

ESTACAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO

(**CONTROLES** → **ELEMENTO DE
FUNDAÇÃO**)

Eng^o Celso Nogueira Correa

CONTROLE DE CRAVAÇÃO DE ESTACAS PRÉ-MOLDADAS

- Análise do projeto
- Contratação (estaca e equipamento)
- Locação das estacas
- Estabelecer os critérios
- Controle da cravação
- Ensaios para verificação de desempenho (ECD e Ensaio de Integridade)
- Prova de carga a luz da revisão da norma (NBR 6122)
- Levantamento de excentricidades e preparo das estacas para execução dos blocos.

ANÁLISE DE PROJETO

- Definição das estacas (seção, capacidade de carga e comprimentos previstos).
- A locação das estacas em função do CG dos pilares ou CC quando se tratar de associações e ou pilares com geometria assimétrica.
- Notas sobre ensaios, prova de cargas, locação, referências etc.
- Sugestão de detalhes da ligação das estacas com os blocos.

CONTRATAÇÃO DAS ESTACAS

- Seções variadas: circulares, quadradas, hexagonais, octogonais vazadas ou não, tipo estrela etc.
- Comprimentos dos elementos de estacas no mercado variam aproximadamente entre 6,00 e 12,00 m e de metro em metro, com anel de solda nas duas extremidades.
- Importante: as cargas indicadas nos catálogos são cargas máximas estruturais, não devem ser confundidas com as cargas geotécnicas admissíveis.
- As cargas admissíveis das estacas indicadas em projeto, nem sempre são as cargas nominais das estacas (atrito negativo, carga apenas de ponta etc.).
- Estacas armadas especialmente para flexo-compressão ou flexo-tração.

SEÇÕES							
							
Estacas quadradas maciças	Estacas circulares maciças	Estacas hexagonais maciças	Estacas estrela	Estacas quadradas vazadas	Estacas circulares vazadas	Estacas hexagonais vazadas	Estacas octogonais vazadas
							
							
							
							
							
							
							
							
							
							
							

