

# ENSAIOS DE CONE HOLANDÊS E ENSAIO DE ESTACAS NUM SOLO RESIDUAL GRANÍTICO\*

## CPT and pile tests in granitic residual soils

por

FRANCISCO FERREIRA MARTINS\*\*

JÚLIO BARREIROS MARTINS\*\*\*

**RESUMO** — Realizaram-se ensaios de cone holandês e ensaios de estacas em solos residuais graníticos e compararam-se os resultados dos dois tipos de ensaios. Foram ensaiadas duas estacas, uma de 600 mm de diâmetro feita com tubo aberto e extração de solo e outra de 500 mm feita com a cravação no solo de um tubo fechado. Os resultados obtidos são comparados com alguns ensaios de penetração estática feitos previamente no mesmo local e também com os resultados obtidos usando a fórmula da capacidade de carga aplicando as características de resistência ao corte obtidas em ensaio triaxial.

**SYNOPSIS** — Cone penetrometer tests and pile tests have been performed in residual granitic soils and results are compared. Two piles have been tested one 600 mm diameter bored pile and other 500 mm driven tube pile. Results are compared with some penetrometer tests previously done at the same site and also with results from bearing capacity formulae and triaxial shear strength characteristics.

### 1 — INTRODUÇÃO

Em Azurém, na cidade de Guimarães, existem afloramentos graníticos. Contudo, na margem direita de um pequeno rio que atravessa a área, existem solos residuais graníticos e a rocha compacta encontra-se a profundidades variáveis desde poucos metros até próximo de 20 m.

As fundações de um conjunto de edifícios foram feitas em estacaria cujas ponteiros não alcançaram a rocha compacta pois os prédios eram só de três andares.

Inicialmente foram executadas estacas de betão armado de 600 mm moldadas no terreno. Durante a furação das estacas foi constatado que, embora os solos residuais graníticos fossem bastante impermeáveis, circulava na direcção do furo água em abundância que saturava a massa do solo. Isto é, a água percolava em veios ao longo da massa de solo.

Por esta razão o solo retirado do tubo de revestimento da estaca era brando e supõe-se que o amolecimento do solo na fronteira da estaca também ocorre antes da colocação do betão fresco no furo e da remoção do tubo de revestimento.

Por esta razão a capacidade de carga da estaca estava abaixo do valor estimado com base nos resultados obtidos nos ensaios de penetração estática antes realizados.

---

\* Versão em português de uma comunicação apresentada na 12.<sup>a</sup> Conferência Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Rio de Janeiro, Agosto de 1989.

\*\* Engenheiro Civil, Assistente do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Braga, Portugal.

\*\*\* Professor Catedrático de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Braga, Portugal.

O amolecimento do solo originou que se fizesse uma mudança no tipo de estaca. Foram realizadas estacas com tubo cravado e fechado na ponta de 500 mm de diâmetro e uma delas foi ensaiada apresentando um comportamento um pouco melhor.

As cargas foram aplicadas nas estacas de ensaio por um macaco reagindo contra o centro da base de uma grande caixa de madeira contendo areia.

Foram lidos os assentamentos em dois deflectómetros instalados numa viga suportada independentemente da caixa de areia e com as suas pontas no topo da estaca. Os deflectómetros estavam em pontos opostos da cabeça da estaca e foi tomada a média das leituras.

Os deslocamentos foram confirmados por um sistema independente de nivelamento, lendo uma régua milimétrica ligada à cabeça da estaca com um nível.

A partir de grandes blocos de solo extraído do fundo do furo, durante a furação para as estacas executadas com tubo aberto, foram colhidas algumas amostras “inalteradas” nas quais foram realizados ensaios triaxiais convencionais. Antes disso tinham sido realizados ensaios com penetrómetro dinâmico lado a lado com ensaios de penetração estática sendo estabelecida uma correlação entre eles considerando os resultados obtidos não só neste lugar mas também noutros lugares. Para um peso de 15 kg caindo de 0,40 m de altura e uma ponta cônica de 0,04 m de diâmetro foi verificado que para 0,25 m de penetração dinâmica o número de pancadas é aproximadamente igual à resistência de ponta do solo em kgf/cm<sup>2</sup> medida no cone estático (holandês).

## 2 — ENSAIOS DE ESTACAS

A primeira estaca a ser ensaiada foi a estaca N.º 77 de 600 mm de diâmetro e 7,20 m de comprimento realizada com tubo aberto e extração de solo. É uma estaca de betão armado com 8 ferros de 16 mm de diâmetro e com cintas helicoidais de 8 mm espaçadas 25 cm.

