

ENSAIOS DE CARREGAMENTO DINÂMICO

RESUMO

Neste breve artigo apresentaremos um dos métodos que avalia fundações profundas, em especial estacas, tanto do ponto de vista da integridade do elemento estrutural de fundação como do comportamento do conjunto solo-fundação sob carregamento: o ensaio de carregamento dinâmico.

Serão apresentados os dispositivos e equipamentos para execução do ensaio, a metodologia executiva, capacidade de carga de estacas, além dos registros e procedimentos de análise dos dados.

PALAVRAS-CHAVE:

Ensaio de carregamento dinâmico. Metodologia executiva. Capacidade de carga.

DEFINIÇÃO

O ensaio de carregamento dinâmico é um ensaio em que se aplica um carregamento dinâmico axial com o objetivo de obter principalmente uma avaliação de sua capacidade de carga, com a utilização de uma instrumentação adequada e com análise fundamentada na teoria da equação de onda. (ABMS/ABEF, 1998).

Segundo a norma brasileira NBR 13208/94, este ensaio aplica-se a estacas, verticais ou inclinadas, independentemente do processo de execução ou de instalação no terreno, desde que exista a possibilidade

de determinar as características geométricas e submetê-las a uma força de impacto.

Dependendo das técnicas e equipamentos empregados, o ensaio de carregamento dinâmico das estacas permite a obtenção de dados de força, aceleração e/ou deslocamento da estaca próximo do seu topo para a avaliação da capacidade de carga, da eficiência do sistema de cravação, das tensões máximas ao longo da estaca, da integridade estrutural, além das características dinâmicas do solo. (ABNT NBR 13208/94).



Figura 01 – Dispositivo de aplicação da força de impacto. Martelo em queda livre. Obra da AP&L Geotecnia e Fundações.

Este ensaio, apesar de ser mais apropriado e ter sido desenvolvido para estacas cravadas, pode ser empregado também em outros tipos de estacas do tipo moldadas “in loco”, como é o caso da figura

01, realizado em estacas escavadas. Neste caso, é preciso montar um sistema especial para aplicação de impactos dinâmicos e provocar deslocamentos suficientes para mobilizar as resistências. (ABMS/ABEF, 1998).

A norma brasileira NBR 6122/10, no seu capítulo de estacas cravadas considera este ensaio de carregamento dinâmico (NBR 13208/94) como uma das alternativas válidas para avaliação da capacidade de carga, reconhecendo-se um suficiente acúmulo de experiência no uso desta técnica. No entanto, estes métodos não devem ser utilizados isoladamente, não se dispensando cálculos estáticos ou mesmo provas de carga. (ABMS/ABEF, 1998).

EXECUÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO DO ENSAIO

Para realizar a instrumentação dinâmica, é utilizado um conjunto básico de instrumentos e equipamentos para aquisição e tratamento de dados. Um dos esquemas mais difundidos utiliza o PDA (Pile Driving Analyzed), como ilustrado na figura 02. Outros conjuntos de equipamentos podem ser utilizados para esta finalidade. (ABMS/ABEF, 1998).

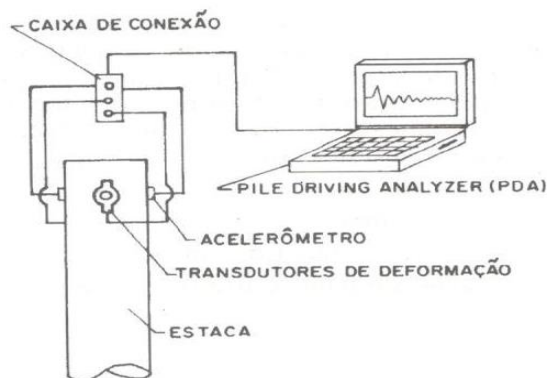


Figura 02- Esquema usual empregado numa instrumentação dinâmica. (ABMS/ABEF, 1998).



Figura 03- Sinais dos sensores são armazenados no analisador de cravação de estacas (PDA). Obra AP&L Geotecnia e Fundações.

