

## **RESULTADOS DE PROVAS DE CARGA EM ESTACAS ESCAVADAS INJETADAS, COM BULBOS**

Juliane A. F. Marques, M.Sc.  
Doutoranda, Escola Politécnica - USP

Abel Galindo Marques, M.Sc.  
Professor Adjunto, Universidade Federal de Alagoas – UFAL  
Diretor da AGM Geotécnica Ltda

### **SINOPSE**

Apresentam-se as estacas escavadas injetadas, com alargamento de fuste (bulbos) em pontos específicos, bem como vários resultados de provas de carga à compressão sobre essas estacas, executadas em terrenos sedimentares do Quaternário (nas cidades de Aracaju, Maceió e João Pessoa). Comenta-se também sobre o comportamento dessas estacas quando submetidas a esforços de tração, ao serem utilizadas no sistema de reação das citadas provas de carga à compressão.

**Palavras-chave:** Estaca escavada injetada, prova de carga, bulbos.

### **1. INTRODUÇÃO**

As estacas ensaiadas foram executadas em terrenos sedimentares das cidades de Maceió, Aracaju e João Pessoa. Os solos desses terrenos são predominantemente arenosos (Maceió) de compacidade variáveis, por vezes argilosos e orgânicos (Aracaju e João Pessoa).

Esse tipo de estaca tem sido projetada e executada em várias cidades do nordeste brasileiro. Ao longo dos últimos anos, após muitas pesquisas e desenvolvimento de novas técnicas executivas, foi possível projetar estacas com diâmetro máximo de 45 cm para cargas de até 950 kN. O alargamento proposital do fuste (bulbos) em pontos específicos (na transição entre uma camada ruim e uma boa), tem demonstrado um grande aumento da capacidade de carga desse tipo de estaca, pois os bulbos trabalham como múltiplas bases.

São apresentadas 15 provas de carga (pdc) à compressão e 12 provas de carga à tração. Todas as estacas foram executadas com bulbos, e estes foram posicionados ao longo do fuste em função do tipo de esforço solicitante (compressão ou tração) e do perfil do subsolo do terreno.

### **2. ESTACAS ESCAVADAS INJETADAS**

As estacas escavadas injetadas são estacas de pequeno diâmetro (máximo de 45 cm) executadas com perfuratrizes comuns. A perfuração é feita com circulação de lama estabilizadora. São estacas armadas em todo seu comprimento e o fuste é preenchido pelo processo submerso com argamassa por meio de bombeamento. Esta argamassa tem fator água/cimento em torno de 1,0, traço de 1:2 (cimento: areia grossa) e apresenta um  $f_{ck}$  médio de 18 MPa.

No início, em 1986, essas estacas tinham diâmetro máximo de 30 cm e carga de trabalho média de 350 kN. Com a evolução do processo executivo, passou-se a executar estacas com diâmetros maiores e “bulbos” ao longo do fuste. Com isto obteve-se consideráveis ganhos de cargas admissíveis. Atualmente, essas estacas são projetadas para cargas de trabalho de até 950 kN (diâmetro de 45 cm).

Há anos que a capacidade de carga dessas estacas é estudada. Em Marques (1997), mostrou-se que elas quando passam de uma camada de areia de baixa compacidade (fofa) para uma de compacidade superior a medianamente compacta, apresentam uma capacidade de carga maior que as estacas correntes. No citado trabalho, fotografias de estacas extraídas mostram que o diâmetro do fuste das estacas escavadas injetadas nas areias de baixa compacidade aumenta consideravelmente e nas areias de boa compacidade (ou argilas) o diâmetro do fuste é aproximadamente igual ao da peça cortante. Em consequência desse fato, tem-se o efeito do afinilamento de fuste que é o responsável pelo aumento da capacidade de carga.

A necessidade de se ter uma melhor capacidade de carga, independente da ocorrência ou não do efeito de afinilamento, fez surgir a estaca escavada injetada com múltiplas bases (ou bulbos). As Figuras 1 e 2,

apresentam estacas injetadas escavadas com uma e duas bases; evidentemente esses bulbos são apoiados em camadas de bom suporte de carga. Os bulbos ou alargamentos de fuste, são executados logo após a etapa de perfuração da estaca. Substituindo-se a peça cortante por um “bico”, inclinado e com a haste em movimento rotativo, faz-se incidir sobre as paredes do furo jatos do fluido perfurante. Dessa forma provoca-se rupturas hidráulicas localizadas com o conseqüente alargamento do fuste. A estaca da Figura 2 tem fuste de 32 cm e bulbos com diâmetro de 66 cm (aproximadamente.). A da Figura 1, o diâmetro do fuste é 40 cm e o da base 90 cm.

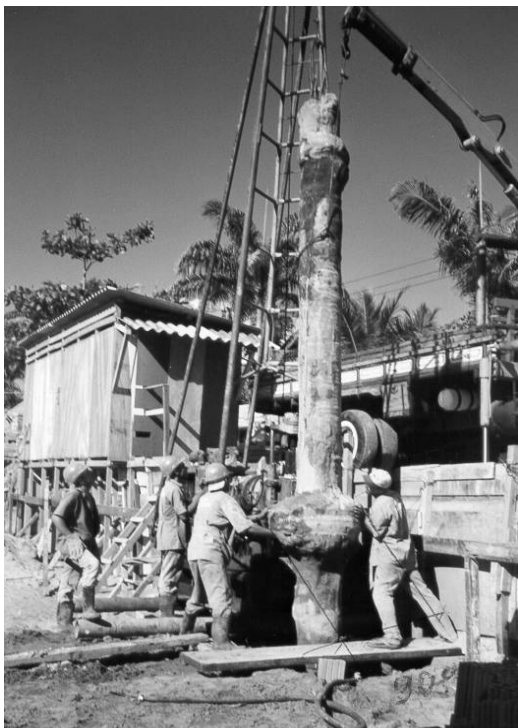


Figura 1 – Estaca extraída com um bulbo próximo à ponta.



Figura 2 – Estaca extraída com dois bulbos.

### 3. PROVAS DE CARGA

#### 3.1. GENERALIDADES

Os resultados das provas de carga (pdc) aqui apresentados, são frutos do controle tecnológico das estacas escavadas injetadas, quanto à capacidade de carga e desempenho. Como se trata de um tipo de estaca escavada com execução de alargamentos de fuste (Figuras 1 e 2) pouco conhecida no meio técnico das fundações, a realização de provas de carga para aferição do seu desempenho, é o único meio que se tem de garantia do sucesso dos projetos de fundações com esse tipo de estaca. Marques (1997) estabeleceu uma metodologia de previsão de capacidade de carga para essas estacas quando ainda não se tinha um método eficiente de execução dos bulbos descrito no item 2 desse trabalho. Nas situações em que ocorre variação natural do diâmetro do fuste, Marques (1997) apresentou um método de cálculo estimado da contribuição desse fato na capacidade de carga final da estaca. A aplicação dessas considerações no cálculo de previsão da estaca escavada injetada com bulbos, em geral tem apresentado resultados aceitáveis.

