



**Primeiro-Tenente (EN) Marcos William Magalhães L. de Carvalho**  
Membro do Grupo de Gerenciamento dos Projetos e de Fiscalização das Obras Civas Relativas ao PROSUB, a cargo da DOCM.

*Graduado em Engenharia Civil com ênfase em Geotecnia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).*



**Primeiro-Tenente (EN) Cintya Kazue Sakamoto**  
Membro do Grupo de Gerenciamento dos Projetos e de Fiscalização das Obras Civas Relativas ao PROSUB, a cargo da DOCM.

*Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).*

# OBRAS PORTUÁRIAS

## AS FUNDAÇÕES DOS CAIS DO EBN - PROSUB

### 1. INTRODUÇÃO

Em continuidade aos artigos publicados anteriormente atinentes às obras de construção do Estaleiro e da Base Naval (EBN) de Itaguaí, será abordada nesta edição a execução de fundações em obras marítimas.

A escolha do tipo de fundação mais adequada depende de uma série de fatores técnicos, tais como: topografia, características geotécnicas do maciço, tipo de estrutura, interferências com as construções vizinhas, além dos econômicos. Assim, o emprego de fundações profundas, como as estacas utilizadas nos cais do EBN, é indicado para os casos onde exista a necessidade de transferência de cargas significativas para camadas profundas, que sejam mais resistentes e menos compressíveis do solo. Usualmente, as estacas são utilizadas também como elemento de escoramento lateral, resistindo a forças horizontais, ou como elemento de maximização da capacidade de carga de solos granulares (em locais alagados com lâmina d'água ou lençol freático alto).

A construção dos cais do EBN-PROSUB utili-

zou estacas tubulares metálicas com preenchimento parcial de concreto armado (utilizado para resistir aos momentos fletores impostos). A localização das obras, as características geotécnicas do leito submarino, as cargas de projeto, as facilidades construtivas e a velocidade de execução foram fatores condicionantes para a escolha desse tipo de fundação.

### 2. TIPOS DE ESTACA

Fundações profundas, como é o caso das estacas, apresentam um grande comprimento, comparado às dimensões da base. As cargas da estrutura são transmitidas ao maciço através do atrito lateral ao longo do fuste e através da base (resistência de ponta).

Existem diversos critérios para a classificação de estacas. Elas podem ser divididas com base no tipo de material (concreto, madeira, aço ou mistas), no funcionamento, no tipo de carregamento (compressão, tração e/ou flexão) e na forma de cravação. No entanto, a classificação mais usual leva em consideração a metodologia construtiva, enquadrando as estacas como pré-moldadas ou moldadas *in loco*.

Dentre os materiais das estacas pré-moldadas, existem as de madeira que têm como inconveniente a necessidade de permanecer totalmente imersas durante a utilização, para reduzir a degradação. Para cravação dinâmica, estas estacas devem ser protegidas com camisas e ponteiros metálicas. Existem também as estacas de aço (perfis metálicos, tubos, trilhos ou chapas dobradas), que são de fácil execução, possuem elevada resistência mecânica e podem ser emendadas facilmente. Já as estacas de concreto armado pré-moldadas também apresentam boa capacidade de carga, mas suas dimensões podem representar um problema para transporte, emendas, cortes e execução. Existem ainda as estacas mega, constituídas por módulos de concreto ou aço, cravados sucessivamente com macaco hidráulico e emendados.

As estacas moldadas *in loco*, por sua vez, abrangem, principalmente as estacas Strauss, Hélice Contínua, Raiz e Franki. As estacas Strauss são executadas com revestimento metálico recuperável e através de golpes sucessivos da sonda percussiva, com retirada do solo abaixo da coroa. São indicadas para locais confinados, com topografia acidentada, não gerando vibrações para as áreas vizinhas. As estacas Hélice Contínua, muito utilizadas nas obras da UFEM (Unidade de Fabricação de Estruturas Metálicas), possuem elevada capacidade de carga e são executadas com trado helicoidal. Já as estacas raiz possuem perfuração por rotação ou rotoperfuração com um tubo de revestimento, com eliminação contínua de material através do fluido (água, lama bentonítica ou ar). Após a perfuração, a armadura e o concreto são introduzidos. Nas estacas Franki, existe uma base alargada e uma boa capacidade de carga. Podem ser executadas em grande profundidade, não sendo limitadas pelo nível d'água.

