

# REVISÃO DOS MÉTODOS UTILIZADOS NOS ENSAIOS DE CARGA EM ESTACAS\*

por

P. S. SÊCO e PINTO\*\*

**RESUMO** – Passa-se em revista os critérios de execução e interpretação de ensaios de carga em estacas. Refere-se a códigos de vários países bem como propostas de alguns investigadores. Conclui-se pela necessidade de mais ampla investigação que permita superar as dúvidas existentes na definição da carga de rotura.

**SYNOPSIS** – A revision of recommended load test procedures in piles is presented. Codes of several countries and methods proposed by some researchers are examined. Need of additional experimental work on pile failure definition is stressed.

## NOTA TÉCNICA

### 1 – INTRODUÇÃO

A literatura da especialidade é pródiga na apresentação de publicações que contêm critérios de condução e interpretação de ensaios de carga em estacas. Pese embora a falta de novidade desta Nota Técnica, afigurou-se que não seria destituído de interesse dispor-se de uma síntese em que figurem códigos de vários países e propostas de alguns investigadores quanto a esta problemática.

---

\* Trabalho recebido em Dezembro de 1979. A discussão do trabalho está aberta durante um período de três meses.

\*\* Engenheiro Estagiário p. Especialista do LNEC.

Serviu de base o trabalho de Renau (1972) acrescido no entanto de critérios propostos por outros autores.

Procurou-se focar os ensaios de compressão em estacas, de uso mais generalizado, ultrapassando o conteúdo destas notas o comportamento das estacas sujeitas à tracção. Também não são contemplados os métodos dinâmicos utilizados na determinação da capacidade de carga de estacas.

## 2 – GENERALIDADES

O espírito subjacente à realização dos ensaios de carga em estacas pode ser sintetizado nos seguintes itens:

- a) Com objectivos meramente de investigação, emergindo a intenção de lançar mais luz na problemática do comportamento das estacas.
- b) Como investigação de campo na busca de resposta a certas questões específicas relacionadas com a escolha do tipo, afastamento e capacidade de carga de estacas.
- c) Como contraprova do comportamento das estacas construídas, procurando-se testar, através do ensaio de um número restrito de estacas, as hipóteses do projecto. O objectivo directo destes ensaios é a determinação da capacidade de carga mínima das estacas, valor extremamente dependente das dificuldades encontradas na execução das estacas que, por vezes, são difíceis de serem superadas.

## 3 – CÓDIGOS E NORMAS DE VÁRIOS PAÍSES

Passa-se em seguida em revista os códigos e normas vigentes em vários países quanto a condução e interpretação dos ensaios de carga em estacas:

### *Normas DIN 1054 (Alemanha)*

Os escalões de carga a actuar nas estacas devem desenhar com clareza a curva cargas-assentamentos, procurando-se que os ensaios sejam levados à rotura sempre que possível. Uma vez retirada a carga deve-se medir o assentamento residual que é um índice de muito interesse. Define-se carga de rotura como

o início do punçonnement da estaca. Se a estrutura for susceptível de sofrer assentamentos sem apresentar danos, pode-se tomar como carga admissível metade da carga de rotura.

*Civil Engineering Code of Practice (CECP) (Inglaterra)*

O processo de carregamento das estacas deve ser em incrementos iguais não se devendo exceder o dobro da carga de serviço. Em cada um dos escalões devem ser registados os valores das cargas, dos assentamentos e dos tempos.

As cargas devem ser retiradas em escalões iguais, esperando-se que a recuperação devida a cada redução seja completa antes de se efectuar nova redução. Tem particular interesse o registo do assentamento residual.

No diagrama cargas-assentamentos define-se carga de rotura como aquela que provoca um assentamento progressivo, salvo se esse assentamento for tão lento que possa ser explicado pela consolidação do solo. Quando o ensaio não puder ser levado à rotura, este valor pode ser definido da extrapolação da curva cargas-assentamentos.

*Règles DTU, Mars 1966 – Travaux de Fondation Profondes pour le Bâtiment (França)*

A capacidade de carga nominal ( $N$ ) de uma estaca deve ser atingida por escalões de ( $N/4$ ) com paragem de pelo menos 10 minutos em cada escalão.

Após estabilização da carga  $N$  procede-se à descarga por escalões deixando-se recuperar quando se atinge a carga nula.