#### 3.2. CARACTERÍSTICAS DOS TERRENOS

As regiões apresentadas nesse trabalho são geologicamente sedimentares do Quaternário, compostas por solos arenosos, argilosos com ou sem matéria orgânica. O lençol freático sempre ocorre próximo à superfície (0,5 m a 3,0 m).

Um perfil característico da região praieira de Maceió, onde foram executadas a grande maioria das provas de carga (10 à compressão e 7 à tração), pode ser representado pelo perfil mostrado na Figura 3. A primeira camada é composta por areia fina à média, fofa à medianamente compacta, espessura média de 3 m, seguida de outra camada de areia pouco siltosa de média compactidade a muito compacta e espessura média de 4 m. Na camada seguinte ocorre areia fina siltosa com fragmentos de conchas, fofa. A última camada é constituída de areia fina à grossa de média compactidade a muito compacta ou arenito.

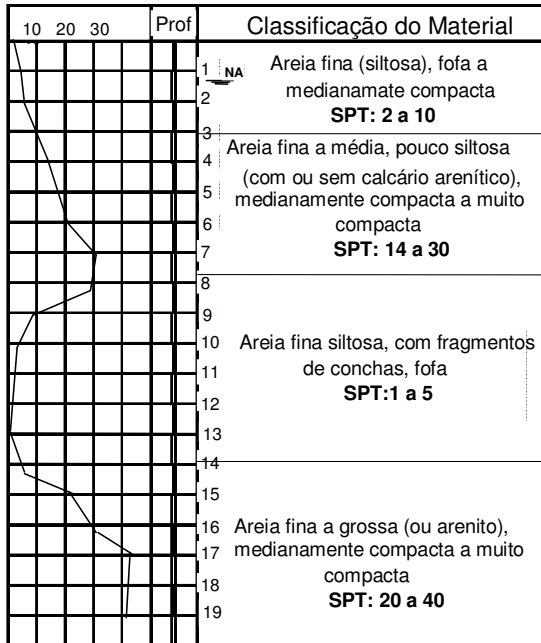


Figura 3 - Perfil típico do subsolo dos terrenos das pdc de Maceió.



Figura 4 - Perfil do subsolo do terreno das pdc A1 e AT1 (Aracaju).

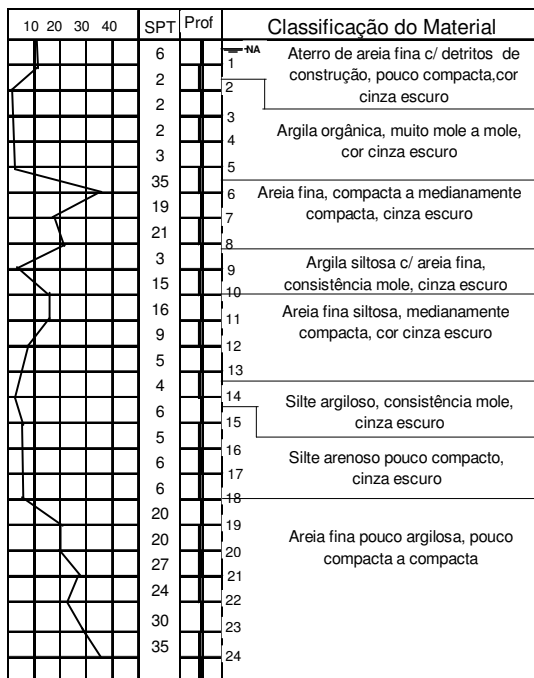


Figura 5 - Perfil do subsolo do terreno das pdc A2, AT2, A3 e AT3 (Aracaju).



Figura 6 - Perfil do subsolo do terreno das pdc J1, JT1, J2 e JT2 (João Pessoa).

As Figuras 4 e 5 mostram os perfis dos solos de dois terrenos situados na cidade de Aracaju. No primeiro terreno (Figura 4) foram realizadas as provas de carga A1 e AT1 e no segundo terreno (Figura 5) as provas de carga A2, AT2, A3 e AT3.

As provas de carga J1, JT1, J2 e JT2 foram executadas num terreno localizado no bairro de Tambau, João Pessoa, cujo perfil representativo do subsolo é o mostrado na Figura 6.

### 3.3 RESULTADOS DAS PROVAS DE CARGA

As provas de carga apresentadas neste trabalho, foram realizadas em estacas que fariam parte das fundações de obras reais. No sistema de montagem desses ensaios utilizou-se as próprias estacas das fundações como reação. As armações dessas estacas foram projetadas dentro dos critérios de fissuração do concreto, preconizado pela norma NBR-6118/78. Também foi estabelecido um recalque limite de 10 mm e redução da carga de trabalho, para o reaproveitamento dessas estacas submetidas a tração que iriam trabalhar à compressão. Quando esse limite foi ultrapassado, fez-se o reforço do bloco projetando-se uma ou duas estacas extras. Até pouco tempo para aplicação de cargas de 1600 kN, por exemplo, projetava-se sistema de reação constituído de 4 estacas de 300 mm ou 400 mm. Diante da eficiência dos bulbos, comprovada nas primeiras provas de carga, passou-se a projetar carga de tração, por estaca, de até 800 kN.

As provas de carga à compressão e à tração foram executadas simultaneamente, ou seja, ao tempo que aplicava-se carga na estaca de compressão monitorava-se também as estacas de tração do sistema reativo. Para aplicação das cargas de teste (compressão) utilizou-se um macaco hidráulico com capacidade de carga nominal de 2000 kN, devidamente aferido. Nesses ensaios, não foram utilizadas células de carga. A distância entre as estacas obedeceu as recomendações normativas. Os recalques nas estacas de tração (duas ou quatro estacas) de um mesmo ensaio, em vias de regra, sempre foram parecidos. Nos poucos casos em que isto não ocorreu, considerou-se o resultado mais representativo, comparado com outros de condições idênticas. Normalmente, quando as diferenças de recalques entre as estacas de tração eram discrepantes, observava-se a descentralização da carga aplicada ao sistema, em relação a essas estacas de tração. Consequentemente tinham-se deformações diferentes para cargas diferentes.