### 3. CARACTERÍSTICAS DAS ESTACAS E METODOLOGIA EXECUTIVA

As estacas utilizadas nas obras marítimas do EBN - PROSUB são constituídas de camisas metálicas tubulares com diâmetro externo de 100 cm e espessura de parede variando entre 1,6 cm e 2,0 cm (Figura 2). Nos últimos 50 cm de ambas as extremidades (30 cm em alguns casos) elas possuem um acréscimo de chapas (maximizando para cerca de 3,5 cm a espessura da parede), promovendo um reforço da estaca e aumentando a área de aço na seção transversal para mais de 1.000 cm<sup>2</sup>. O aço utilizado foi ASTM A572 Gr.50 com tensão de escoamento ( $f_y$ ) de 345 MPa e módulo de elasticidade de 2.109 tf/cm<sup>2</sup>. Em projeto, as estacas foram dimensionadas pelo método de Aoki-Velloso (1975) em concordância com as normas NBR 6118:2003; 6122:2010; 9782:1987; e 8800:2008. A seção longitudinal das estacas adotadas encontra-se reproduzida na Figura 1:

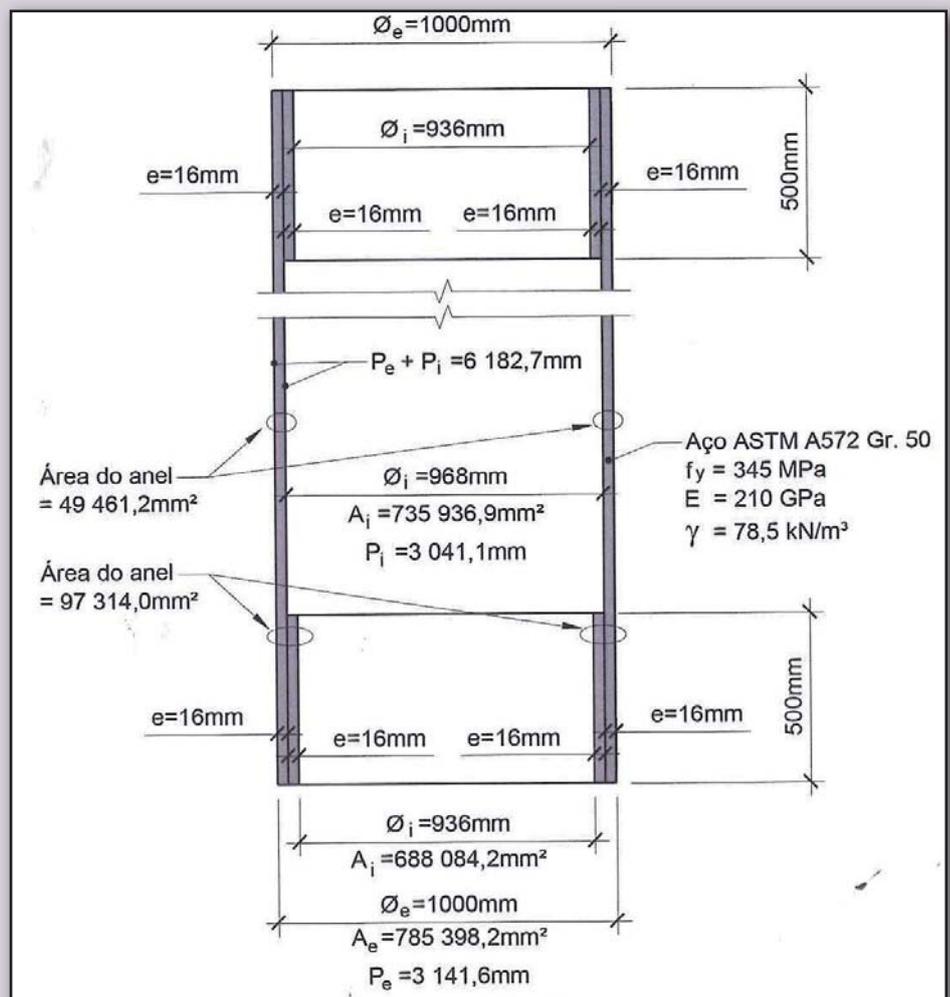


Figura 1 - Seção transversal tipo.



Figura 2 - Fabricação das camisas metálicas.

A locação das estacas no mar é realizada através do cruzamento dos alinhamentos a partir de dois pontos de coordenadas conhecidas. As estacas foram cravadas e ensaiadas mediante um sistema de cravação com acionamento hidráulico com martelo de 14 tf e altura máxima de queda de 150 cm (correspondente à energia potencial de 21,0 tf·m), conforme Figura 3. A tensão máxima de compressão não pode ultrapassar 80% da tensão de escoamento mesmo nas piores condições possíveis de cravação, a fim de evitar o amassamento da ponta da camisa.



Figura 3 - Cravação da camisa metálica.