As cargas foram aplicadas por acréscimos de 20 toneladas primeiro e 10 toneladas depois até à carga de “projecto” de 170 toneladas. Em cada passo a carga era mantida constante até à estabilização das leituras dos aparelhos de medida e a carga final permaneceu durante 17 horas na estaca. Depois a estaca foi descarregada por etapas na mesma razão até à carga nula permanecendo descarregada durante 16 horas antes de iniciar um novo ciclo de carregamento até 190 toneladas. O assentamento residual (permanente) para o primeiro ciclo de carga foi 35,5 mm (Fig. 1).

O tempo de permanência sob a carga máxima de 190 toneladas foi apenas de 1/4 de hora sendo feita de seguida a descarga ao mesmo ritmo da carga e permanecendo a estaca descarregada 1/4 de hora. Devido a este segundo ciclo de carga e descarga os assentamentos residuais aumentaram para 47 mm. Um terceiro ciclo de carga foi então iniciado até 170 toneladas seguido da descarga final sendo o assentamento permanente final de 51 mm.

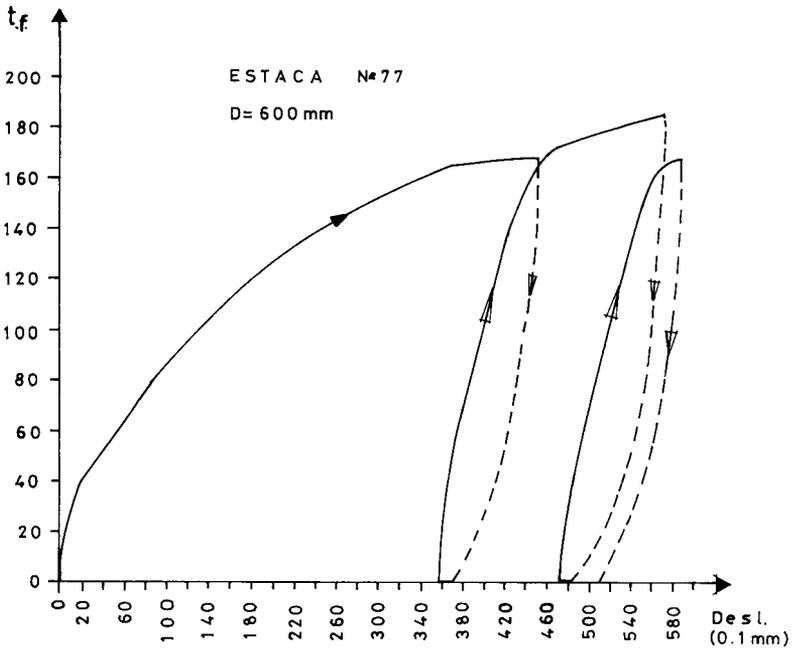


Fig. 1 — Curvas carga-deslocamento

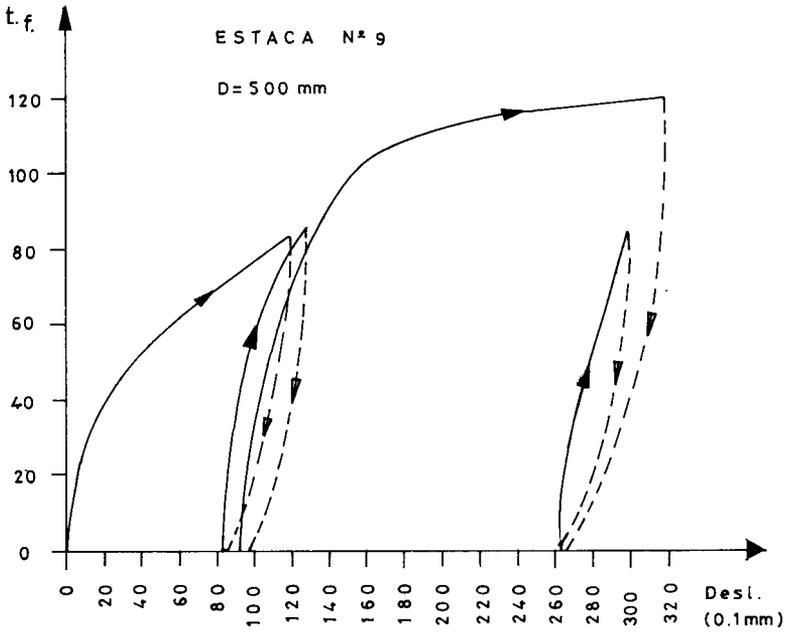


Fig. 2 — Curvas carga-deslocamento

A segunda estaca ensaiada foi a estaca N.º 9, uma estaca executada com tubo cravado fechado na ponta, de 500 mm de diâmetro e 7,20 m de comprimento e armada de forma idêntica à estaca N.º 77.