Na execução das provas de carga, procurou-se seguir as recomendações da NBR-3472/91 para ensaios de carregamento lento. Entretanto, nos terrenos em que o perfil do subsolo era essencialmente arenoso, o tempo dos estágios de carga foi de 15 minutos e as leituras das deformações nos tempos de 0, 1, 2, 4, 8 e 15 minutos, observando-se com rigor a estabilização dos recalques, segundo a norma. Nos terrenos em que se teve a ocorrência de argila ou silte orgânico, a execução dos ensaios seguiu rigorosamente a metodologia normatizada. Foram os casos das provas de carga A2, AT2, A3 e AT3 (Aracaju), J1, JT1, J2 e JT2 (João Pessoa).

As Tabelas 1 e 2 apresentam resumidamente informações sobre as provas de carga (pdc) à compressão e à tração, respectivamente. Nelas constata-se que, na quase totalidade das estacas, o diâmetro é de 0,40 m e a carga aplicada (na compressão) é igual ou próxima de 1500 kN. Isto porque a carga de projeto dessas estacas variou entre 700 kN e 800 kN. Observa-se também que a maior carga aplicada foi na estaca M4 (1817 kN) e a menor na estaca A3 (474 kN). Na primeira, apesar da carga de projeto ser de 750 kN, aplicou-se 1817 kN para fins de estudos. No caso da segunda, o projeto de fundação exigia estacas com diâmetro de 0,30 m, comprimento médio de 21 metros e carga de trabalho de 250 kN.

A estaca M4 foi executada e ensaiada no terreno em que a estaca da Figura 2 foi extraída. A estaca M9 é a da Figura 1.

Para as fundações da obra da estaca M6, foram projetadas estacas com diâmetro de 0,40 m, para carga de trabalho de 750 kN. Entretanto para fins de constatação da eficiência dos bulbos, executou-se a estaca de teste (M6) com diâmetro de 0,25 m. A estaca representativa de tração desse teste, MT6, submetida a carga de 753 kN teve deformação de 20,95 mm (a deformação da outra estaca de tração desse teste foi de 23 mm). Em consequência dessas deformações, foram executadas mais duas estacas para reforçar as fundações do pilar dessas estacas.

A estaca M10 foi apoiada dentro do arenito calcário; daí seu comprimento de 4,50 metros e o pequeno recalque de 2,15 mm para uma carga aplicada de 1506 kN. As 4 estacas de tração desse teste penetraram 50 cm (aproximadamente) dentro do arenito e tiveram excelente desempenho com deformações médias de 2,5 mm, para cargas de 380 kN. A deformação de 5,32 mm para uma carga de tração de 753 kN, aplicada à estaca AT1, representa um ótimo resultado para uma estaca escavada com 9,50 m de comprimento e diâmetro 0,40 m, instalada num terreno cujo perfil do subsolo é o mostrado na Figura 4.

Aplicou-se a todos esses resultados, as recomendações da NBR-6122 para determinação da carga admissível quanto à ruptura e aos recalques, e obteve-se a carga de trabalho projetada. Os recalques de 10 a 20 mm para cargas iguais ou pouco maiores que 1000 kN, constatados na quase totalidade das pdc (Figuras 7a e 7b), são

muito positivos nos projetos de fundações em que se considera a participação do bloco de coroamento na transferência de carga às camadas próximas à superfície. Simons (1981) e outros já mostraram que a curva de carga x recalque de estacas que trabalham só por atrito lateral é semelhante à curva de ruptura generalizada (ruptura brusca). Ao contrário, a forma das curvas das Figuras 7a e 7b, com algumas exceções, indica que os bulbos e os afunilamentos transferem a maior fatia de carga.

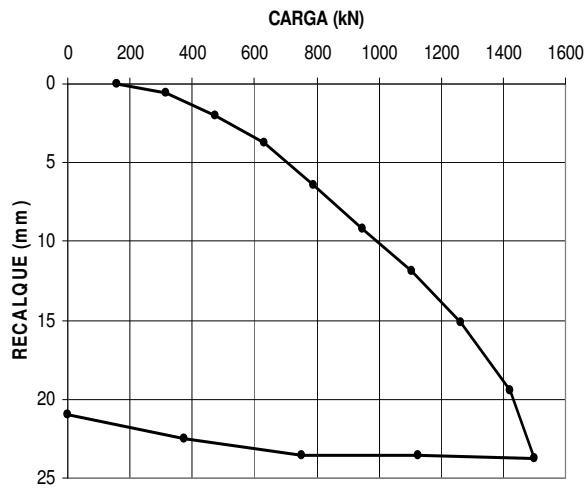
**Tabela 1 – Provas de carga à compressão.**

| <b>ESTACA</b> | <b>D</b><br><b>(m)</b> | <b>La</b><br><b>(m)</b> | <b>P</b><br><b>(kN)</b> | <b>r</b><br><b>(mm)</b> | <b>Nº de</b><br><b>bulbos</b> | <b>Local</b> |
|---------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------|
| M1            | 0,40                   | 13,50                   | 1501                    | 23,72                   | 2                             | Maceió       |
| M2            | 0,40                   | 13,50                   | 1580                    | 40,64                   | 2                             | Maceió       |
| M3            | 0,40                   | 10,00                   | 1501                    | 29,36                   | 2                             | Maceió       |
| M4            | 0,40                   | 9,40                    | 1817                    | 12,69                   | 2                             | Maceió       |
| M5            | 0,40                   | 13,50                   | 1501                    | 35,68                   | 2                             | Maceió       |
| M6            | 0,25                   | 20,50                   | 1506                    | 26,44                   | 2                             | Maceió       |
| M7*           | 0,40                   | 16,00                   | 1698,5                  | 84,87                   | 1                             | Maceió       |
| M8            | 0,45                   | 12,60                   | 1422                    | 38,88                   | 2                             | Maceió       |
| M9            | 0,40                   | 5,50                    | 1342                    | 25,19                   | 1                             | Maceió       |
| M10           | 0,40                   | 4,50                    | 1506                    | 2,15                    | 1                             | Maceió       |
| A1            | 0,40                   | 4,30                    | 1506                    | 13,14                   | 1                             | Aracaju      |
| A2            | 0,30                   | 21,40                   | 632                     | 4,07                    | 2                             | Aracaju      |
| A3            | 0,30                   | 21,40                   | 474                     | 1,82                    | 2                             | Aracaju      |
| J1            | 0,40                   | 21,50                   | 1580                    | 12,81                   | 2                             | João Pessoa  |
| J2            | 0,40                   | 17,50                   | 1501                    | 48,51                   | 2                             | João Pessoa  |