De qualquer forma, a instrumentação básica se constitui de transdutores de deformação específica e de acelerômetros, os quais permitem obter, respectivamente, registros de força e velocidade. Estes instrumentos são fixados aos pares numa seção da estaca, próxima do seu topo, em posições diametralmente opostas, a fim de compensar os efeitos de momento fletor. (ABMS/ABEF, 1998). Na figura 04, pode ser observado um par destes instrumentos afixados numa estaca hélice contínua.



Figura 04- Uma estaca instrumentada com acelerômetro e transdutor de deformação. Obra da AP&L Geotecnia e Fundações.

Além da medição de diversos parâmetros de interesse obtidos por meio da instrumentação dinâmica, devem ser feitos também registros da correspondência entre os golpes e as respectivas penetrações da estaca, além da altura de queda do martelo naqueles instantes, valores da resistência a penetração ou de repique, e demais dados de relevância,, como troca de coxim, entre outros. (NBR 13208/94).

Os transdutores, no mínimo quatro, devem ser instalados a uma distancia mínima de dois diâmetros do topo da estaca, e a fixação deve ser feita de modo a impedir o deslocamento destes em relação a estaca durante o golpe, sem afetar suas características de funcionamento. (NBR 13208/94).

REGISTRO E ANÁLISE DE DADOS

Os diversos dados obtidos através da instrumentação dinâmica, além de outros dados como diagrama de cravação, resistência a penetração e repique, devem ser devidamente registrados para permitir eventual análise posterior. Estas análises podem incluir máxima energia transferida, verificação da integridade da estaca, avaliação da capacidade de carga da estaca e respectiva curva de transferência de carga no momento do ensaio. (NBR 13208/94)

Os procedimentos de análise a serem utilizados para interpretação destes dados devem ser aqueles reconhecidamente consagrados em nível nacional e/ou internacional. Particularmente, para avaliação da capacidade de carga, têm-se os seguintes métodos:

- Método simplificado, do tipo “CASE”;
- Método numérico, do tipo “CAPWAP”.

Os resultados dos métodos simplificados, apenas permitem avaliar uma faixa de valores da capacidade de carga. Para uma avaliação mais precisa e confiável da capacidade de carga, os resultados obtidos por método simplificado, para cada lote de estacas de mesmas características na obra, devem ser aferidos por pelo menos uma análise do tipo “CAPWAP” ou por uma prova de carga estática, conforme NBR 12131. (NBR 13208/94).

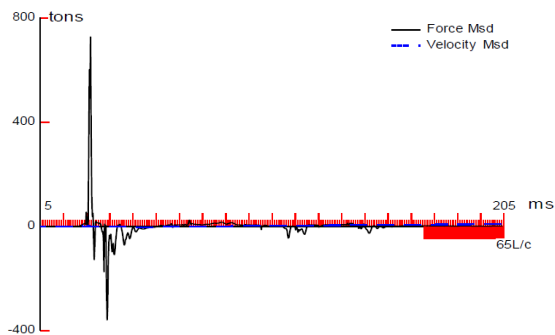


Figura 05- Registro típico obtido numa instrumentação dinâmica. Obra AP&L Geotecnia e Fundações.

A instrumentação da estaca só mede os valores totais de força ou velocidade. Por outro lado, as ondas de deslocamento que propagam em sentidos opostos a estaca é que conduzem informações dos efeitos externos e internos (atrito lateral, danos, variação das camadas, etc).

A figura 05 ilustra um registro típico através da instrumentação dinâmica. As duas curvas mantem a proporcionalidade até que comecem a chegar as ondas refletidas devidas às singularidades originadas a partir da interação da estaca com o terreno, em geral representadas por forças de atrito lateral. (ABMS/ABEF, 1998).

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA

Uma adequada interpretação e análise dos resultados da instrumentação é imprescindível para uma correta avaliação da capacidade de carga da estaca. (ABMS/ABEF, 1998).