SEÇÕES

Seções mais encontradas no mercado

fonte: manual técnico estacas pré-fabricadas de concreto

Estaca Padrão Circular Maciça Armada Ø 26 cm
8 Ø 8 mm - CA 50

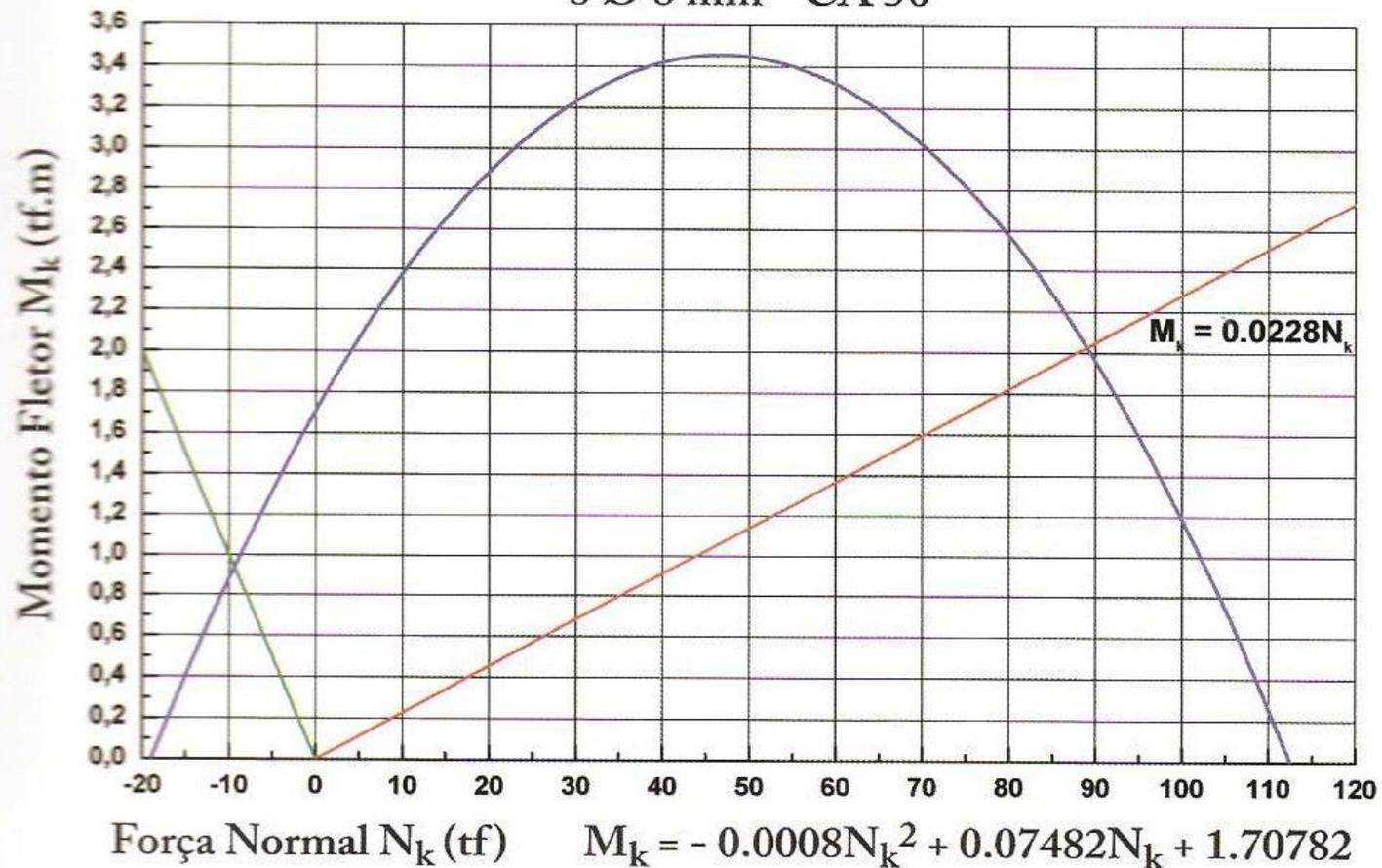


Diagrama flexo-compressão e flexo-tração

Fonte: manual técnico estacas pré-fabricadas de concreto

CONTRATAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS



- O equipamento pode ser queda-livre, hidráulico ou pneumático (diesel), sobre rolo ou sobre esteira e é definido em função das cargas, dimensões das estacas, acessos, capacidade de suporte do solo na cota de cravação etc.

Tipos de Equipamento mais utilizados.

QUEDA - LIVRE



MARTELO HIDRÁULICO



LOCAÇÃO DAS ESTACAS

- A locação bem executada, evita eventuais vigas de travamento, alavancas e equilíbrio.
- No eixo da estaca, deve ser instalado um “piquete” com um prego na face superior indicando o eixo da estaca. Esse piquete deve ficar enterrado cerca de 30 a 50 cm, e ao lado crava-se um testemunho que pode ser de madeira ou ponta de ferro.

CRAVAÇÃO

- É importante que a cravação da primeira estaca (estaca prova), seja acompanhada pelo projetista e ou consultor de fundações para confirmação das premissas de projeto.
- É recomendável que seja escolhida uma estaca próxima a uma sondagem.
- Normalmente o comprimento levantado é maior (2 ou 3 m) do que o comprimento previsto para qualquer eventualidade.
- Prever também anel de solda nas duas extremidades.

A CRAVAÇÃO

- O içamento das estacas é feito pelo cabo do equipamento por um ponto específico na estaca onde é previamente instalado (na fabricação) um gancho, pois a armação é dimensionada para essa condição.
- Ao ser levantada a estaca, o posicionamento e o prumo devem ser verificados.
- O prumo pode ser corrigido até 3,00 ou 4,00 m de estaca cravada, além disso qualquer tentativa de correção pode ser prejudicial.
- A norma prevê uma tolerância de 1% de desaprumo.

CONTROLE DE CRAVAÇÃO

- A tolerância para os desvios de posicionamento (excentricidade) é de 10% do diâmetro das estacas para blocos de uma estaca.
- Para iniciar a cravação é necessário definir a altura de queda do martelo em função do peso da estaca e do peso do martelo. Essa altura pode variar durante a cravação em função da ocorrência de solo mole, lentes mais resistentes a serem ultrapassadas etc.

CONTROLE DE CRAVAÇÃO

- Com altura de queda definida, inicia-se a cravação contando o número de golpes para penetração de 1,00 m, de tal forma que ao final da gravação obtém-se o “DIAGRAMA e a ENERGIA DE CRAVAÇÃO”
- A forma desse diagrama pode ser comparada com a forma do diagrama de SPT ao longo da profundidade para observar a compatibilidade ou não com a sondagem. Notem que os valores são incomparáveis, deve-se comparar apenas a tendência.



Estaca sendo marcada para
obtenção do gráfico

CONTROLE DE CRAVAÇÃO

- Observando o diagrama de cravação próximo do comprimento previsto de projeto, inicia-se a obtenção da “NEGA”.
- Nega é o deslocamento permanente da estaca para 10 golpes do martelo com a mesma altura de queda.
- A nega foi interpretada por muito tempo pelas formulas dinâmicas de cravação que permitem estimar a capacidade de carga última do conjunto estaca-solo.