Num 2.º ciclo procura-se alcançar a carga nominal por escalões de  $N/2$ , mantendo-se aquela durante um período de pelo menos 10 minutos. Em seguida o carregamento é levado ao valor  $E$  ( $E = 1,5$  a  $2,0 N$ ) em incrementos iguais a  $(E - N)/2$ , sendo  $E$  mantido até à sua completa estabilização.

A descarga processa-se por escalões sendo anotado o assentamento residual para carga nula.

Tendo em atenção a informação do empreiteiro sobre o comportamento das estacas durante os ensaios de carga, o dono da obra fixará, ouvido o empreiteiro, se assim for necessário, as cargas admissíveis sobre as estacas.

*BCH – Ministério de Transporte (U.R.S.S.)*

O carregamento das estacas deve ser processado de uma forma progressiva ou diferenciada, sendo no primeiro caso os incrementos de  $1/10$  a  $1/15$  da carga limite e na última situação de  $1/2,5$  a  $1/5$  no início de ensaio e de  $1/10$  a  $1/15$  nas etapas finais.

Considera-se atingida a rotura quando após aplicação das cargas por incrementos de  $1/10$  a  $1/15$  da suposta carga limite e após se ter verificado um assentamento de pelo menos 40 mm, o assentamento devido a um incremento de carga for superior em pelo menos 5 vezes ao assentamento induzido pelo escalão de carga anterior e não houver estabilização dos assentamentos após 24 horas.

Pode-se admitir para tensão de serviço da estaca o valor da carga de rotura multiplicada por um coeficiente de 0,5 ou 0,6.

*N. Y. – (Código da cidade New York)*

O ensaio é conduzido em sete incrementos iguais a  $1/2$ ;  $3/4$ ; 1; 1,25; 1,5; 1,75 e 2 vezes a carga de serviço. Para escalões de carga superiores a carga de serviço cada escalão deve ser mantido até que haja invariância de assentamentos num período de 2 horas. A carga limite deve ser conservada até que o assentamento observado em 48 horas seja inferior a 0,3 mm. A descarga é efectuada por decréscimos que não excedam  $1/4$  da carga total sendo cada escalão mantido por um período não inferior a 1 hora. Em cada decréscimo será anotada a recuperação, bem como o assentamento residual após 24 horas da retirada total de carga.

A carga de serviço será a menor das seguintes:

- metade da carga que provoca um assentamento não superior a 0,25 mm por tonelada da carga máxima do ensaio (duas vezes a carga de serviço).
- metade da carga que provoca um assentamento total de 2,54 cm.

*B – (Código de Boston)*

O carregamento de estacas deve ser segundo incrementos que não excedam 5 toneladas até se atingir o dobro da carga de serviço, devendo decorrer um

intervalo de pelo menos 4 horas entre dois incrementos de carga consecutivos.

A carga admissível não deve exceder  $1/2$  da carga que seja susceptível de provocar um assentamento permanente de 12,7 mm, após permanência de 48 horas.

#### *Código da África do Sul (1964)*

A carga inicial deve ser igual à carga do projecto, sendo posteriormente removida quando se notar invariância de assentamentos. O procedimento é repetido sendo a carga aumentada em cada escalão segundo incrementos iguais a 25% da carga inicial.

Quando se pretender determinar a capacidade de carga das estacas o ensaio deve ser levado até duas vezes a carga de serviço.

#### *Normas A.S.T.M. (1974, U.S.A.)*

A estaca é carregada por oito incrementos iguais até se atingir 200% da carga de serviço da estaca, sendo em seguida descarregada em 4 etapas. Cada escalão de carga deve ser mantido até que a taxa de assentamento seja 0,3 mm/h (0,005 mm/10 min.) ou um intervalo de tempo de 2 h, optando-se pela situação que ocorrer primeiro. A carga de 200% deve ser mantida por 24 h. O ensaio em termos médios tem a duração de 70 h sendo portanto conhecido como um ensaio do “tipo lento”.

#### *Royal Swedish Academy of Engineering (Suécia)*

O Comité Sueco que investiga o comportamento das estacas preconiza uma modalidade de ensaio cíclico em que a estaca é inicialmente carregada a  $1/3$  da carga de serviço e em seguida descarregada para  $1/6$  daquele valor. O processo é repetido 20 vezes com a duração de cerca de 20 minutos para cada ciclo, sendo em seguida as cargas elevadas de cerca de 50% do valor inicial. A estaca é levada à rotura com a utilização de 20 ciclos para cada combinação de carga. Com o incremento das cargas, a taxa de deformação cresce até se atingir um patamar que permite definir o valor de cedência.