O comprimento de cada estaca varia entre 30 e 52 metros e há no interior das camisas metálicas um preenchimento de concreto armado, somente até a profundidade necessária para resistir aos momentos fletores impostos. O concreto, introduzido através de funil após a dragagem do interior e colocação da armadura, possui  $f_{ck} \geq 40$  MPa (Figura 4).



Figura 4 - Topo das estacas já concretadas.

A instrumentação dinâmica foi realizada por meio de um par de transdutores de deformação específica em um par de acelerômetros piezo-resistivos calibrados. Os sensores foram introduzidos dois a dois diametralmente opostos, de modo a detectar e compensar os efeitos de flexão na estaca, que ocorre devido à excentricidade na aplicação dos golpes.

#### 4. MONITORAMENTO DE QUALIDADE

O rigoroso controle da qualidade, tanto na fabricação dos elementos, quanto na locação, cravação, e ensaios das estacas é essencial para uma execução e um desempenho adequado ao longo de sua vida útil. É essencial seguir as recomendações das normas de referência no assunto e controlar o estaqueamento.

No processo de fabricação das camisas metálicas o controle de qualidade consiste em inspeção visual do alinhamento e das soldas de costura, além do ensaio de ultrassom nestas soldas. A qualidade dos tubos metálicos é garantida pelo fabricante, através de relatório de ensaios dimensional, mecânico e químico.

##### 4.1. PROVA DE CARGA DINÂMICA

O ensaio de carga dinâmica ou PDA – *Pile Dynamic Analysis* – tem como objetivo a avaliação da mobilização das cargas na interface solo-estaca, das

tensões ao longo da estaca e de sua integridade estrutural. Este ensaio é normatizado pela NBR 13208:2007 da ABNT.

Consiste na aplicação de carregamento dinâmico axial à estaca, para obtenção, além de outras informações, de uma estimativa de sua capacidade de carga, pela aplicação da Teoria da Equação de Onda, durante o processo de cravação da estaca.

O ensaio de carregamento dinâmico apresenta como vantagem a rapidez na execução com custo relativamente baixo e independe da carga que se vai medir, além de não requerer a parada de equipamentos ao redor da estaca em teste, reduzindo transtorno à obra.

##### 4.2. PROVA DE CARGA ESTÁTICA

A Prova de Carga Estática é um ensaio que verifica a capacidade de carga de fundações e de estruturas por meio da medida das deformações obtidas com um carregamento imposto. Consiste na aplicação de uma carga de compressão em um determinado elemento da fundação, de modo a verificar a sua conformidade com as especificações do projeto. Este ensaio é normatizado pela ABNT através da NBR 6122:2010.



Durante a aplicação da carga, verificam-se deformações no elemento ensaiado, com o objetivo de se calcular parâmetros importantes, tais como: capacidade de carga, curva carga x deslocamento, resistência de ponta e atrito lateral, recalque associado à carga de trabalho e coeficiente de segurança do estaqueamento. A prova de carga estática constitui ainda o melhor processo capaz de fornecer um valor incontestável da capacidade de carga de uma fundação isolada.

## 5. CONCLUSÃO

A execução das estacas nos cais das obras do EBN - PROSUB atendeu aos diversos requisitos de projeto, tendo em vista os empecilhos inerentes a uma obra em ambiente marítimo e as características geotécnicas peculiares. Os procedimentos executivos atenderam às necessidades de prazo e foram compatíveis com as demais atividades da obra no período, algo logisticamente vantajoso.

## 6. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6122: Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro, 2010.
- \_\_\_\_\_. *NBR 9782: Ações em estruturas portuárias, marítimas ou fluviais - Procedimento*. Rio de Janeiro, 1987.
- BARROS, C. *Apostila de Fundações: Técnicas Construtivas e Edificações*. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul Rio Grandense. Pelotas, 2011.
- KAPPEL, R. *Portos brasileiros: novo desafio para a sociedade*. In: 57ª Reunião anual da SBPC, 2005, Fortaleza. Do sertão olhando o mar, cultura e ciência. Fortaleza: SBPC, 2005.
- MELHADO, S. B, SOUZA U. E. L., BARROS, M. M. S. B., et al. *Apostila de Fundações*. Poli/USP. São Paulo, 2002.
- REVISTA TÉCHNE; Edição 95; *Artigo: Estacas a toda prova*; Fevereiro 2005.
- RIBEIRO, T. J. T. *Processos de construção e fiscalização de obras portuárias: estudo de caso*. Dissertação – FEUP. Porto, 2011.
- SANTOS, J. P. L. *Construção com Caixotões Pré-Fabricados vs. Cais sobre Estacas em Obras Marítimas: Caso de Estudo - Ampliação do Cais do Terminal XXI*. Dissertação – Técnico Lisboa. Lisboa, 2013.