CONTROLE DE CRAVAÇÃO

- As formulas dinâmicas (Holandeses, Brix, Norma Dinamarquesa) são muito criticadas pelo fato da Teoria de Choque de Newton, na qual são baseadas, não ser adequada para simular a cravação de estacas e caíram em desuso nos anos 80.
- Mas ainda hoje a nega, definida em campo em função da recusa da estaca penetrar no solo é a forma mais importante e prática de se controlar o estaqueamento de tal forma a se obter uma cravação com comportamento uniforme.

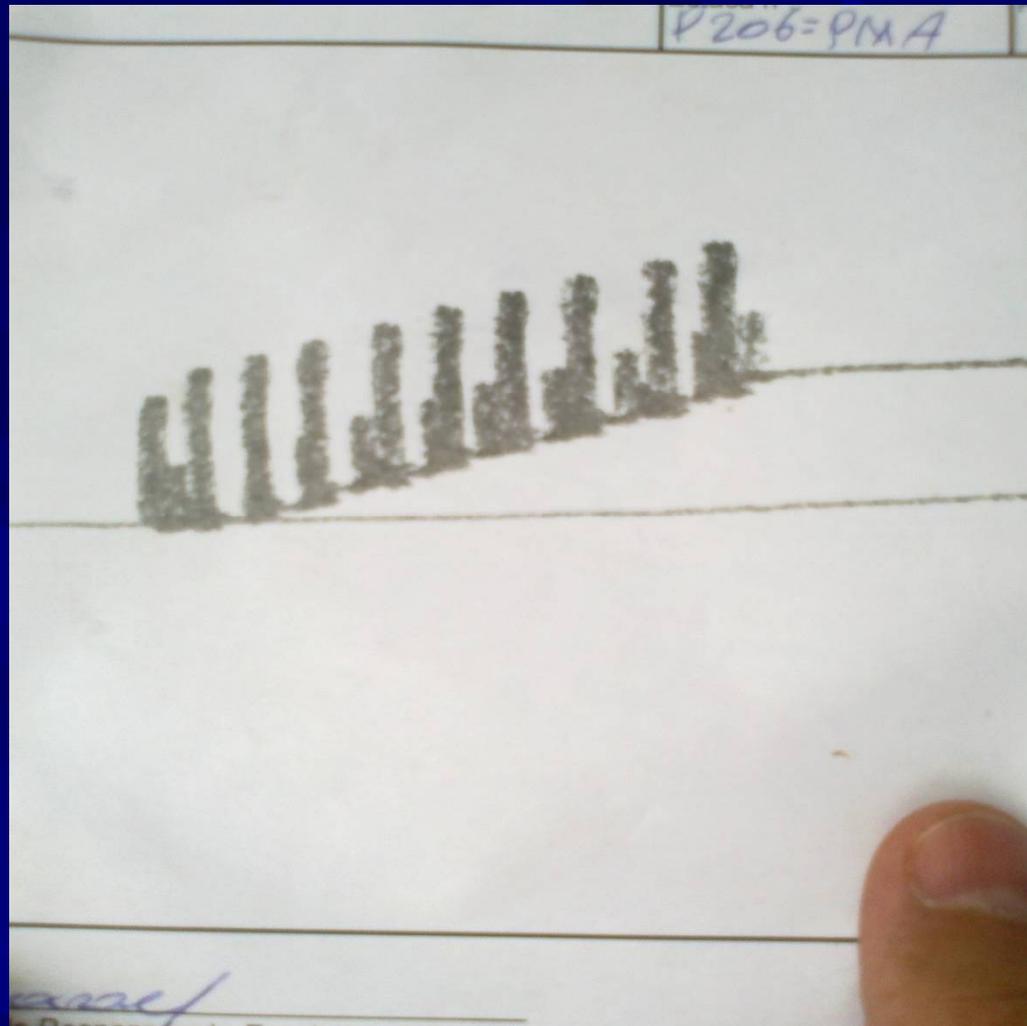


Imagem da nega e repique

CONTROLE DE CRAVAÇÃO

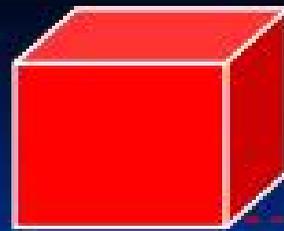
- Em meados dos anos 80, no Brasil, foi introduzido o ensaio de carregamento dinâmico (ECD) e a observação sistemática dos resultados desta instrumentação, mostrou que os deslocamentos máximos obtidos nos ensaios são comparáveis aos valores de repique elástico medidos simultaneamente. (Aoki, N – Controle “in situ” da Capacidade de Carga de Estacas Pré-Fabricadas via repique elástico da cravação).

CONTROLE DE CRAVAÇÃO

- O “REPIQUE ELÁSTICO” foi introduzido em meados dos anos 80 como controle de cravação de estacas.
- Repique, é obtido ao final da cravação, traçando uma reta de referência e depois mantendo o lápis na estaca durante o golpe.
- Normalmente obtém-se 10 repiques durante a obtenção da nega (10 golpes).