Nos primeiros ciclos a carga foi aumentada ao mesmo ritmo até 84 toneladas (carga de “projecto”) que permaneceu na estaca durante 21 horas. Depois a estaca foi descarregada e permaneceu sem carga durante 1 hora e 15 minutos. O assentamento permanente correspondente a este ciclo de carregamento foi 8,5 mm. Então um segundo ciclo de carregamento foi realizado de novo até 84 toneladas. Depois da descarga neste ciclo o assentamento permanente aumentou só 1 mm. Num terceiro ciclo a carga foi aumentada até 120 toneladas e aí permaneceu durante 16 horas. Depois a estaca foi descarregada e permaneceu 1 hora e 10 minutos sem carga. O assentamento permanente acumulado foi de 26 mm.

Um último ciclo de carga foi realizado até 84 toneladas sem aumento do assentamento permanente.

### 3 — COMENTÁRIOS SOBRE OS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ESTACAS

O assentamento da estaca de 600 mm para a carga de projecto foi demasiado grande para ser aceitável, e a estaca com a carga máxima de 190 toneladas não estava longe da rotura. Contudo, o último ciclo de carga a 170 toneladas mostra um aumento do assentamento permanente de somente 4 mm, comparado com os 35,5 mm do primeiro ciclo tendo essa mesma carga como máximo.

A estaca de tubo cravado de 500 mm de diâmetro portou-se melhor. Contudo, deve ser dito que as cargas de “projecto” não estão em proporção com as áreas das secções rectas das estacas. Se considerarmos essa proporção a carga de “projecto” da estaca de 500 mm seria de 118 toneladas e, nesse caso, o assentamento máximo permanente atingiria cerca de 18 mm ou mais para o primeiro ciclo de carga, o que também seria inaceitável.

### 4 — ENSAIOS DE PENETRAÇÃO ESTÁTICA

Foram realizados ensaios com o cone holandês nos locais das estacas. A área da secção recta do cone é 10 cm<sup>2</sup>.

A Fig. 3 mostra as tensões de ponta medidas. As leituras foram feitas ao fim de cada 0,25 m de penetração. Verifica-se que até cerca de 3 m em profundidade os valores da resistência são muito baixos o que corresponde à primeira camada do solo argiloso acastanhado.

Segue-se um aumento acentuado na resistência de ponta correspondente ao solo residual granítico que nas condições naturais é muito compacto. No local da estaca N.º 77 (600 mm)

a resistência de ponta atingiu 15 000 kPa (15 MPa) com oscilações, descendo até 8000 kPa (80 kgf/cm<sup>2</sup>).

No local da estaca N.º 9 (500 mm) a resistência de ponta alcançou o valor máximo de 9000 kPa (Fig. 4).