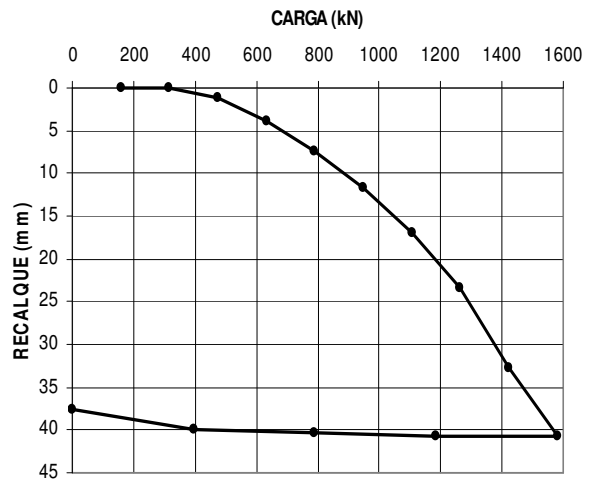
\* Estaca espacial: Estapata ou estaca-T

**Tabela 2 – Provas de carga à tração.**

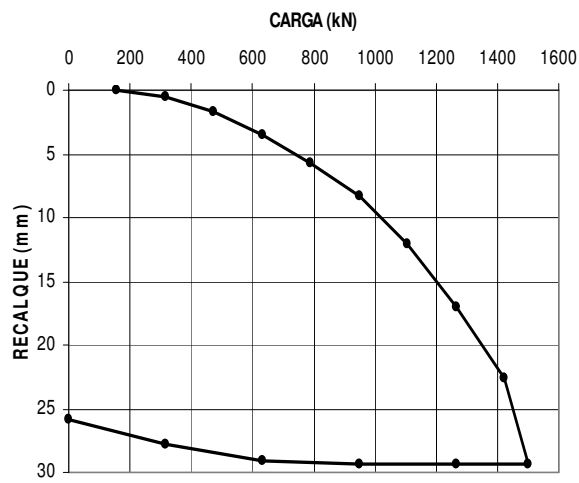
| <b>ESTACA</b> | <b>D</b><br><b>(mm)</b> | <b>La</b><br><b>(m)</b> | <b>P</b><br><b>(kN)</b> | <b>r</b><br><b>(mm)</b> | <b>Nº de</b><br><b>bulbos</b> | <b>Local</b> |
|---------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------|
| MT1           | 0,40                    | 13,00                   | 395                     | 8,03                    | 2                             | Maceió       |
| MT3           | 0,40                    | 11,50                   | 375                     | 4,30                    | 2                             | Maceió       |
| MT5           | 0,40                    | 13,50                   | 375                     | 7,20                    | 2                             | Maceió       |
| MT6           | 0,40                    | 21,00                   | 753                     | 20,95                   | 2                             | Maceió       |
| MT7           | 0,40                    | 15,50                   | 424,6                   | 6,06                    | 1                             | Maceió       |
| MT9           | 0,40                    | 5,50                    | 335,5                   | 1,60                    | 1                             | Maceió       |
| MT10          | 0,40                    | 3,50                    | 378                     | 1,34                    | 1                             | Maceió       |
| AT1           | 0,40                    | 9,50                    | 753                     | 5,32                    | 1                             | Aracaju      |
| AT2           | 0,30                    | 21,40                   | 316                     | 1,96                    | 2                             | Aracaju      |
| AT3           | 0,30                    | 21,40                   | 237                     | 0,96                    | 2                             | Aracaju      |
| JT1           | 0,40                    | 21,50                   | 395                     | 3,58                    | 2                             | João Pessoa  |
| JT2           | 0,40                    | 17,50                   | 375                     | 3,58                    | 2                             | João Pessoa  |



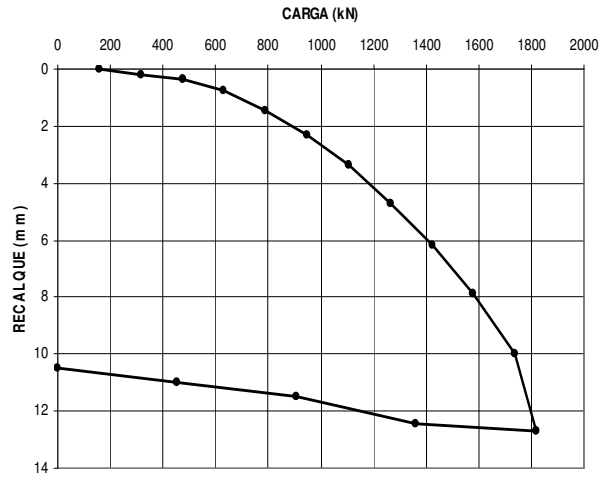
pdc M1



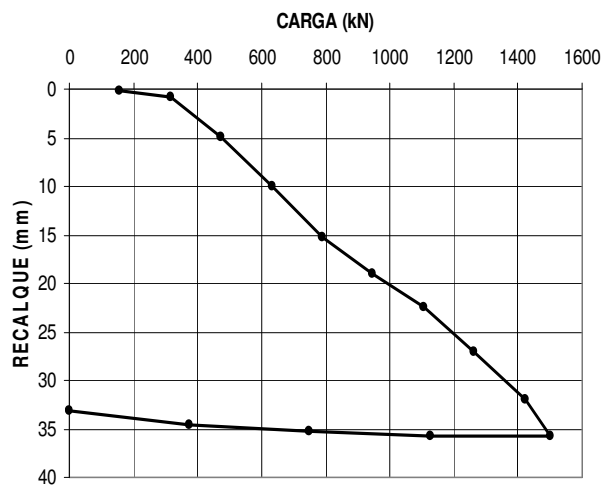
pdc M2



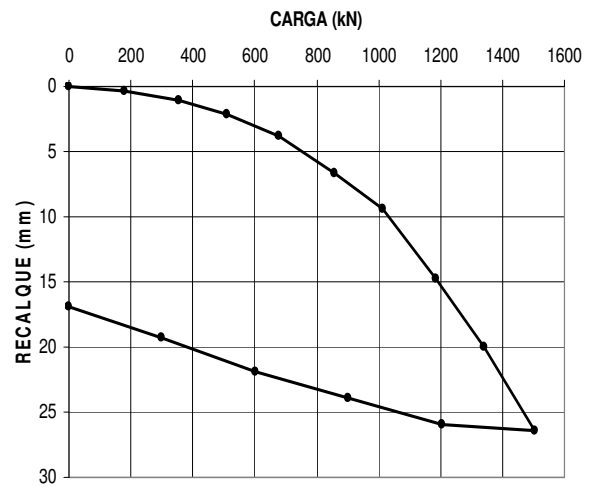
pdc M3



pdc M4



pdc M5



pdc M6

Figura 7a – Curvas carga x recalque de compressão.