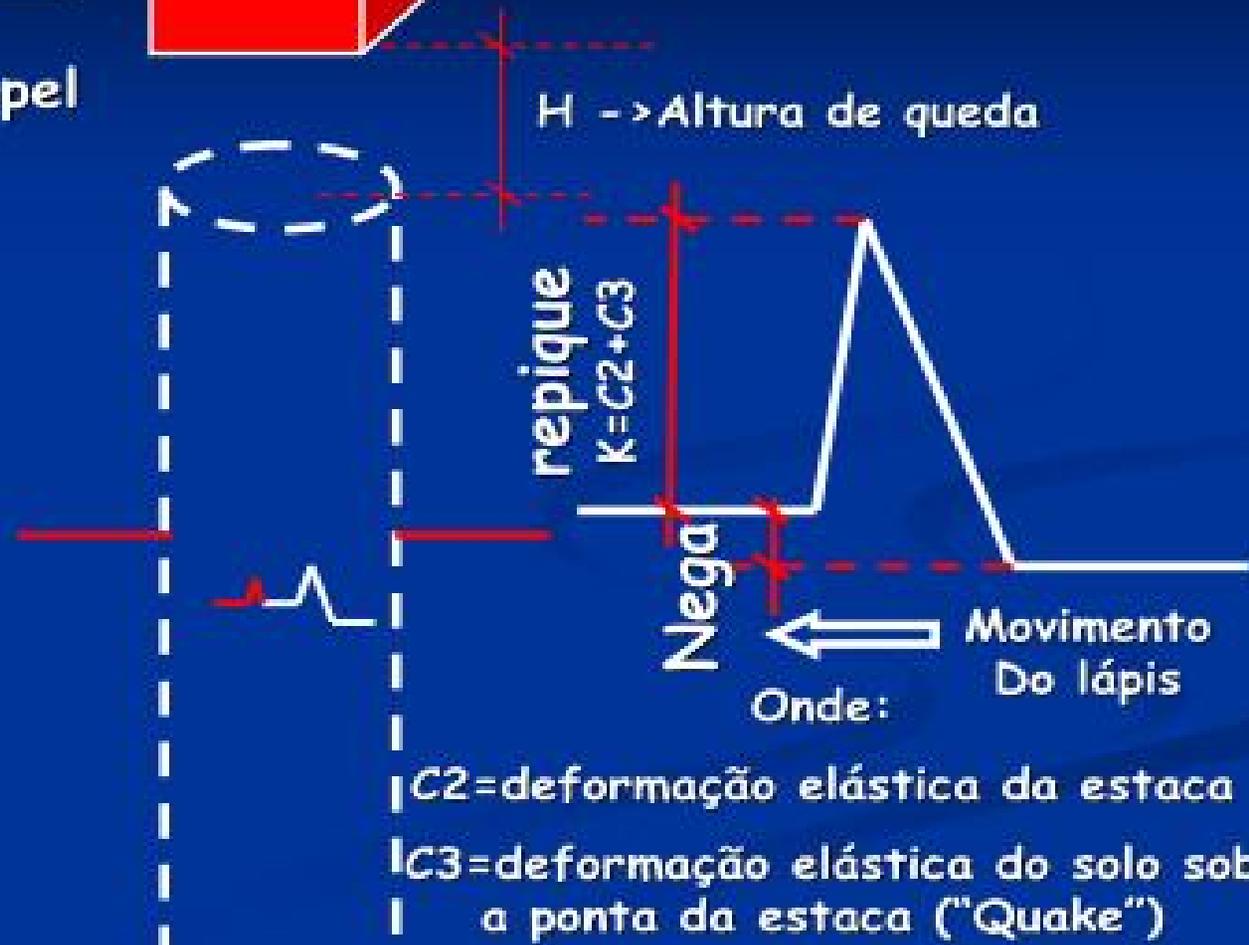
2-Métodos para se medir o repique:

2a) Lápis e papel no final da cravação



P -> Martelo Peso

H -> Altura de queda



REPIQUE UNITÁRIO

CONTROLE DE CRAVAÇÃO

- Conforme mostra a figura o repique elástico tem duas componentes, elástico do solo (C3) e elástico da estaca (C2).
- O elástico do solo, é mais difícil definir, porém para maioria dos solos não resilientes adota-se:

$$C3 = \sim 2,5 \text{ mm (0,1")}$$

CONTROLE DE CRAVAÇÃO

- Do repique medido:

$$K = C2 + C3,$$

Obtém o valor de C2:

$$C2 = K - 2,5 \text{ (mm)}$$

- Utilizando a Lei de Hooke

$$R_u = C2 * A * E / L$$

Onde: R_u = resistência última da estaca para determinada deformação elástica

A = área da seção transversal

E = modulo de elasticidade

L = comprimento da estaca

CONTROLE DE CRAVAÇÃO

- O valor de R_u obtido, representa a carga disponível na estaca para aquele determinado golpe e não leva em consideração efeitos ao longo do tempo, como por exemplo o “set up” ou o relaxamento.
- Portanto se o valor de repique for calibrado com os ensaios ECD, podemos acompanhar todas as estacas com a obtenção de repique por ocasião da obtenção da nega e obter um controle de capacidade de carga das estacas cravadas.