No sentido de evitar interpretações subjectivas do ensaio o Comité Sueco recomenda o traçado de gráficos deslocamentos – log número de ciclos. Sugeriu o critério dos 90% apresentado por Brinch Hansen (1963) segundo o qual a rotura é representada pela carga em que o deslocamento é o dobro do deslocamento correspondente a 90% da carga anterior. Admitiu que o diagrama cargas-assentamento exhibia na zona de rotura uma forma hiperbólica.

*A. B. N. T. (1969, NB-20, Brasil)*

O ensaio é conduzido em incrementos não superiores a 20% da carga de serviço, com registo dos assentamentos nos seguintes intervalos de tempo: 1, 2, 4, 8, 15, 30 minutos; 1, 2, 3, 4 horas etc. A passagem a novo escalão de cargas implica estabilização dos assentamentos, admitindo-se uma tolerância máxima de 5% do assentamento total registado neste escalão, entre leituras sucessivas. Se o ensaio não for levado à rotura, deve ser continuado até se observar um assentamento total de 15 mm, ou ser atingida 1,5 a carga de serviço, que deve ser mantida por um período não inferior a 12 horas, com registo dos assentamentos nos intervalos de tempo anteriormente referidos.

A descarga processa-se por escalões não superiores a 25% da carga total procurando-se a estabilização dos assentamentos em cada uma das etapas.

A relação entre a carga de rotura e a carga de serviço na estaca deve ser no mínimo igual a 2. Se a rotura não for atingida a carga admissível será 1/1.5 da carga que conduz a um assentamento compatível com a sensibilidade (ver NB-51, 1978), da construção projectada, não podendo exceder metade da carga de rotura estimada, definida como aquela que conduz a um assentamento que exceda a deformação da estaca de  $D/30$ , sendo D o diâmetro da estaca.

#### 4 – PROPOSTAS DE ALGUNS INVESTIGADORES

##### *a) Ensaio de taxa de penetração constante*

Esta modalidade de ensaio foi desenvolvida por Whitaker (1957) com recurso a modelos testados em laboratório. Posteriormente idênticos ensaios

foram realizados em estaleiro, sendo a progressão da cabeça de estaca sujeita a uma taxa de 0,04 a 0,36 cm/min. Parece no entanto ser pouco significativo o efeito da taxa de penetração (Whitaker e Cook, 1961). O ensaio tem a duração de 2 a 3 h tratando-se de um ensaio do tipo rápido.

A generalização desta modalidade de ensaio a estacas situadas em solos argilosos necessita de investigação mais profunda (Whitaker, 1967).

#### b) *Ensaio de tipo rápido*

Fellenius (1975) apresentou uma proposta de ensaio com analogias com o método anterior, visto eliminar a influência do efeito do tempo. A estaca é carregada com incrementos de 15% da carga de serviço até se atingir 300% deste valor. Cada escalão de carga é mantido por um período de 15 minutos com leituras espaçadas de 3 minutos. A duração total do ensaio é de 3 a 5 horas.

Por vezes utiliza-se um método híbrido com passagem desta modalidade de ensaio para a taxa de penetração constante quando a rotura está iminente.

Para interpretação do ensaio sugeriu o critério proposto por Davisson (1972) que tem em conta o comprimento da estaca. Assim, a carga de rotura é definida em relação ao assentamento que exceda a deformação elástica da estaca de  $4 \text{ mm} + B/120$ , sendo B diâmetro da estaca.

#### c) *Ensaio do tipo lento*

Esta modalidade de ensaio segue as normas A.S.T.M. já anteriormente descritas.

Para interpretação dos ensaios deste tipo enumera-se as seguintes propostas:

- De Beer (1967) sugeriu o traçado do diagrama carga-assentamentos em papel duplamente logarítmico, acabando os pontos por se disporem segundo duas rectas cuja intersecção fornece o valor de rotura.

- Housel (1956) preconiza o traçado de gráficos assentamentos versus carga aplicada somente para os valores obtidos para os últimos 30 min. de cada carga. Os pontos dispõem-se segundo duas rectas cuja intersecção define o valor de rotura.

- Mazurkiewicz (1972) admitiu que a curva carga-assentamentos é parabólica na rotura. Assim da intersecção das horizontais tiradas de alguns pontos da

curva com o eixo das cargas desenha-se uma linha a 45° procurando-se a sua intersecção com a horizontal seguinte. Estes pontos dispõem-se seguindo uma linha recta cuja intersecção com o eixo das cargas define a carga de rotura.