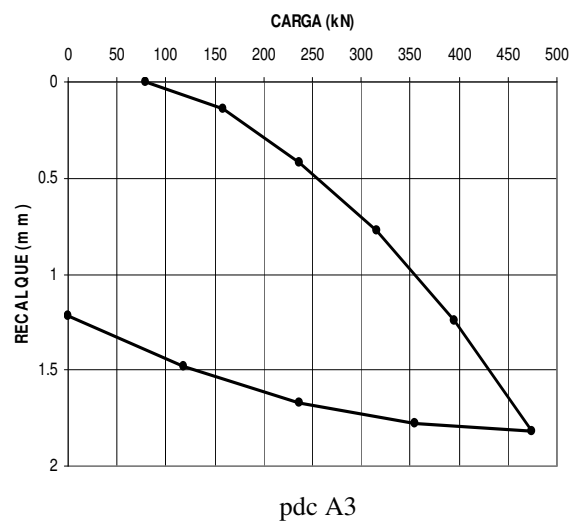
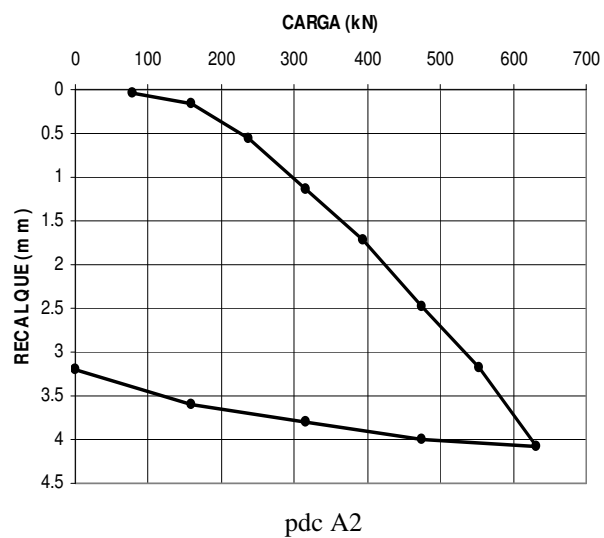
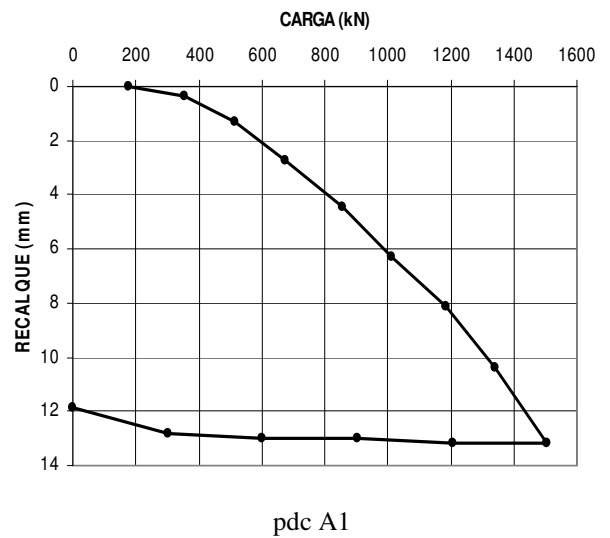
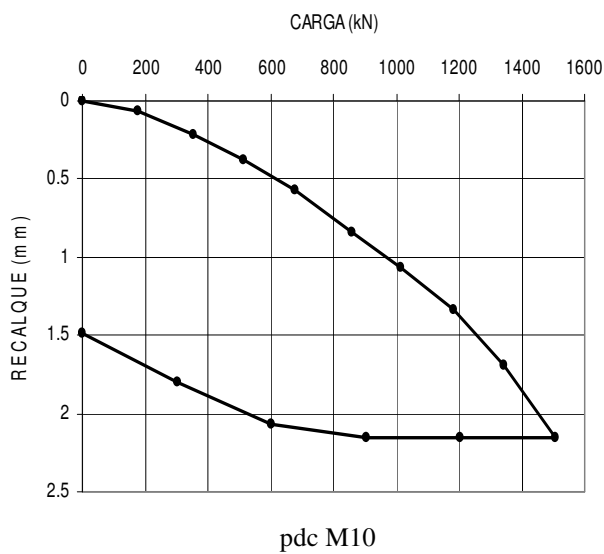
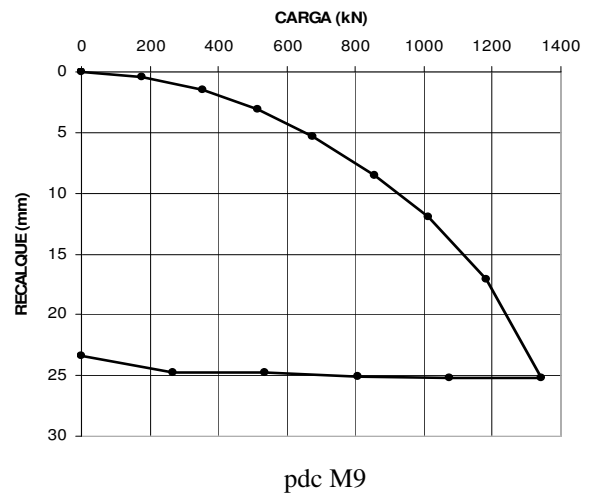
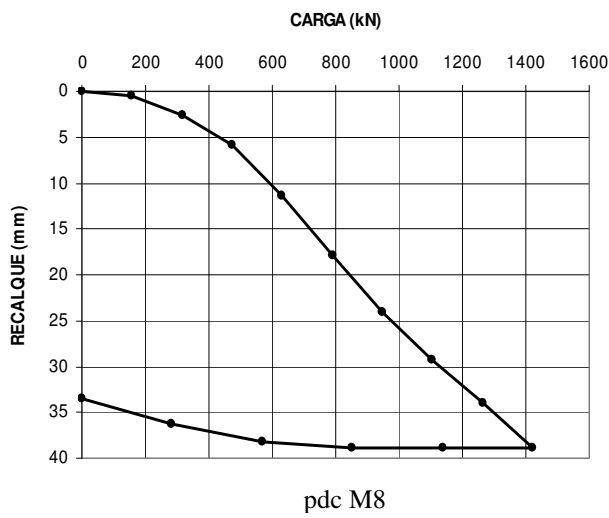


Figura 7a – Curvas carga x recalque de compressão (continuação).