CONTROLE DE CRAVAÇÃO

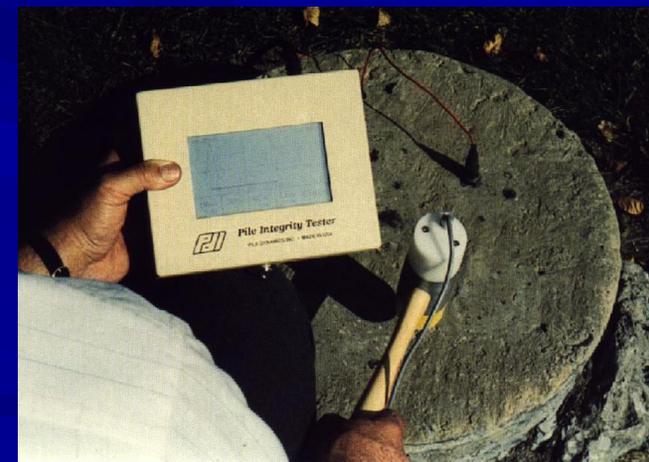
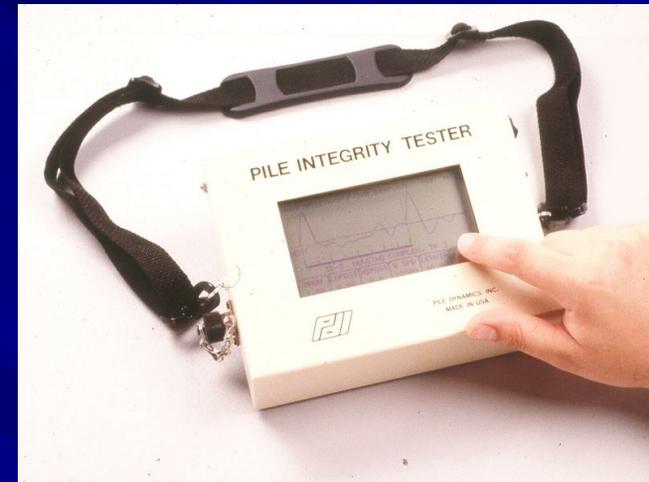
- O repique elástico é um importante dado de controle de estaqueamento, se não o melhor, a partir de meados dos anos 80.

ENSAIOS

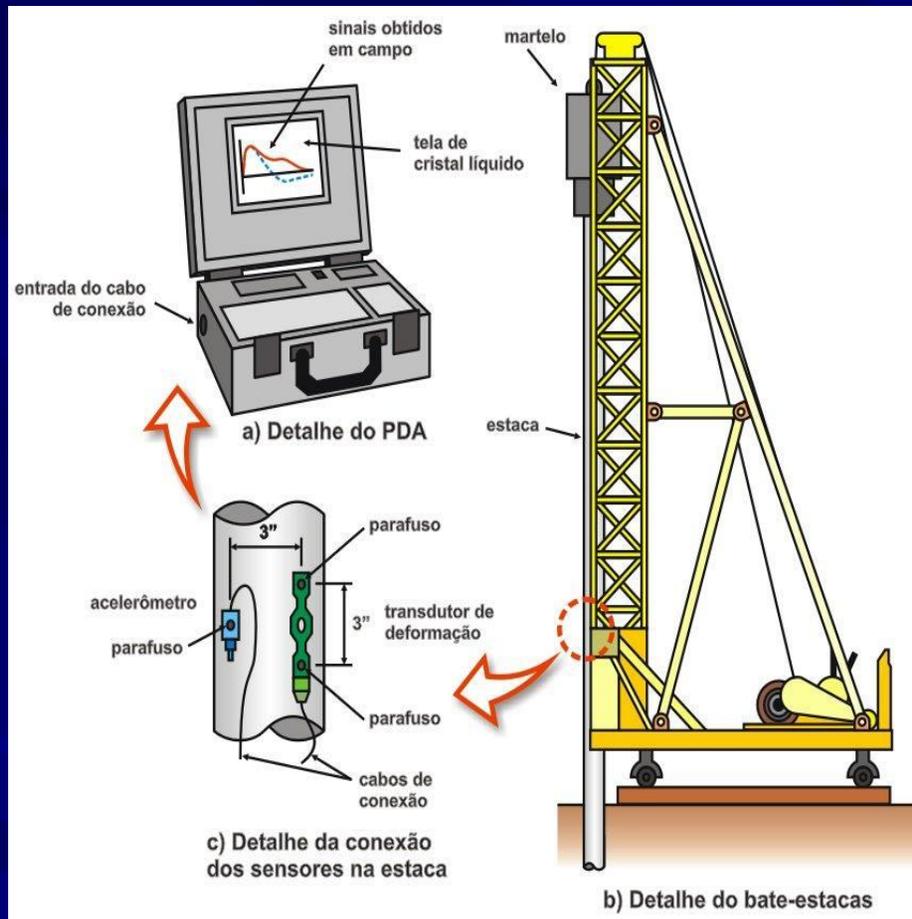
- Além do “gráfico de cravação”, “nega”, “repique”, e da experiência do projetista e ou consultor, existem ensaios que complementam o controle do estaqueamento:
- P.I.T – ensaio dinâmico de integridade, de baixa deformação.
- P.D.A. – ensaio de carregamento dinâmico (ECD).