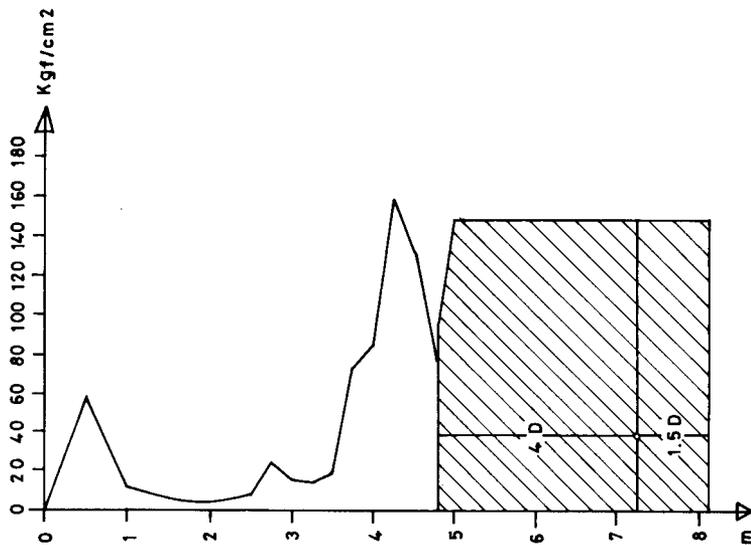


Fig. 3 — Resistência de ponta no sítio da estaca de 600 mm

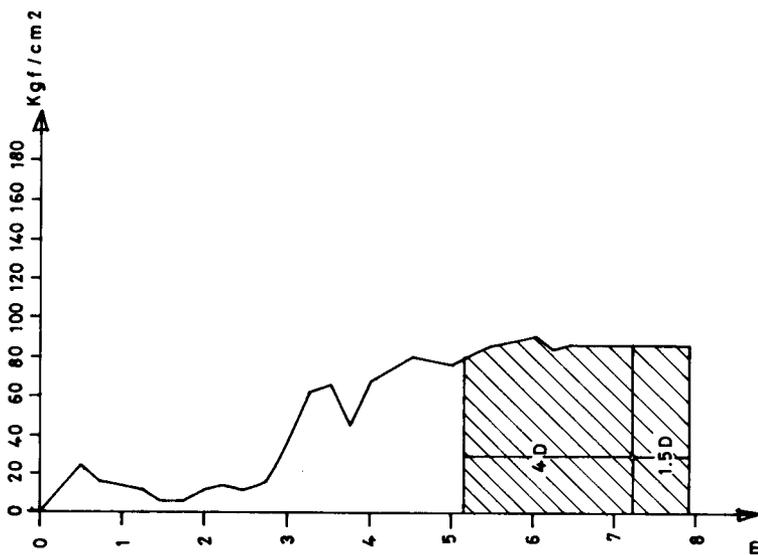


Fig. 4 — Resistência de ponta no sítio da estaca de 500 mm

## 5 — CAPACIDADE DE CARGA A PARTIR DOS ENSAIOS DE CONE

O desenvolvimento da rotura do solo próximo da ponteira da estaca envolve uma altura de solo de vários diâmetros de estaca.

Se considerarmos os valores médios da resistência de ponta do cone 1,5 diâmetros de estaca abaixo e 4 diâmetros acima da ponteira da estaca a capacidade de carga última da estaca de 600 mm seria cerca de 400 toneladas. Contudo, como se refere acima, o solo foi enfraquecido durante a furação da estaca devido à acção da água natural. Por isso, a resistência média do cone deve ser multiplicada por um factor de redução. Como o atrito lateral dá uma pequena contribuição para a capacidade de carga da estaca, vemos que o factor de redução será cerca de  $\frac{190}{400} = 0,475$ .

Para a estaca de tubo cravado e fechado na ponta aquele factor de redução seria cerca de 0,75.

## 6 — PARÂMETROS DO SOLO

As curvas granulométricas do solo são dadas na Fig. 5.

O grau de humidade médio das amostras ensaiadas foi de 23,2% com um mínimo de 19,9% e um máximo de 25,4%. A baridade seca média foi de 15,7 kN/m<sup>3</sup> com um mínimo de 14,9 kN/m<sup>3</sup> e um máximo de 16,6 kN/m<sup>3</sup>. O ângulo de atrito médio medido nos ensaios triaxiais foi 29,8° e a coesão média foi 27 kPa. O ângulo de atrito máximo foi de 31° e o mínimo de 29°. A coesão máxima foi 36 kPa e a mínima foi zero.