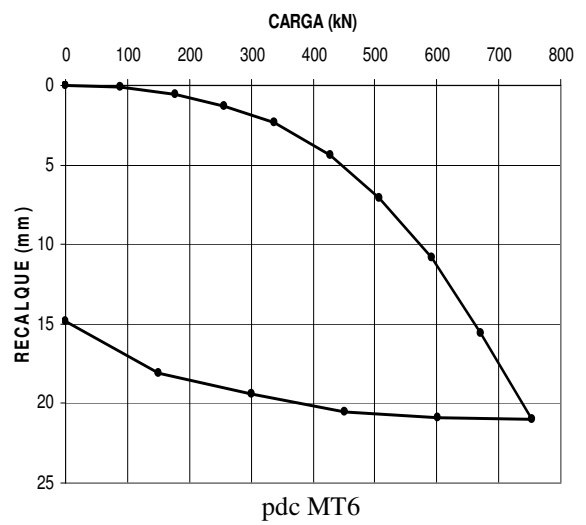
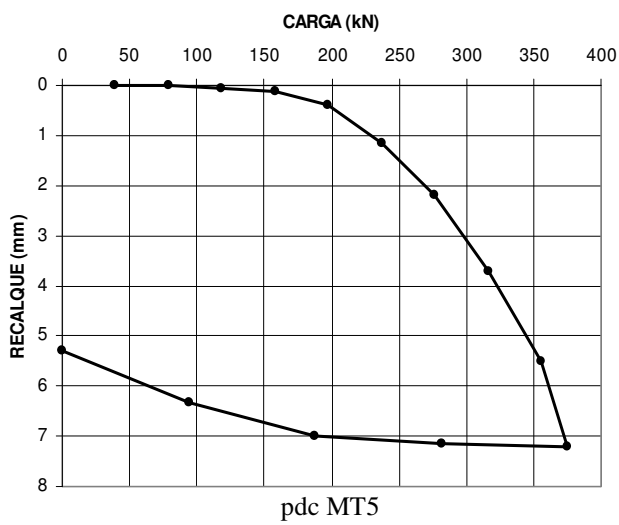
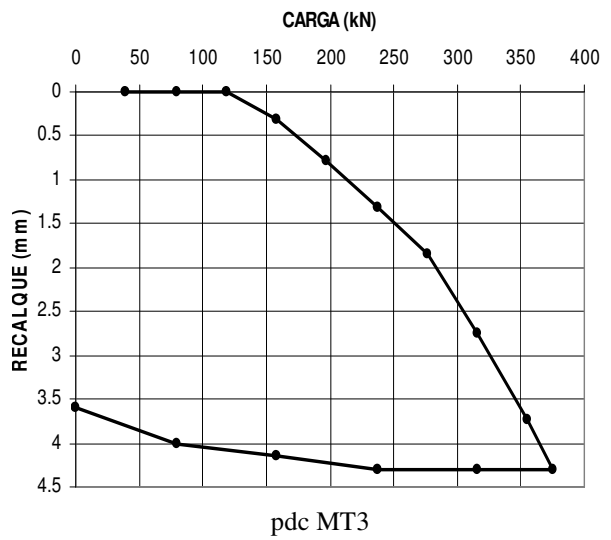
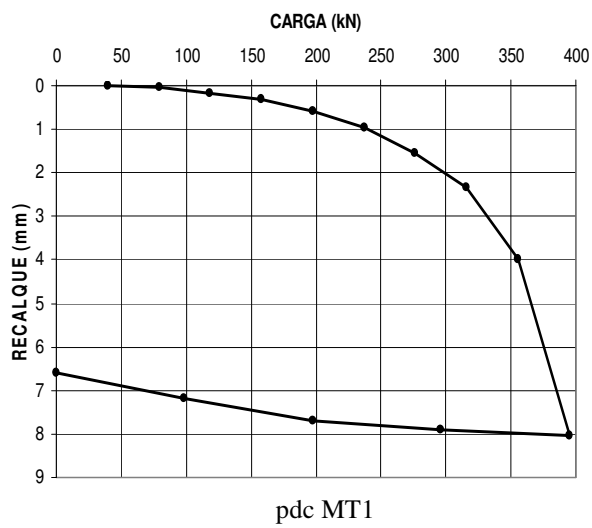
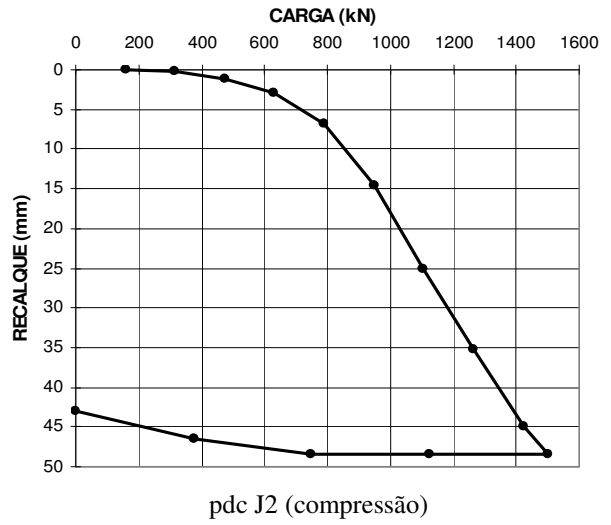
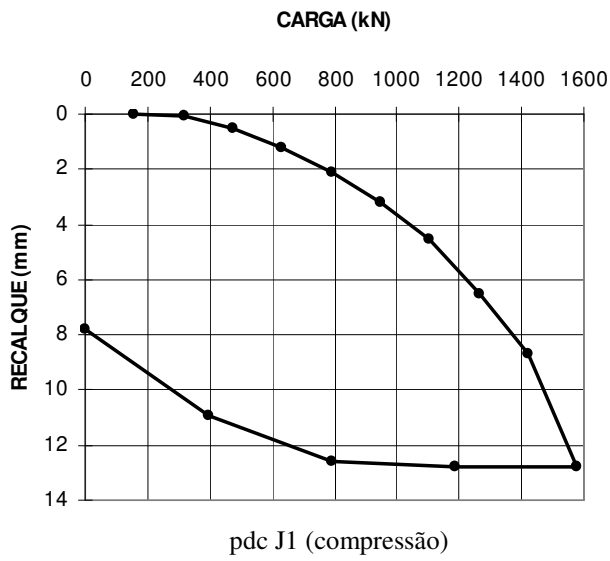


Figura 7b – Curvas carga x recalque de compressão e tração.