PIT – ENSAIO DINÂMICO DE BAIXA DEFORMAÇÃO

- Todas as estacas podem ser inspecionadas através da execução de ensaios dinâmicos de baixa deformação (PIT – Pile Integrity Tester). Trata-se de um ensaio bastante prático, rápido e relativamente barato. Apesar de apresentar alguma limitação quanto à utilização em estacas longas, presta-se ao controle da qualidade de estacas pré-moldadas cravadas.



CONTROLE ATRAVÉS DE ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO (ECD)



- Este ensaio, se baseia na Teoria de Propagação de Ondas. Consiste em acoplar 4 sensores em uma determinada seção da estaca, coletando sinais de deformação e aceleração, que interpretados por equipamento apropriado (PDA) permitem avaliar a capacidade de carga e aferir o sistema de cravação e minimizando quebras.

Colocação dos sensores

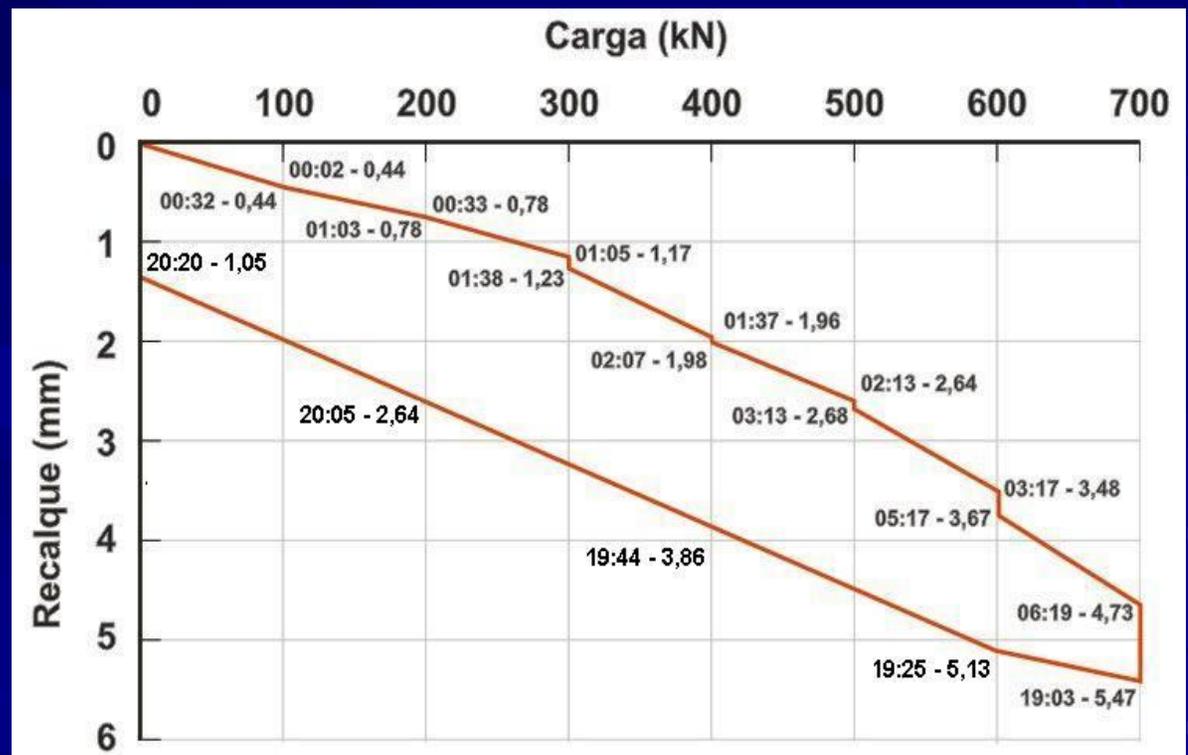
- Os 4 sensores são, 2 de deformação e 2 de aceleração e são instalados diametralmente opostos, para obter as máximas e as mínimas tensões no instante do golpe. Com isso é possível corrigir o alinhamento do martelo em relação à estaca durante o ensaio.