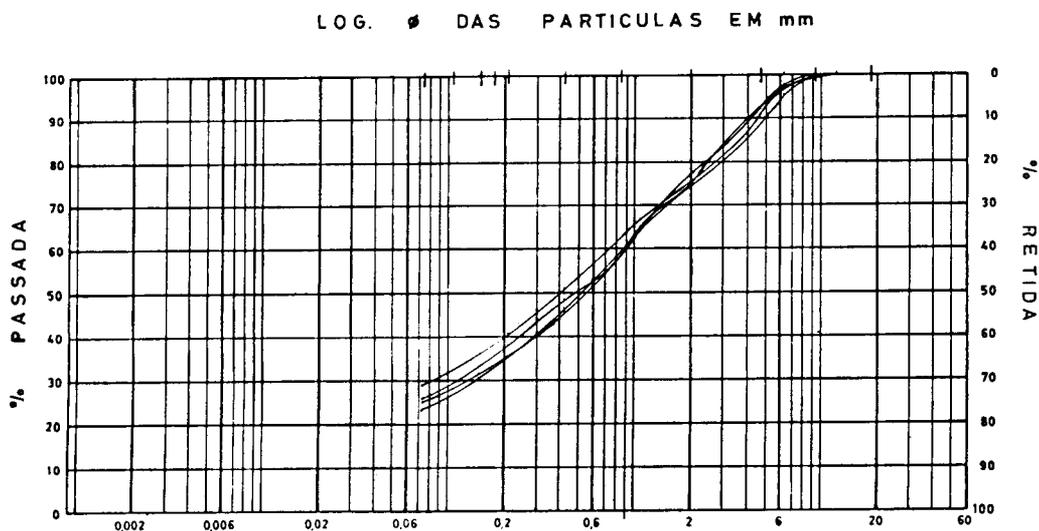


Fig. 5

## 7 — CAPACIDADE DE CARGA DAS ESTACAS A PARTIR DA RESISTÊNCIA AO CORTE OBTIDA EM LABORATÓRIO

Para obter a capacidade de carga das estacas a partir de resultados de ensaios laboratoriais usamos as fórmulas de capacidade de carga de Vesic (Bowles, 1977):

$$q_{ult} = cN_c S_c i_c d_c b_c + gN_q S_q d_q i_q g_q b_q + B/2\gamma N_\gamma S_\gamma i_\gamma d_\gamma g_\gamma b_\gamma \quad (7.1)$$

onde

- $q_{ult}$  = capacidade de carga por unidade de área da secção recta da estaca;
- $c$  = coesão do solo;
- $N_q = K_p \exp(\pi \tan \phi)$ ;
- $K_p$  = coeficiente de impulso de terras (passivo)  $(1 + \sin \phi) / (1 - \sin \phi)$ ;
- $N_c = (N_q - 1) \cot \phi$ ;
- $N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi$ ;
- $S$  = factor de forma;
- $d$  = factores de profundidade;
- $i$  = factor para a inclinação e excentricidade da carga;
- $g$  = factores para a inclinação do talude e
- $b$  = factores para a inclinação da base da fundação

Neste caso  $i = g = b = 1$ .

Podemos esquecer a última parcela em (7.1) pois o diâmetro  $B$  das estacas é pequeno comparado com a profundidade  $D$ .

$$S_c = 1 + (B/L) (N_q/N_c). (L = B \text{ no caso})$$

$$S_q = 1 + (B/L) \tan \phi$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi_1 (1 - \sin \phi_1)^2 \arctan (D/B)$$

$$d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \tan \phi_1} \quad (\phi_1 \text{ e } \phi, \text{ ângulos de atrito do solo acima e abaixo da ponteira da estaca, respectivamente}).$$

Aplicando a fórmula acima referida à capacidade de carga de ponta da estaca de 600 mm de diâmetro com  $\phi = 29,8^\circ$ ,  $c = 27$  kPa, obtemos

$$Q_{ult} = 195 \text{ tf}$$

A este número adicionaríamos a resistência por atrito lateral. Como a estaca é pequena e o solo foi remexido durante a instalação da estaca a contribuição do atrito lateral deve ser pequena.

A aplicação da mesma fórmula à capacidade de carga de ponta da estaca de tubo cravado e fechado na ponta, dará

$$Q_{ult} = 136 \text{ tf}$$

## 8 — CONCLUSÕES

A resistência dos solos residuais durante a furação para estacas é reduzida principalmente se existir infiltração de água no furo. Por isso, o valor médio da resistência de ponta do cone holandês deve ser multiplicado por um factor de redução que, neste caso, se encontrou igual a cerca de 0,5.

Para estacas com tubo cravado e fechado na ponta este factor de redução parece ser maior, i.e., a resistência do solo tem uma menor redução na instalação da estaca.

Para fixar valores seguros para estes factores de redução muitos mais resultados experimentais são necessários e de outros sítios.

Os resultados obtidos dos ensaios laboratoriais e pela aplicação das fórmulas da capacidade de carga são muito bons. Contudo, observa-se que o solo ensaiado foi obtido durante a furação das estacas, por isso enfraquecido e, portanto, pensamos que aqueles bons resultados foram obtidos em parte por acaso.

Para estes solos verifica-se que o assentamento das estacas nos últimos ciclos de carga, mesmo depois de o solo se ter aproximado da carga “última”, é muito mais pequeno do que o correspondente assentamento para o 1.º ciclo de carga.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOWLES, J.E. (1977) — *Foundation analysis and design*. 2.ª edição, McGraw Hill Book C., New York.