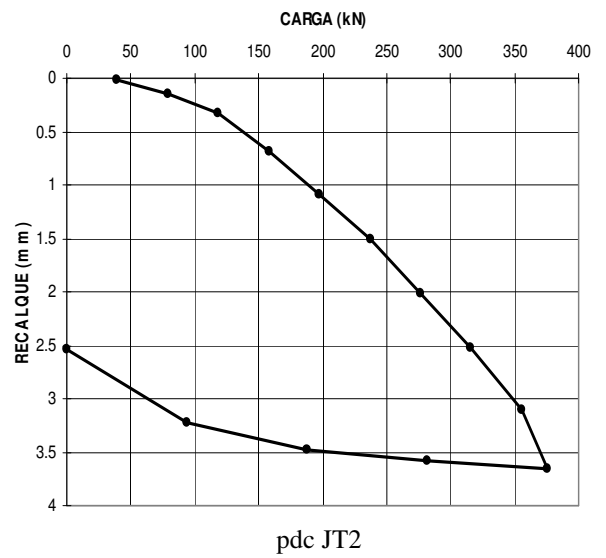
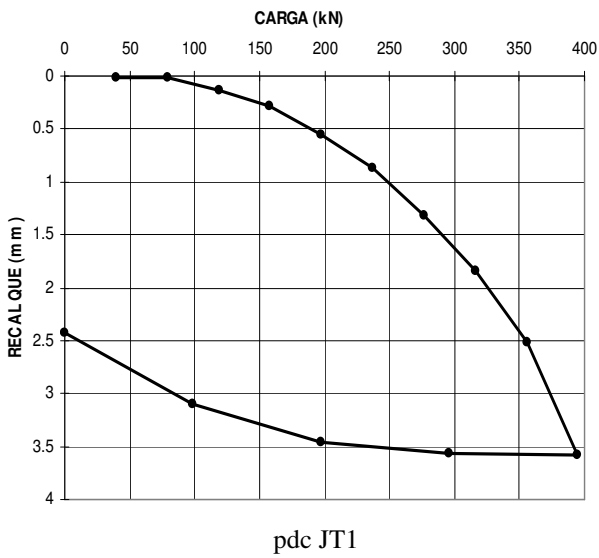
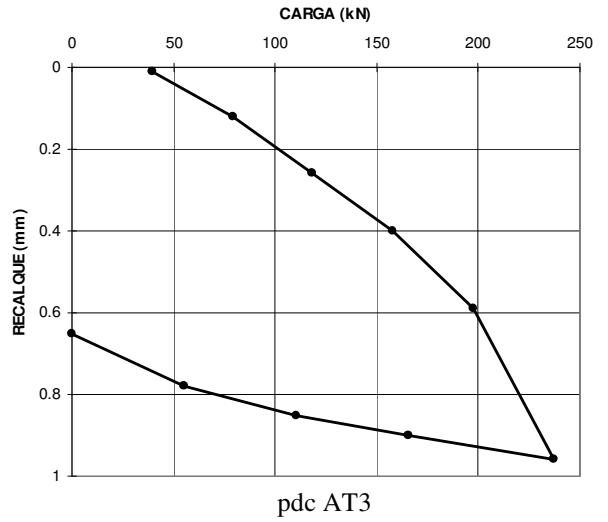
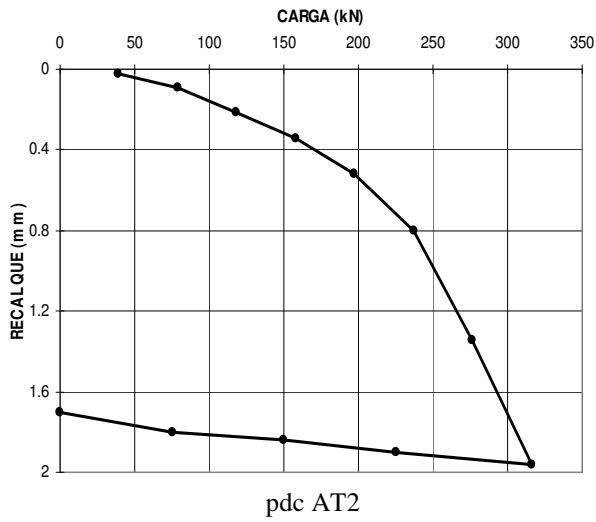
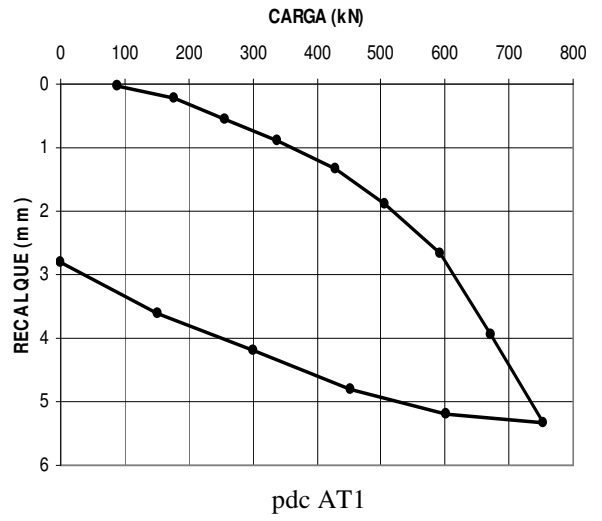
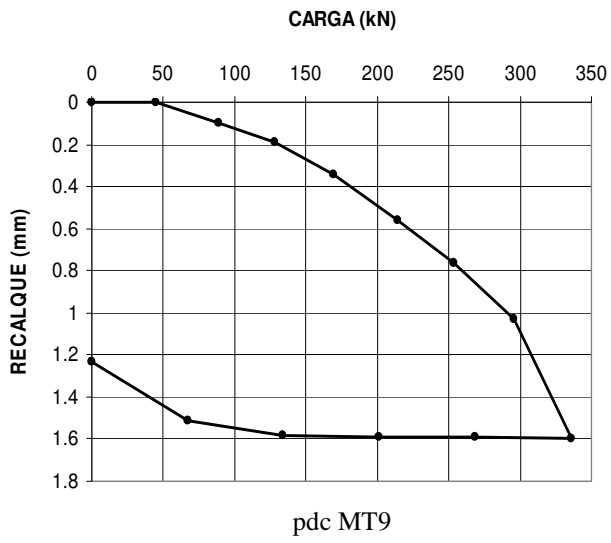


Figura 7b – Curvas carga x recalque de compressão e tração (continuação).