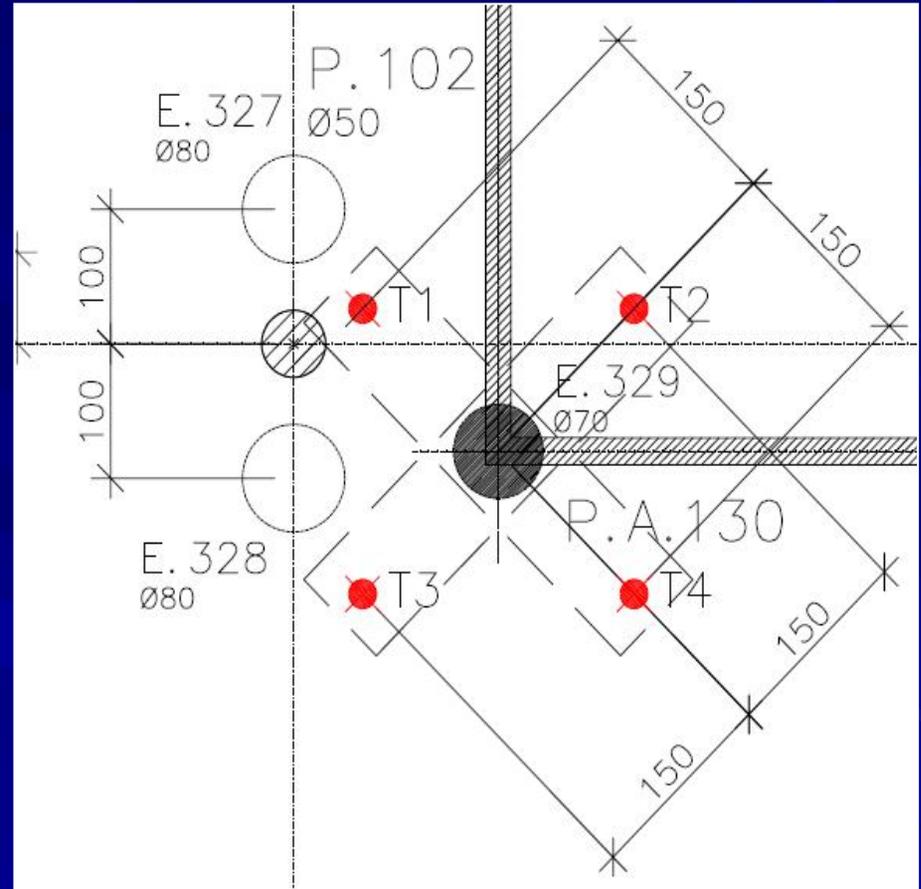
O ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO (ECD) PERMITE AVALIAR

- Eficiência do Sistema de Cravação;
- Tensões de compressão e tração, médias e máximas, durante a cravação das estacas;
- Integridade e localização de eventuais danos estruturais;
- Deformações e deslocamentos do conjunto estaca-solo.
- Capacidade de Carga das estacas ensaiadas no momento do golpe (R_u). Essa carga se aproxima da carga de ruptura da estaca a medida que a nega fica mais “aberta”.

