van IMPE; PEIFFER, 1997 e BUSTAMANTE; GIANESELLI, 1998) .....	39
Figura 2.23 - Efeitos da execução no estado de tensões do solo e sua influência no comportamento de estacas (VESIC', 1975) .....	46
Figura 2.24 - Estacas <i>Strauss</i> – Vista geral e detalhe.....	47
Figura 2.25 - Estacas <i>Franki</i> (ABEF, 1999).....	50
Figura 2.26 - Estacas escavadas com trado mecânico .....	52
Figura 2.27 - Tipos de ferramentas para <i>estacões</i> (CASAGRANDE, 1999) .....	53
Figura 2.28 - Tipos de ferramentas para estacas <i>Barrete</i> (CASAGRANDE, 1999).....	54
Figura 2.29 - Execução de <i>estacões</i> (BAUER, 1997; particular, 1999).....	56
Figura 2.30 - Equipamentos para execução de estacas <i>Barrete</i> (CASAGRANDE, 1999) .....	57
Figura 2.31 - Exemplo de equipamento para a execução de <i>estacas raiz e micro estacas</i> (BERETTA, 1999) .....	59
Figura 2.32 - Execução de <i>estacas raiz</i> (TAROZZO; GRANDIS, 2000).....	60
Figura 2.33 - Efeitos da injeção nos solos (SALIONI, <i>apud</i> SODRÉ, 1996).....	61
Figura 2.34 - Execução de estacas <i>CFA</i> (BAUER, 1997) .....	63
Figura 2.35 - Execução de estacas <i>Ômega</i> (BOTTIAU et al., 1998).....	66
Figura 2.36 - Execução de estaca <i>Ômega+</i> (BOTTIAU et al., 1998) .....	67
Figura 2.37 - Ferramentas utilizadas para o alargamento da base (TOMLINSON, 1997) .....	68
Figura 2.38 - Perfil do terreno e resultado de prova de carga em um tubulão antes e depois do grauteamento (COSTA NUNES, 1992).....	70
Figura 2.39 - Sistema Bauer de grauteamento (BAUER, 1997).....	70
Figura 2.40 - Execução de injeção de resina química (RODRIGUES, 1998).....	71
Figura 2.41 - Execução de apiloamento da ponta.....	72

## Lista de figuras

---

Figura 2.42 - Execução de sistema de expulsão de <i>plug</i> (MASSARSCH et al., 1988) .	74
Figura 2.43 - Método SENTAN de compactação da base (KONDOU et al., 1998).....	75
Figura 2.44 – Estacas Soilex (SELLGREN et al., 1985; BROMS, 1985).....	76
Figura 2.45 - Célula de pré-carga (BOLOGNESI; MORETTO, 1973) .....	77
Figura 2.46 - Célula de pré-carga (LIZZI, 1976 e 1988) .....	78
Figura 2.47 - Sistema BAUER de grauteamento da base (YEATS; RIORDAN, 1989).	80
Figura 2.48 - Expancell - Vista geral do sistema e detalhe da célula .....	81
Figura 2.49 - Detalhe do gradiente hidráulico .....	81
Figura 3.1 - Mapa de Londrina e a localização do CEEG .....	84
Figura 3.2 - Área do CEEG com a locação das campanhas de investigação do subsolo e das áreas de pesquisas .....	85
Figura 3.3 - Execução dos furos SP3 (frente) e SP9 (fundo) .....	87
Figura 3.4 - Perfil (W-E) obtido na sondagem de simples reconhecimento com SPT ...	88
Figura 3.5 - Perfil (S-N) obtido na sondagem de simples reconhecimento com SPT....	89
Figura 3.6 - Resultados dos SPTs.....	90
Figura 3.7 - Coleta de amostra indeformada (P14) .....	91
Figura 3.8 - Argila siltosa porosa característica do 1º estrato (P14).....	92
Figura 3.9 - Argila siltosa residual característica do 3º estrato (P9).....	92
Figura 3.10 - Execução do DPL1 .....	93
Figura 3.11 - Resultados dos DPLs.....	93
Figura 3.12 - Execução do DPSH9 .....	94
Figura 3.13 - Resultados dos DPSHs.....	94
Figura 3.14 - Resultados dos CPTs .....	95
Figura 3.15 - Resultados dos DMTs.....	96
Figura 3.16 - Resultado do ensaio de permeabilidade <i>in situ</i> .....	96
Figura 3.17 - Curvas granulométricas com e sem defloculante (amostras até 6m).....	99
Figura 3.18 - Índice de subsidência do estrato superficial.....	101
Figura 3.19 - Aparelho de Richards.....	102

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