### 3.4 CASO ESPECIAL

A estaca M7 é tratada como especial, porque além de ter sido considerada como estaca-T, o bloco-sapata com dimensões da base de 1,50 m x 1,50 m, propositadamente, apoia-se na profundidade de 2,50 m, onde se tem transição de argila arenosa muito mole para areia fina siltosa fofa com SPT de 1 e 2 golpes (Figura 8).

Com objetivo de se obter a carga absorvida pela estaca nos primeiros 50 mm de recalque, apoiou-se o bloco-sapata sobre um isopor de 5 cm de espessura. A Figura 9 apresenta a curva carga x recalque do conjunto bloco-sapata/estaca (estaca T). No trecho de A a B dessa curva, teve-se tão somente a participação da estaca isoladamente. A partir de B o bloco-sapata apoiou-se no solo e o conjunto passou a absorver a carga conjuntamente. Aplicando-se Van Der Veen às duas situações, encontra-se carga de ruptura para a estaca trabalhando isoladamente de 2060 kN e para o conjunto 2730 kN.

Este resultado mostra que mesmo nos terrenos de baixíssima capacidade de carga a contribuição do bloco sapata de coroamento é considerável. Neste caso, teve-se um ganho de mais de 30% na carga de ruptura da estaca. Este fato é relevante nos projetos de fundações de estruturas que admitem recalques maiores. Além disto, tem-se uma segurança maior, quanto a não ocorrência da ruptura brusca, ou física, segundo Décourt (1994).



Figura 8 – Perfil do subsolo do terreno da estaca M7.

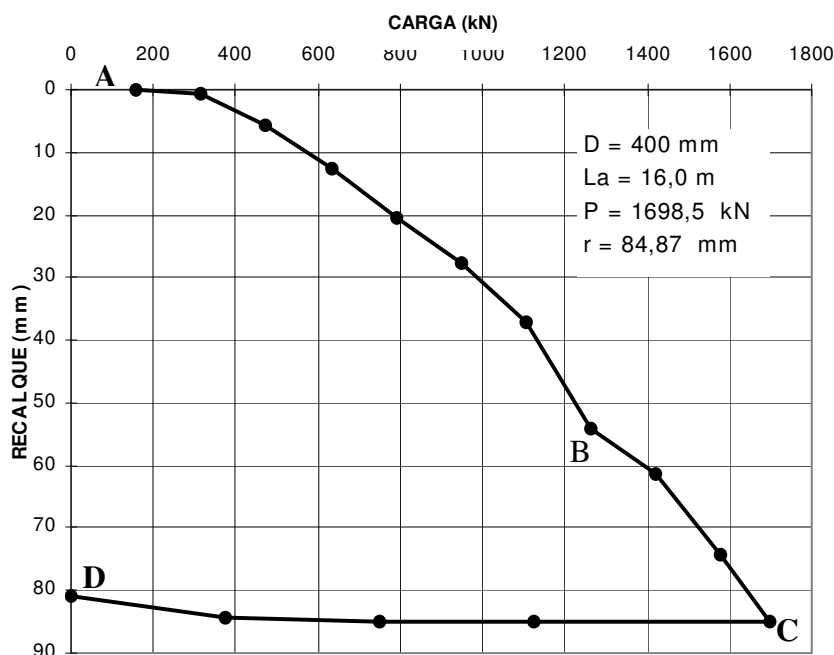


Figura 9 – Curva carga x recalque do bloco sapata/estaca (M7).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluindo a apresentação desse trabalho observa-se e acrescenta-se o seguinte:

- Os resultados apresentados na Tabela 1, comparados com os de prova de carga publicados por Marques (1997) para essas estacas sem bulbos e de características semelhantes (diâmetro do fuste, comprimento e perfil do subsolo), observa-se que os bulbos aumentam de 1,5 a 2,0 vezes a capacidade de carga das estacas escavadas injetadas.
- Essas estacas apoiadas dentro da rocha, têm excelente capacidade de carga, a compressão e a tração, e podem (nessas condições) ser curtíssimas.
- A utilização dessas estacas em sistema de reação de prova de carga é uma boa opção econômica e eficiente.
- O processo de execução, os afunilamentos de fuste e os formatos dos bulbos (principalmente o da base em forma de pião) são responsáveis pelo tipo de deformação sempre contínua (ou ruptura por deformação excessiva), que se observa nas curvas carga x recalque (Figuras 7a e 7b). Esse fato é muito importante nos projetos de fundação em que o bloco de coroamento participa na transferência de carga ao terreno.
- O resultado da pdc da estaca M7 (estaca T) demonstra que o recalque excessivo torna-se positivo nos projetos em que se pretende, também, transferir carga através do bloco de coroamento a solos considerados muito compressíveis.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- ABNT/NBR 3472 (1991) – Estacas – Prova de Carga Estática.
- ABNT/NBR 6118 (1978) – Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado.
- ABNT/NBR 6122 (1996) – Projeto e Execução de Fundações.
- CAMPOS, G. C.; SOBRINHO, R. R. (1996) – Comportamento de Fundação Mista em Prova de Carga Estática Instrumentada. III Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia. Vol. 1, pg. 193, São Paulo, SP.
- CASTELLO, R. R.; POLIDO, U. F.; LIMA, G. P. (1996) – Provas de Carga à Tração em Estaca Raiz Engastada em Rocha. III Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia. Vol. 1, pg. 237, São Paulo, SP.

- DÉCOURT, L. (1994) – Uma Aplicação Prática da Teoria dos Radiers Estaqueados. A Estaca T. X COBRAMSEF. Vol. 1, pg. 311, Foz do Iguaçu, PR.
- DÉCOURT, L. (1996) – Comportamento de uma Estaca-T Submetida a Carregamentos Elevados. III Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia. Vol. 1, pg. 205, São Paulo , SP.
- MARQUES, J. A. F. (1997) – Execução e Previsão de Capacidade de Carga de Estacas Rotativas Injetadas, Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos , SP.
- SIMONS, N. E. (1981) – Introdução à Engenharia de Fundações. Editora Interciência, Rio de Janeiro, RJ.
- VAL, E.C.; MELLO, L. G. F. S (1986) – Estimativa da Contribuição do Bloco na Capacidade de Carga de Grupos de Estacas. VIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. Vol. VI, pg. 297, Porto Alegre, RS.