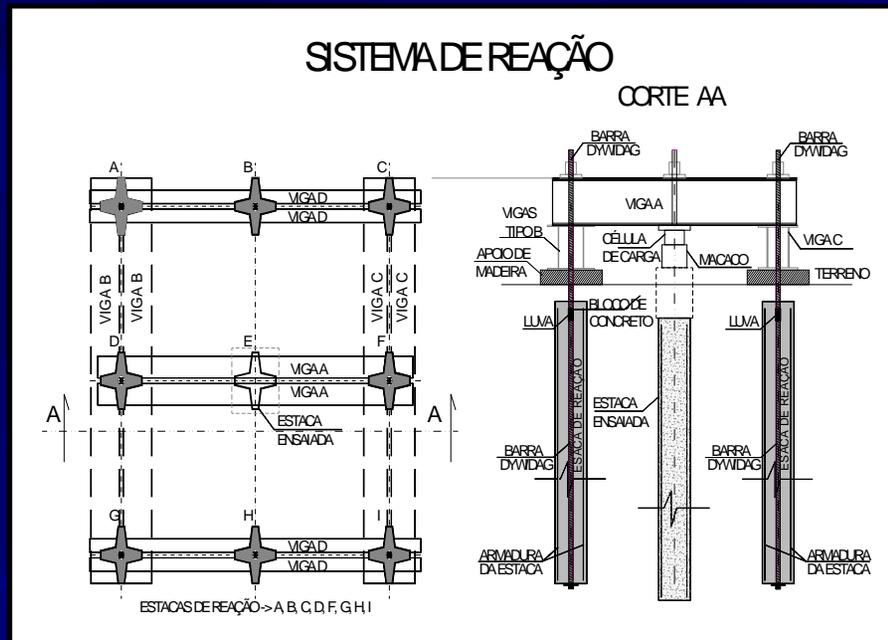
PROVAS DE CARGA ESTÁTICA



EXEMPLOS DE PROVA DE CARGA



EXEMPLOS DE PROVA DE CARGA



EXCENTRICIDADES E LIGAÇÃO COM OS BLOCOS

- A locação deve ser verificada após as estacas serem cravadas elaborando o “as built” do estaqueamento. Esse levantamento com as excentricidades deve ser enviado aos projetistas de fundação e estrutura para as devidas verificações e eventuais vigas de equilíbrio.
- As estacas deverão ser arrasadas de tal forma que a superfície da cabeça fique plana, nivelada e sempre 5 cm acima do lastro de concreto magro do bloco além da armadura de arranque definida pelo projetista estrutural.

ARRASAMENTO DE ESTACAS

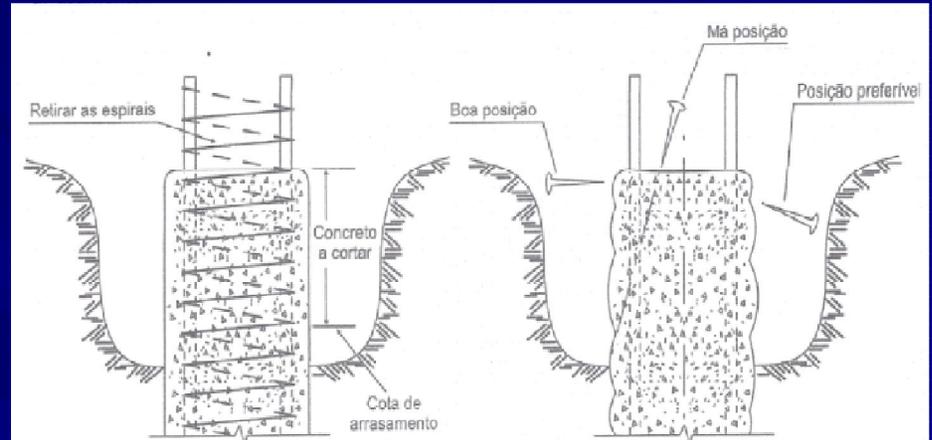


Figura 6 - Escavação até cerca de 20 cm abaixo da cota de arrasamento

Figura 7 - Posição do ponteiro: boa, má e preferível

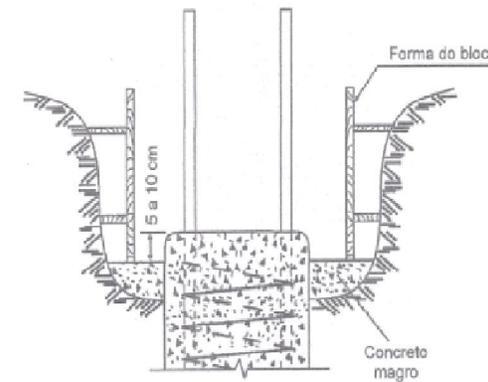


Figura 8 - Situação normal

NBR-6122/2010

- Na ABNT NBR-6122/2010, é importante observar:
 - A. a exigência de elaboração de diagramas de cravação em pelo menos 10% das estacas cravadas;
 - B. a exigência de coleta de repiques elásticos e negas no final da cravação em todas as estacas cravadas;
 - C. Todas as informações devem constar da ficha de controle de cada estaca.
 - D. É obrigatória a execução, preferencialmente no início do estaqueamento de prova de carga estática em 1% das estacas , em obras que tiverem mais de 100 de estacas ou em obras cuja tensão no concreto da estaca seja superior a 7 MPa.
 - E. Para efeito de comprovação de desempenho, as provas de carga estáticas podem ser substituídas por ensaios de carregamento dinâmicos, na proporção de cinco ensaios dinâmicos para cada ensaio estático.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Importância do rigoroso controle na locação, cravação, ensaios e prova de carga, para um comportamento adequado do estaqueamento.
- Seguir as recomendações das normas de referência no assunto.
- Tendência atual é controlar o estaqueamento através de repiques elásticos aferidos com ensaios dinâmicos executados durante o estaqueamento.
- E nunca abrir mão da obtenção das negas.

OBRIGADO

celso@zfsolos.com.br