## 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

1) Passou-se em revista códigos de vários países e algumas propostas formuladas por investigadores quanto à metodologia de condução de ensaios de carga em estacas, concluindo-se que a definição da carga de rotura continua a ser assunto largamente controverso a atestar pela existência de inúmeras propostas.

2) Face ao 'desconhecimento ainda existente do real comportamento das estacas foram desenvolvidos esforços por D'Appolonia (1963), Tavenas (1971), Cook e Price (1973), Cook (1975), que, fazendo recurso a estacas instrumentadas, procuraram clarificar tal situação.

3) Com uma óptica diferente e no sentido de se inferir da qualidade das estacas construídas ganha ênfase o estudo do "Centre Experimental de Recherches et d'Études du Batiment et des Travaux Publics" (CEBTP) e a sua técnica de controle não destrutivo das estacas pelo "método das vibrações".

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society for Testing and Materials Standards (1974) – "Method of Test for Load Settlement Relationship for Individual Piles under Vertical Axial Loads". Part 11. Designation 1143.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1969). "Prova de Carga à Compressão de Estacas Verticais". NB-20.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1978). "Projecto e Execução de Fundações". NB-51.
- BRINCH HANSEN, J. (1963) – "Discussion of Hyperbolic Stress – Strain Response; Cohesive Soils", by Robert L. Kondner, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, A.S.C.E. Vol. 89, No. SM4, Proc. Paper 3429, July pp. 241-242.
- Centre Experimental de Recherches et d'Études du Batiment et des Travaux Publics (CEBTP). "Controle des pieux por la methode des vibrations". "Controle des pieux por carottage sonique". "Les methodes d'Auscultation des Batiment et des Ouvrages par essais non destructifs".

- COOK, R.K. (1975) - "The Settlement of Friction Pile Foundations". Building Research Station. CP 12/75.
- COOK, R.W. e G. PRINCE (1973) - "Strains and Displacements around Friction Piles". Building Research Station CP 28/73.
- D'APPOLONIA, E. e J.P. ROMUALDI (1963) - "Load Transfer in End-Bearing Steel H-Piles". Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers.
- DAVIS, E.H. e H.G. POULOS (1969) - "A Summary of Some Recent Solutions for the Theoretical Behaviour of Piles". VII Cong. Intern. de Mec. de Suelos e Ing. de Cimentaciones. Sesión especial n.º 8. Trab. n.º 15. México.
- DAVISSON, M.T. (1972) - "High Capacity Piles". Proceedings of A.S.C.E. Lecture Series. Innovations in Foundation Construction. Illinois Section.
- DE BEER, E.F. (1968) - "Proefon der Vindelijke Bidrage tot de Studie van het Greensdraag Vermogen van zand onder Funderingen op Staal", Tijdschrift der Openbar Werken van Belgic, No. 1, 4, 5, 6.
- FELLENIOUS, B.H. (1975) - "Test Loading of Piles and New Proof Testing Procedure", Journal of the Geotechnical Engineering Division. GT9. Setembro pg. 855-869.
- HOUSEL, W.S. (1965) - "Field and Laboratory Correlation of the Bearing Capacity of Hardpan for the Design of Deep Foundation". Proceeding of American Society for Testing and Material. Vol. 56.
- MAZURKIEWICZ, B.K. (1972) - "Test Loading of Piles according to Polish Regulation". Preliminary Report No. 35, Commission on Pile Research, Royal Swedish Academy of Engineering Sciences. Stockholm, Sweden.
- RENAU, L.F. (1972) - "Pruebas de Carga de Pilotes". Monografía del Instituto Eduardo Torroja n.º 307. Madrid.
- Royal Swedish Academy of Engineering Sciences (1970) - "Recommendation for Pile Driving Test and Routine Load Testing of Piles". Preliminary Report n.º 11. Commission on Pile Research.
- South African Bureau of Standards (1964) - "Code of Practice for Pile Foundations".
- TAVENAS, A.F. (1971) - "Load Tests Results on Friction Piles in Sand". Canadian Geotechnical Journal, 8, 7.
- WHITAKER, T. (1957) - "Experiments with Model Piles in Groups", Geotechnique, London. England, Vol. 7, pp. 147-167.
- WHITAKER, T. e R.W. COOK (1961) - "A new Approach to Pile Testing". Proceedings of 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 2. Paris, France, pp. 171-176.
- WHITAKER, T. (1967) - "Experiences with the Constant Rate of Penetration Test for Piles". Current papers: Engineering Series 43. Building Research Station.