Deve ser realizada uma recravação da estaca, decorrido um período suficiente

para a ocorrência de toda a variação de resistência do solo afetada pelo processo de cravação. A capacidade de carga deve ser estimada a partir de um ou dois golpes no início da recravação, utilizando energia igual ou ligeiramente superior àquela utilizada ao final da cravação. (NBR 13208/94)

Evidentemente, existem diferenças inegáveis entre os comportamentos dinâmicos e estáticos do solo. No entanto, verifica-se um maior numero de autores, e de forma predominante, relatando casos onde estimativas de capacidade de carga foram satisfatoriamente correlacionadas com as previsões estáticas ou resultados de provas de carga estática. (ABMS/ABEF, 1998).

QUANTIDADE DE ENSAIOS DINÂMICOS

Segundo a NBR 6122/10, para comprovação de desempenho as provas de carga estáticas podem ser substituídas por ensaios dinâmicos na proporção de cinco ensaios dinâmicos para cada prova de carga estática em obras que tenham um numero de estacas entre os valores da coluna B da tabela 01 e duas vezes esse valor. Acima desse numero de estacas sera obrigatória pelo menos uma prova de carga estática, conforme ABNT NBR 12131. (NBR 6122/10)

Tipo de estaca	A Tensão (admissível) máxima abaixo da qual não serão obrigatórias provas de carga, desde que o número de estacas da obra seja inferior à coluna (B), em MPa ^{b c d}	B Número total de estacas da obra a partir do qual serão obrigatórias provas de carga ^{b c d}
Pré-moldada ^a	7,0	100
Madeira	-	100
Aço	0,5 f_{yk}	100
Hélice e hélice de deslocamento (monitoradas)	5,0	100
Estacas escavadas com ou sem fluido $\Phi \geq 70$ cm	5,0	75
Raiz ^e	15,5	75
Microestaca ^e	15,5	75
Trado segmentado	5,0	50
Franki	7,0	100
Escavadas sem fluido $\Phi < 70$ cm	4,0	100
Strauss	4,0	100

Tabela 01- Quantidade de provas de carga. NBR 6122/10.

RESULTADOS

O ensaio fornece os seguintes resultados:

- **A integridade da estaca:** com o ensaio pode-se detectar se existe algum dano estrutural na estaca desde fissuras até ruptura, sendo possível a determinação da profundidade do dano, mas não a sua dimensão com precisão.

- **Capacidade de carga da estaca:** durante a cravação da estaca é possível obter a capacidade de carga da estaca, definindo-se inclusive a resistência lateral e resistência de ponta.

- **Tensões durante a cravação:** é possível obter as tensões mobilizadas durante a cravação da estaca (tensões de compressão e de tração), diminuindo a possibilidade de danos durante a sua instalação.

- **Eficiência do martelo:** medida importante para a otimização da cravação e do controle do estaqueamento.

Além disso, os resultados devem ser apresentados em relatório oficial no qual devem constar, segundo a NBR 13208/94:

- Dados gerais do projeto, da estaca e sondagens, etc;
- Equipamentos de cravação da estaca, massa do martelo, altura de queda, arranjo para aplicação da força de impacto, etc;
- Estaca ensaiada, carga de trabalho, tipo, matéria, geometria, etc;
- Dados da execução e do ensaio: módulo de elasticidade, densidade e velocidade de propagação da onda na estaca e a forma de sua determinação, comprimento da estaca, valores de força de compressão e deslocamento, máxima energia transferida método utilizado para análise e representação dos resultados obtidos, etc.

REFERÊNCIAS

ABMS/ABEF. **Fundações: Teoria e Prática.**
São Paulo: PINI, 1998. 2.ed.

ABNT NBR 6122:2010. **Projeto e Execução de Fundações.**

ABNT NBR 6118:2003 - **Projeto de estrutura de concreto - Procedimento;**

ABNT NBR 12131:1991 – **Estacas: Prova de carga estática;**

ABNT NBR 13208:1994 – **Estacas – Ensaio de carregamento dinâmico;**

VELLOSO, Dirceu de Alencar. LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações, volume 2: fundações profundas.** Nova Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.